

Предисловие

Вода играет большую роль в нашей жизни. Что бы делало человечество без воды, даже трудно представить. По-видимому, оно просто бы не существовало.

С водой на нашей планете связаны не только жизнь и климат, но и работа большинства отраслей народного хозяйства, особенно водного транспорта. Вода является богатейшим источником энергии – это гидроэнергия рек, энергия приливов, геотермальная и термоядерная энергия.

Именно благодаря воде в природе возникают интереснейшие и самые разнообразные явления, такие, как радуга, гало, сулой, венцы, «шёпот звезд» и другие.

Некоторые люди связывают с ними различные суеверия и приметы. Но ученые разгадали и нашли объяснение этим загадочным явлениям природы. Причиной некоторых из них является вода, её пары и лёд.

Настоящая книга представляет собой серию очерков о физических свойствах воды и льда, а также о явлениях природы, которые с ними связаны.

Вода вокруг нас

В воде принадлежит огромная роль в природе. В самом деле, ведь именно море явилось первой ареной жизни на Земле. Растворённые в морской воде аммиак и углеводы в контакте с некоторыми минералами при достаточно высоком давлении и воздействии мощных электрических разрядов могли обеспечить образование белковых веществ, на основе которых в дальнейшем возникли простейшие организмы. По мнению К.Э. Циолковского, водная среда способствовала предохранению хрупких и несовершенных вначале организмов от механического повреждения. Суша и атмосфера стали впоследствии второй ареной жизни.

Можно сказать, что всё живое состоит из воды и органических веществ. Без воды человек, например, мог бы прожить не более 2...3 дней, без питательных же веществ он может жить несколько недель. Для обеспечения нормального существования человек должен вводить в организм воды примерно в 2 раза больше по весу, чем питательных веществ. Потеря организмом человека более 10% воды может привести к смерти. В среднем в организме растений и животных содержится более 50% воды, в теле медузы её до 96, в водорослях 95...99, в спорах и семенах от 7 до 15%. В почве находится не менее 20% воды, в организме же человека вода составляет около 65% (в теле новорожденного до 75, у взрослого 60%). Разные части человеческого организма содержат неодинаковое количество воды: стекловидное тело глаза состоит из воды на 99%, в крови её содержится 83, в жировой ткани 29, в скелете 22 и даже в зубной эмали 0,2%.

В первичной водной оболочке земного шара воды было гораздо меньше, чем теперь (не более 10% от общего количества воды в водоемах и реках в настоящее время). Дополнительное количество воды появилось впоследствии в результате освобождения воды, входящей в состав земных недр. По расчётам специалистов, в составе мантии Земли воды содержится в 10...12 раз больше, чем в Мировом океане. При средней глубине в 4 км Мировой океан покрывает около 71% поверхности планеты и содержит 97,6% известных нам

мировых запасов свободной воды. Реки и озёра содержат 0,3% мировых запасов свободной воды.

Большими хранилищами влаги являются и ледники, в них сосредоточено до 2,1% мировых запасов воды. Если бы все ледники растаяли, то уровень воды на Земле поднялся бы на 64 м и около 1/8 поверхности суши было бы затоплено водой. В эпоху оледенения Европы, Канады и Сибири толщина ледяного покрова в горных местностях достигала 2 км. В настоящее время вследствие потепления климата Земли постепенно отступают границы ледников. Это обуславливает медленное повышение уровня воды в океанах.

Около 86% водяного пара поступает в атмосферу за счет испарения с поверхности морей и океанов и только 14% за счет испарения с поверхности суши. В итоге в атмосфере концентрируется 0,0005% общего запаса свободной воды. Количество водяного пара в составе приземного воздуха изменчиво. При особо благоприятных условиях испарения с подстилающей поверхности оно может достигать 2%. Несмотря на это, кинетическая энергия движения воды в морях составляет не более 2% от кинетической энергии воздушных течений. Происходит это потому, что более трети солнечного тепла, поглощаемого Землей, тратится на испарение и переходит в атмосферу. Кроме того, значительное количество энергии поступает в атмосферу за счет поглощения проходящего через нее солнечного излучения и отражения этого излучения от земной поверхности. Прошедшая же через водную поверхность лучистая энергия Солнца и небесного свода уменьшается в интенсивности наполовину уже в верхнем полуметре воды вследствие сильного поглощения в инфракрасной части спектра.

Очень большое значение в жизни природы имеет то обстоятельство, что наибольшая плотность у воды наблюдается при температуре 4°C. При охлаждении пресных водоемов зимой по мере понижения температуры поверхностных слоев более плотные массы воды опускаются вниз, а на их место поднимаются снизу теплые и менее плотные. Так происходит до тех пор, пока вода в глубинных слоях не достигнет температуры 4°C. При этом конвекция прекращается, так как внизу будет находиться более тяжелая вода. Дальнейшее охлаждение воды происходит только с поверхности, чем и объясняется образование льда в поверхностном слое водоемов. Благодаря этому подо льдом не прекращается жизнь.

Вертикальное перемешивание морской воды осуществляется за счёт действия ветра, приливов и изменения плотности по высоте. Ветровое перемешивание воды происходит в направлении сверху вниз, приливное – снизу вверх. Плотностное перемешивание возникает за счёт охлаждения поверхностных вод. Ветровое и приливное перемешивания распространяются на глубину до 50 м, на больших глубинах может сказываться действие только плотностного перемешивания.

Интенсивность перемешивания придонных и поверхностных вод способствует их освежению, обогащению кислородом и питательными веществами, необходимыми для развития жизни. Растворенный в воде воздух всегда более богат кислородом, чем воздух атмосферный. Имеющийся в воде кислород оказывает благотворное влияние на развитие в ней жизненных процессов. За счёт повышенного количества кислорода в растворенном воздухе погруженные в воду металлы усиленно подвергаются разрушению (коррозии).

При замерзании чистая вода расширяется почти на 10%, у морского льда изменение объема происходит на меньшую величину. Поскольку вода при замерзании расширяется, увеличение внешнего давления понижает температуру её замерзания; температура плавления льда, наоборот, повышается с давлением. В лабораторных условиях при давлении более 40 тыс. атмосфер можно получить лёд, который будет плавиться при температуре 175°C.

Теплоёмкость и теплота плавления льда уменьшаются с температурой, теплопроводность же почти не зависит от температуры. Когда толщина льда на поверхности водоёма достигает 15 см, он становится надёжным теплоизолятором между водой и воздухом.

Морская вода замерзает при температуре $-1,91^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем понижении температуры до $-8,2^{\circ}\text{C}$ начинается осаждение сернокислого натрия, и только при температуре -23°C из раствора выпадает хлористый натрий. Так как часть рассола при кристаллизации уходит изо льда, солёность его меньше солёности морской воды. Многолетний морской лёд настолько опресняется, что из него можно получать питьевую воду. Температура максимальной плотности морской воды ниже температуры замерзания. Это является причиной довольно интенсивной конвекции, охватывающей значительную толщу морской воды и затрудняющей замерзание. Теплоёмкость морской воды стоит на третьем месте после теплоёмкости водорода и жидкого аммиака.

Иногда вода замерзает при положительной температуре. Такое явление наблюдается в трубопроводах и почвенных капиллярах. В трубопроводах вода может замерзнуть при температуре $+20^{\circ}\text{C}$. Объясняется это присутствием в воде метана. Поскольку молекулы метана занимают примерно в 2 раза больший объём, чем молекулы воды, они «расталкивают» молекулы воды, увеличивают расстояние между ними, что приводит к понижению внутреннего давления и повышению температуры замерзания. В почвенной влаге аналогичную роль выполняют молекулы белка. За счёт влияния белковых молекул температура замерзания воды в почвенных капиллярах может возрасти до $+4,4^{\circ}\text{C}$.

Снежинки, как правило, бывают в виде шести- и двенадцатилучевых звездочек, шестиугольных пластинок, шестигранных призм. При понижении температуры воздуха уменьшаются размеры образующихся кристаллов и возрастает разнообразие их форм. Особенности роста кристаллов в воздухе связаны с наличием в нем водяного пара.

Все знают, что сода в море соленая. Это зависит от концентрации растворенных в ней солей, но не всем известно, что в разных морях и океанах соленость воды неодинакова. Средняя соленость вод океана составляет 35%; соленость морской воды может изменяться от нуля вблизи мест впадения крупных рек до 40% в тропических морях. Вода для питья должна содержать менее 0,05% растворенных солей. Растения погибают при наличии в поливной воде в виде примеси более 0,25% солей.

Существующие в природе жидкости можно разделить на нормальные и ассоциированные. Нормальными называются те жидкости, у которых молекулы не объединяются в группы (ассоциации). Жидкости, не подчиняющиеся этому условию, называются ассоциированными. Вода принадлежит к числу ассоциированных жидкостей. Если бы вода была неассоциированной жидкостью, температура плавления льда в нормальных условиях была бы $+1,43^{\circ}\text{C}$, а температура кипения воды 103°C . Как правило, теплоемкость жидкостей с температурой растет, но у воды с приближением к температуре $+35^{\circ}\text{C}$ теплоемкость после роста спадает до минимума, а затем снова переходит к монотонному росту. Происходит это из-за того, что при такой температуре разрушаются молекулярные ассоциации. Чем проще молекулярная структура, тем меньше теплоемкость вещества. Температура наибольшей плотности воды понижается с увеличением давления и при давлении 150 атмосфер достигает $0,7^{\circ}\text{C}$. Это также объясняется изменением структуры молекулярных ассоциаций.

Среди существующих в природе жидкостей вода обладает наибольшей теплоемкостью. Это предопределяет большое ее влияние на климат. Основным терморегулятором климата являются воды океанов и морей: накапливая тепло летом, они отдают его зимой. Отсут-

ствие водоемов на местности обычно приводит к образованию резко континентального климата. Благодаря влиянию океанов на значительной части земного шара обеспечивается перевес осадков на суше над испарением, и организмы растений и животных получают нужное им для жизни количество воды. Водная и воздушная оболочки земного шара постоянно обмениваются углекислотой с горными породами, растительным и животным миром, что также способствует стабилизации климата.

Известно, что молекулы, находящиеся на поверхности жидкости, имеют избыток потенциальной энергии и поэтому стремятся втянуться внутрь так, что при этом на поверхности остается минимальное количество молекул. За счет этого вдоль поверхности жидкости всегда действует сила, стремящаяся сократить поверхность. Это явление в физике получило название поверхностного натяжения жидкости.

Среди существующих в природе жидкостей поверхностное натяжение воды уступает только ртути. С поверхностным натяжением воды связано ее сильное смачивающее действие (способность «прилипать» к поверхности многих твердых тел). Кроме того, вода является универсальным растворителем. Теплота ее испарения выше теплоты испарения любых других жидкостей, а теплота кристаллизации уступает лишь аммиаку.

В природе существует шесть изотопов кислорода. Три из них радиоактивны. Стабильными изотопами являются O^{16} , O^{17} и O^{18} . При испарении в водяной пар в основном переходит изотоп O^{16} , неиспарившаяся же вода обогащается изотопами O^{17} и O^{18} . В водах морей и океанов отношение O^{18} к O^{16} больше, чем в водах рек. В раковинах животных тяжелые изотопы кислорода встречаются чаще, чем в воде. Содержание изотопа O^{18} в атмосферном воздухе зависит от температуры. Чем выше температура воздуха, тем больше воды испаряется и тем большее количество O^{18} переходит в атмосферу. В период оледенений планеты содержание изотопа O^{18} в атмосфере было минимальным.

Как известно, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. В составе обычной воды H_2O имеется небольшое количество тяжелой воды D_2O и совсем незначительное количество сверхтяжелой воды T_2O . В молекулу тяжелой воды вместо обыкновенного водорода H – протия входит его тяжелый изотоп D – дейтерий, в состав молекулы сверхтяжелой воды входит еще более тяжелый изотоп водорода T – тритий. В природной воде на 1 000 молекул H_2O приходится две молекулы D_2O и на одну молекулу T_2O – 10^{19} молекул H_2O .

Тяжелая вода D_2O бесцветна, не имеет ни запаха, ни вкуса и живыми организмами не усваивается. Температура ее замерзания $3,8^\circ C$, температура кипения $101,42^\circ C$ и температура наибольшей плотности $11,6^\circ C$. По гигроскопичности тяжелая вода близка к серной кислоте. Ее плотность на 10% больше плотности природной воды, а вязкость превышает вязкость природной воды на 20%. Растворимость солей в тяжелой воде примерно на 10% меньше, чем в обычной воде. Поскольку D_2O испаряется медленнее легкой воды, в тропических морях и озерах ее больше, чем в водоемах полярных широт.

Комбинируя различные сочетания изотопов водорода и стабильных изотопов кислорода, можно получить следующие разновидности молекул воды: H_2O^{16} , H_2O^{17} , H_2O^{18} , HDO^{16} , HDO^{17} , HDO^{18} , D_2O^{16} , D_2O^{17} , D_2O^{18} , T_2O^{16} , T_2O^{17} , T_2O^{18} , THO^{16} , THO^{17} , THO^{18} , TDO^{16} , TDO^{17} , TDO^{18} . Если же использовать и нестабильные изотопы кислорода O^{14} , O^{15} и O^{19} , то всего можно получить 36 разновидностей воды. В природе чаще встречаются молекулы воды, построенные из наиболее распространенных изотопов. Молекул H_2O^{16} в природной воде содержится 99,73%, молекул H_2O^{18} ...0,2% и молекул H_2O^{17} ...0,04%.

Рассмотрим некоторые наиболее важные оптические свойства воды и льда. Не все знают, что вода прозрачна только для видимых лучей и сильно поглощает инфракрасную радиацию. Поэтому на инфракрасных фотографиях водная поверхность всегда получается черной. При прохождении света через слой морской воды толщиной в 0,5 м поглощаются только инфракрасные лучи, ниже поглощаются последовательно красные, желтые, а затем и сине-зеленые тона. По наблюдениям из батискафа человеческий глаз может обнаружить присутствие солнечного света на глубине до 600...700 м. Эталонном прозрачности воды является Саргассово море. Белый диск в этом море виден на глубине до 66,5 м. Дальность видимости снизу вверх в приповерхностном слое моря составляет около 100 м.

Не весь солнечный свет поглощается водой. Вода отражает 5% солнечных лучей, в то время как снег – около 85%. Под лед океана проникает только 2% солнечного света.

Синий цвет чистой океанской воды объясняется избирательным поглощением и рассеянием света в воде. В условиях диффузного освещения морской поверхности вследствие преобладания при этом отраженного света море выглядит более серым. При наличии ряби и волнения насыщенность цвета увеличивается (с подветренной стороны более, чем с наветренной).

Существенную роль в жизни растений играют оптические свойства водяного пара. Дело в том, что водяной пар сильно поглощает инфракрасные лучи с длиной волны от 5,5 до 7 микрон, что важно для предохранения почвы от заморозков. Еще более действенным средством от заморозков является выпадение росы и образование тумана: конденсация влаги сопровождается выделением большого количества тепла, задерживающего дальнейшее охлаждение почвы.

Зная физические свойства воды и льда, человек давно использует их в своей практической деятельности. Так, например, иногда применяется прокладка голых электрических проводов прямо по льду, так как электропроводность сухого льда и снега весьма мала. Она во много раз меньше электропроводности воды. Различные примеси оказывают значительное влияние на электропроводность воды и почти не изменяют электропроводности льда. Электропроводность химически чистой воды обусловлена частичной диссоциацией молекулы воды на ионы H^+ и OH^- . Основное значение для электропроводности и воды и льда имеют перемещения ионов H^+ («протонные перескоки»). Электропроводность химически чистой воды при $18^\circ C$ равна $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ а электропроводность морской воды около $5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Электропроводность пресной природной воды может быть 1 000 раз меньше, чем морской. Это объясняется тем, что в воде морей и океанов растворено большее количество солей, чем в речной воде.

Существенную характеристику электрических свойств вещества дает относительная диэлектрическая проницаемость. У воды она имеет величину в пределах 79...81, у льда 3,26, у водяного пара 1,00705.

Без воды не было бы на Земле ни жизни, ни производства.

Судьбы и нравы рек

В нашей стране насчитывается около 3 млн рек, ручьев, каналов и пересыхающих водотоков общей протяженностью до 10 млн км. Среди них более 2,5 млн самых малых рек длиной менее 10 км, затем идут реки длиной 10...20 км (их примерно 113500). Рек протяженностью 25...100 км около 32 450, число рек длиной от 100 до 500 км составляет 3852.

Большие реки имеют длину 500...1 000 км, их 198, рек длиной более 1 000 км на территории нашей страны 77.

Рельеф нашей планеты сложился 120...130 млн лет тому назад. Основные реки европейской части нашей страны – Волга, Кама, Днепр и Дон – существовали уже в мезозое. Если судить о величине реки по размерам ее долины, можно полагать, что в доледниковый период самой крупной рекой на территории европейской части Советского Союза был Дон. Интересно, что 6...8 тыс. лет тому назад Кама и Вятка были притоками Северной Двины. Отступавший ледник преградил им путь на север, и они проложили себе новые русла в бассейн Волги. Отступавший ледник изменил и течение реки Пинеги, направив её в Северную Двину (до этого Пинега по долине теперешнего Кулоя сбрасывала свои воды в Мезенскую губу Белого моря).

Обычно притоки рек текут в направлении, близком к направлению основной реки, однако встречаются и такие притоки, которые на значительном расстоянии текут в направлении, противоположном основному потоку, например приток Волги река Свияга. Объясняется это тем, что Волга и Свияга на участке до слияния разделены водоразделом. На некоторых реках долины притоков ориентированы даже навстречу течению воды в основной реке. Это указывает на то, что в прошлом направление стока в основной реке было диаметрально противоположным. В Монголии подобную картину можно наблюдать в верховьях реки Хары, впадающей в Орхон – главный приток Селенги.

Есть на Земле реки, которые существуют в засушливых местах только во время сильных ливней по 2...3 часа за 3...4 года. За короткое время они сбрасывают большое количество воды и образуют короткие и глубоко врезаемые в местность долины (вади). Такие реки типичны для побережья Красного моря. В Средней Азии многие реки (Зеравшан, Сох, Исфара, Чу, Мургаб) по пути своего движения постепенно расходуют весь запас воды и поэтому никуда не впадают.

Если бросить взгляд на земную поверхность с высоты птичьего полета, нельзя не удивиться необычайной извилистости речных русел. Встречая сложные условия рельефа, воды рек устремляются к наиболее низкому уровню силы тяжести на земной поверхности. В результате преодоления речным потоком сопротивления движению и возникают извилины речных русел, называемые излучинами. По имени реки Меандр в Малой Азии, где регулярные извилины весьма четко выражены, излучины рек стали называть меандрами (ныне река Меандр называется Большой Мендерес). Излучины Меандра дали имя и одному из древнейших греческих орнаментов (прямоугольные изломы прямой линии и их разнообразные сочетания). Небольшая река Пьяна в Горьковской области настолько прихотливо меандрирует, что в месте своего впадения в Суру оказывается значительно ближе к истоку, чем в среднем течении.

В верхнем течении воды рек имеют большую скорость и поэтому сильнее размывают грунт. Для нижнего течения рек вблизи мест их впадения в водоемы характерны процессы отложения размывтого грунта. В связи с этим представляет интерес вопрос о местоположении озера Лобнор в Китае. Дело в том, что это озеро на картах различных эпох изображено в разных местах, весьма удаленных друг от друга. Некоторое время тому назад это было загадкой для ученых. Теперь все разъяснилось. Оказывается, что две реки, питающие озеро Лобнор, несут так много ила, что вследствие значительного его отложения могут сами себя запрудить и начать затем движение в новом направлении. Именно этим и объясняется различное местоположение озера Лобнор.

Образуемые ветром песчаные наносы также могут перекрыть русло небольшой реки и заставить ее течь в новом направлении. Так, в Монголии был перекрыт путь реки Мухур-Хунгуя к Хунгую, в результате чего возникло озеро Харанур.

Много ила несут с собой и воды китайской реки Хуанхэ, название которой в переводе означает «желтая река». В результате интенсивного процесса отложения ила в нижнем течении реки за несколько тысячелетий ее ложе поднялось выше уровня окружающей местности в некоторых участках до 8...10 м. Поэтому население Китая для предохранения местности от затопления издавна строит на берегах Хуанхэ специальные гидротехнические сооружения. В Советском Союзе подобные условия отложения наносов имеют место в нижнем течении реки Куры на Кавказе. Годовой сток взвешенных наносов Куры составляет 36,3 млн тонн. В этом отношении равнинная река Волга уступает Куре – годовой сток её наносов не превышает 25,5 млн тонн.

Перед впадением в водоемы течение рек замедляется, и реки обычно разливаются, образуя довольно широкие многорукавные устья (дельты). Дельта Волги возникла в существовавшем ранее мелководном заливе Каспия. Она соединяется с морем почти 800 устьями. Самая большая дельта планеты – Бенгальская в Юго-Восточной Азии между полуостровами Индостан и Индокитай. Она образовалась в результате объединения дельт трех рек – Ганга, Брахмапутры и Мегхны. Длина ее составляет около 400 км при площади до 80 тыс. км².

Во время половодья количество воды в реках может увеличиваться от 2 до 50 раз в сравнении с мелководьем.

Плывущие по реке бревна прибываются при половодье к берегу, в то время как при мелководье они плывут посередине реки. Происходит это потому, что в половодье, когда русло несет много воды, большая часть ее проходит посередине потока, где трение в меньшей мере замедляет скорость ее движения. В результате уровень воды здесь будет выше, чем у берегов (на Миссисипи, например, это превышение уровня составляет около 1 м). Благодаря этому в реке возникает движение воды от середины русла к берегам, которое и увлекает за собой бревна. При мелководье уровень воды посередине реки будет ниже, чем у берегов. В этом случае в реке возникает движение воды в направлении от берегов к центру, и плывущие по реке бревна будут держаться середины реки.

Движение воды в реках не всегда происходит от истоков к устьям. Иногда возникают такие условия, которые могут быть причиной обратных течений. Это бывает, например, на Сухоне, на притоке Днепра Припяти, на притоке Москвы-реки Пахре и на многих других реках. Причина явления может заключаться в том, что один из притоков реки весной раньше вскрывается ото льда. Его обильные воды могут настолько поднять уровень воды в реке, что она потечет вспять. Дело может сложиться и по-другому. Во время весеннего половодья по реке проносятся огромные массы воды. При встрече с притоком избыток этой воды может устремиться по нему вверх к истокам. В связи с этим стоит упомянуть об историческом эпизоде, имевшем место в XII веке в вольном городе Новгороде. Недовольное своим епископом Иоанном, население города решило его изгнать. Епископа посадили на плот и пустили плот по течению. Горожане рассчитывали, что течением реки плот будет унесен в Ладожское озеро, а оттуда попадет в Балтийское море. Но как только плот вышел на середину реки, его понесло к истоку Волхова – озеру Ильмень. Религиозное население Новгорода восприняло это как ниспослание богом «прощения» епископу. В действительности же при этом происходило движение воды в реке вспять, что наблюдается в природе не так уж редко.

При слиянии рек Оки и Волги у города Горького за счёт того, что время половодья у этих рек не совпадает по времени (Ока более «южная» река и половодье на ней начинается раньше) происходит подпор и задержка течения той реки, на которой половодье ещё не наступило (сток Оки и Волги в этом месте примерно одинаков).

От Алтая до берегов Северного Ледовитого океана на протяжении более 5 тыс. км несёт свои воды Обь. Весной, когда в верховьях Оби лед уже растаял, в нижнем течении река еще скована льдом, задерживающим движение талых вод. Поэтому весной в нижнем течении Обь разливается особенно сильно.

Движение вод реки вспять возможно и по другим причинам. В 1722 году солдаты португальской армии поднимались на лодке против течения по реке Риу-Негру (приток Амазонки). Неожиданно для себя они вдруг заметили, что лодка стала двигаться «против течения» без помощи весел. На самом деле в этом месте река разделилась на два потока, и один из них направился для слияния с рекой, принадлежащей другой системе. Явление это в гидрологии называется бифуркацией.

В 1822 году был построен канал, соединивший приток Южной Кельтмы Джурич с Северной Кельтмой – притоком Вычегды. Из-за мелководья канал вскоре был заброшен, но Джурич по-прежнему в верхнем течении отдает часть своих вод через полузаросший канал в Вычегду и далее в Белое море, в нижнем же течении воды Джурича через Южную Кельтму, Каму и Волгу направляются к Каспийскому морю.

Наряду с наземными существуют и подземные реки. Иногда же наземные реки становятся подземными. На Южном Урале есть река Сим, которая сумела протаранить гору. Воды этой реки подходят к горе и скрываются где-то под нею. Реку можно обнаружить снова, только перевалив через гору. В Западной Грузии одна из рек до ухода под землю имеет одно название, после же выхода из-под земли уже в другом месте она называется по-другому. До исследования этой реки считалось, что в одном месте она уходит под землю, в другом же месте выходит из-под земли совершенно независимый от нее поток. Опыт, однако, показал, что это не так. Уральская река Вишера имеет три притока, ныряющие под землю, – Язвву, Вижай и Большую Ваю. На одном из участков Большая Вая совсем близко подходит к Вишере, но не сливается с ней, а ныряет под нее и вновь появляется на земной поверхности уже на другом – левом берегу Вишеры. Происходит это потому, что известняки растворяются подземными водами, и под землей образуются пещеры и целые туннели. В эти пещеры и ныряют наземные реки.

В некоторых местах на земной поверхности наблюдается периодическое вытекание воды из подземных хранилищ – так называемые перемежающиеся источники. Они, то бурно изливаются, то пересыхают, чтобы через некоторое время воспрянуть вновь. Их деятельность связана с выпадением дождей в данной местности. По принципу действия перемежающийся источник представляет собой подземный сифон.

Плотины на реках создают настолько большой подъем воды, что в прилежащем к водохранилищу районе прекращается сток в реку подземных вод и возникает фильтрация воды в направлении от водохранилища. На водохранилищах с высокими плотинами давление на дно может достигать нескольких десятков атмосфер. В результате фильтрации уровень подземных вод выше и ниже плотины поднимается. Из скважин, расположенных ниже плотины, может наблюдаться фонтанирование воды.

В развитии нашей страны речные пути сыграли не меньшую роль, чем морские в истории таких государств, как Англия, Португалия и Испания. Разливы Нила имели определяющее

влияние на жизнь Древнего Египта. В связи с необходимостью регулировать движение альпийских водных потоков возникла очень важная для преобразования природы наука гидродинамика. Гидроэнергия рек обеспечила развитие мануфактур в период зарождения промышленности. В наше время энергоресурсы рек обеспечивают не только развитие отдельных экономических районов, но даже и целых государств, таких, как Норвегия и Швейцария.

Единовременный запас воды всех рек планеты составляет $1\ 200\ \text{км}^3$, при годовом стоке в океан около $36\ 000\ \text{км}^3$. Около 5% стока рек за год идет на нужды людей, в основном на орошение полей. Учитывая рост населения земного шара и возрастающие потребности промышленности в пресной воде, некоторые ученые считают, что может наступить время, когда нехватка воды будет сдерживать дальнейшее развитие общества. Поэтому нужно рационально использовать этот резерв планеты и сохранять его для будущего.

Плавание тел и закон Архимеда

Открытие основного закона гидростатики – одно из крупнейших завоеваний античной науки. Чтобы оценить значение открытия, рассмотрим примеры проявления и использования этого закона в природе, широко известного как закон Архимеда.

Воды южных морей имеют более высокую соленость и плотность, чем воды арктического бассейна. Поэтому в Арктике нередки случаи, когда воды теплых течений опускаются под холодные воды северных широт. Например, в районе севернее Шпицбергена теплое южное течение опускается под холодные воды Ледовитого океана. Подобным же образом теплое течение Жаннетты, выходя из Берингова пролива, проходит под водами Арктики и выходит на поверхность лишь у берегов Северной Америки. Различная соленость вод имеет большое значение для возникновения течений и в южных широтах. В Мраморном море вода более соленая и быстрее испаряется, чем в Черном. Поэтому через Босфор в придонных слоях вода протекает из Мраморного моря в Чёрное, в поверхностных же слоях имеет место противоположное течение.

Подземные реки могут иметь выход не только на земную поверхность, но и на дно моря. Будучи более легкими, воды этих рек в неглубоком море могут подниматься до его поверхности, практически не смешиваясь с соленой водой. Подобные выходы пресных вод в открытом море имеются вблизи Марокканского побережья Атлантического океана (у Агадира) и в Коринфском заливе Ионического моря – вблизи Коринфа.

Поскольку средняя плотность тела рыб близка к плотности воды, их вес вблизи основных горизонтов жизнедеятельности достаточно хорошо уравнивается выталкивающей силой по закону Архимеда. Благодаря ритмичной работе мышц рыба может отталкиваться от воды и таким образом перемещаться. При этом по её телу в направлении от головы к хвосту с возрастающей амплитудой пробегает плоская или винтообразная упругая волна. Скорость распространения этой волны превышает быстроту перемещения рыбы. За счёт ритмичного отталкивания от воды при распространении по телу упругой волны и осуществляется плавание рыб. К помощи плавников рыбы прибегают только для поддержания равновесия и при медленных перемещениях.

Такие обитатели морей, как осьминог, каракатица, моллюск сальпа, при перемещении используют принцип реактивного движения – они втягивают воду в специальные мускулистые мешки своего тела, а затем выталкивают ее наружу. Благодаря этому животные по-

лучают возможность перемещаться в направлении, противоположном выбрасываемой струе. А веслоногие, например черепахи, плавают, отталкиваясь от воды ногами.

Мелкие рыбы обычно движутся стаями. К этому их принуждает то обстоятельство, что при увеличении скорости движения близко расположенных тел по закону Бернулли понижается давление в пространстве между ними. Давление между каждыми двумя соседними рыбами в рыбьем косяке будет меньше, чем в среде, не возмущенной движением рыбьей стаи. В этом случае рыбы будут испытывать небольшую прижимающую их друг к другу силу и двигаться вместе. Если бы рыбы в косяке не подчинялись действию гидродинамических сил, они затрачивали бы больше энергии для своего перемещения.

В Средиземном море, у берегов Египта, водится удивительная рыба фагак. Приближение опасности заставляет фагака быстро заглатывать воду. При этом в пищевод рыбы происходит бурное разложение продуктов питания с выделением значительного количества газов. Газы заполняют не только действующую полость пищевода, но и имеющийся при ней слепой вырост. В результате тело фагака сильно раздувается, и, в соответствии с законом Архимеда, он быстро всплывает на поверхность водоема. Здесь он плавает, повиснув вверх брюхом, пока выделившиеся в его организме газы не улетучатся. После этого сила тяжести опускает его на дно водоема, где он укрывается среди придонных водорослей.

Живущий в тропических морях моллюск наутилус может быстро всплывать и вновь опускаться на дно. Моллюск этот живет в закрученной спиралью раковине. Когда ему нужно подняться или опуститься, он изменяет объем внутренних полостей в своем организме.

У широко распространенного в Европе водяного паука, обитающего в стоячих или слабо проточных водах, поверхность брюшка не смачивается водой. Уходя в глубину, он уносит с собой приставшую к брюшку воздушную оболочку, которая придает ему запас плавучести и помогает возвращению на поверхность.

Произрастающий в дельте Волги вблизи Астрахани чилим (водяной орех) после цветения дает под водой тяжелые плоды. Эти плоды настолько тяжелы, что вполне могут увлечь на дно все растение. Однако в это время у чилима, растущего в глубокой воде, на черешках листьев возникают вздутия, придающие ему необходимую подъемную силу, и он не тонет.

Известно, что наибольшие по размерам животные нашей планеты живут в воде. Закон Архимеда способствует тому, чтобы они не были раздавлены весом своего тела. В наше время самым крупным животным является кит, длина его может достигать 30 м. В мезозое крупнейшими были динозавры и среди них атлантозавр, длина тела которого составляла около 60 м.

Так как тела обитателей морей и рек содержат в своем составе много воды, давление в организме этих животных и в окружающей среде легко выравнивается. У рыб с плавательным пузырем такое уравнивание происходит лишь в сферах их постоянной жизнедеятельности. При быстром подъеме из области больших глубин на поверхность водоёма плавательный пузырь рыб под действием высокого внутреннего давления выдавливается наружу, что приводит к их гибели.

В Мёртвом море за счет большого количества растворенных солей (более 27% по весу) плотность воды достигает $1,16 \text{ г/см}^3$. Купаясь в этом море, человек очень мало погружается в воду, находясь как бы на поверхности, поскольку средняя плотность тела человека меньше плотности воды. В нашей стране еще более высокая плотность воды наблюдается в заливе Кара-Богаз-Гол на Каспии и в озере Эльтон.

Для жизни под водой человек совершенно не приспособлен. На глубине 20 м под действием внешнего давления у него могут лопнуть барабанные перепонки. Опуститься же на глубину более 70 м без специального костюма человеку совершенно невозможно. (Правда, натренированные пловцы на очень короткое время опускаются под воду на глубину до 51 м).

В человеческом организме в полости живота давление немного превышает атмосферное, в полости груди, наоборот, меньше атмосферного. Если человек, находясь неглубоко под водой, попытается дышать через узкую трубочку (тростинку или соломинку), то он может непродолжительное время это делать только при толщине находящегося над ним слоя воды менее 1 м. Дополнительное давление на человеческий организм столба воды в 1 м и более быстро приводит к полному прекращению дыхания и кровообращения. При этом кровь переполняет сердце, а брюшная полость и ноги почти совершенно обескровливаются. В процессе же ныряния жизнедеятельность человека существенным образом не нарушается, поскольку в этом случае он набирает в легкие дополнительное количество воздуха, которое помогает ему уравнивать давление воды на его организм.

Известный русский адмирал М.П. Лазарев неоднократно показывал матросам во время плаваний следующий любопытный опыт с бутылкой. С помощью свинцового груза порожнюю закупоренную бутылку матросы опускали под воду на глубину до 430 м. После её подъема на палубу они с удивлением убеждались, что бутылка заполнена глубинной водой и плотно закрыта пробкой, причем верх и низ пробки поменялись местами. Это происходило за счёт давления воды, которое, в соответствии с законами гидродинамики, на глубине 430 м имеет вполне достаточную для этого величину. Опыт Лазарева представляет собой яркую демонстрацию действия давления воды на больших глубинах. Это позволяет лучше понять действие давления воды и на человеческий организм.

Многим, наверное, не раз приходилось наблюдать ледоход на реках. Еще более грандиозное зрелище представляют собой айсберги – «плавающие ледяные горы» больших размеров. Айсберги – это массы материкового льда, оторвавшиеся от ледника или ледового барьера и плавающие в полярных морях и прилегающих к ним акваториях.

Средняя высота надводной части айсберга нередко достигает 50...70 м, максимальное её значение приближается к 450 м. Наибольшая длина подводной части может достигать до 130 км. Объем надводной части айсберга составляет небольшую часть его полного объема.

Перемещаясь в более теплые воды, айсберг оплавляется снизу, в результате чего центр тяжести его перемещается выше центра, к которому приложено выталкивающее действие воды. Такой айсберг теряет равновесие и с шумом переворачивается.

При спокойном море и отсутствии ветра айсберг с подтаявшей нижней частью начинает раскачиваться, что является признаком предстоящего переворачивания. Когда айсберг находится в состоянии неустойчивого равновесия, даже работа машин находящегося поблизости корабля может дать толчок к переворачиванию.

Таяние айсбергов на южной границе северных морей вызывает некоторое понижение солёности воды. В этом же районе в процессе таяния айсберги сбрасывают на дно морей захваченные ими части морен, а иногда и довольно крупные куски скал.

В средней полосе Советского Союза имеются следы подобной деятельности айсбергов, относящиеся к периоду, когда территория нашей страны была дном моря. Аналогично происходит вынос окатанной гальки на дно арктического бассейна. Примерзая ко льду у берегов, галька вместе с льдинами уносится впоследствии в океан и опускается на его дно после таяния льда.

В некоторых реках при быстром течении за счет интенсивного перемешивания воды происходит переохлаждение отдельных участков дна. При этом переохлажденный участок дна покрывается льдом внутриводного и отчасти поверхностного происхождения. Иногда донный лед занимает значительную часть сечения реки. Тогда река выходит из берегов, и становится возможным наводнение.

Так как подъемная сила льда пропорциональна его объему, а сила сцепления с ложем реки пропорциональна поверхности, то при отложении достаточно большого количества льда на дне он может преодолеть сцепление с ложем и всплыть на поверхность. Поднявшаяся на поверхность губчатая масса донного льда обычно содержит различные включения: камни, песок, а иногда и затонувшие якоря вместе с якорными цепями. Донный лед может возникать не только на реках, но и в неглубоких местах морей и озер (вблизи берегов), где переохлаждение достигает дна водоема. В этом случае всплывающий лед поднимает на поверхность придонные водоросли.

Искусно используют закон Архимеда подводники. Если подводная лодка плывет между слоями воды с разной температурой, её балласт подбирают таким образом, чтобы обеспечить небольшую перегрузку для теплого слоя и недогрузку для холодного. В этом случае лодка лежит на холодном слое, не нуждаясь в специальных мерах для поддержания равновесия. Для батискафа с небольшой отрицательной плавучестью слой более плотной воды может играть роль уравнивающего «жидкого грунта».

При переходе подводной лодки из морских глубин в устье реки, подводники тщательно следят за расстоянием между лодкой и дном, так как в пресной воде выталкивающая сила Архимеда меньше, чем в морской, и при недосмотре со стороны экипажа лодка может сесть на илистый грунт речного устья.

Очень большое значение закон Архимеда имеет в технике бурения. Буровая колонна для бурения глубоких скважин уже на глубине 5 км в воздухе имела бы вес 226 тонн. Однако в промывочной жидкости плотностью 2 г/см^3 в соответствии с законом Архимеда вес буровой колонны будет сильно уменьшен. Алюминиевые трубы «теряют» в весе в этих условиях до 50%. Подбором промывочной жидкости можно намного уменьшить вес буровой колонны. Это в огромной степени способствует успеху бурения.

Используя законы гидростатики, человек все полнее познает условия жизни в водной среде и все больше подчиняет водную стихию своей власти.

Рифели

Рифели – это знаки мелкой волновой ряби. Они существуют на Земле со времени появления сыпучих сред – песка и снега. Их отпечатки встречаются в древних геологических пластах (иногда вместе со следами динозавров). Первые научные наблюдения над рифелями были сделаны Леонардо да Винчи.

В пустынях расстояние между соседними гребнями волновой ряби изменяется в пределах от 1 до 12 см (чаще 3...8 см) при глубине впадин между гребнями в среднем 0,3...1 см. Размеры находящихся на рифелях песчинок составляют 0,3...0,05 мм. Средняя высота подъема переносимых ветром песчинок обычно 10...20 см, выше 1 м песчинки поднимаются редко.

Для подводных рифелей, которые образуются в прибрежной зоне морей и рек, расстояние между соседними гребнями находится в пределах 5...30 см (чаще 6...12 см) при глубине впадин 0,5...5 см. На илистом дне расстояние между соседними гребнями ряби может уменьшиться до 0,5 см. В среднем течении Волги отлагающиеся на дне песчинки в основном имеют размеры 0,5...0,005 мм (весь диапазон отложений от 2 до 0,001 мм). Подводные рифели могут возникать сразу после начала движения наиболее мелкого песка, когда скорость потока достигает лишь 0,25 м/сек, при скорости 0,46 м/сек картина подводной волновой ряби получает полное развитие. По достижении потоком скорости 0,75...0,8 м/сек подводные рифели полностью размываются и исчезают. По некоторым данным размывание рифелей может начаться уже при скорости потока 0,46 м/сек.

На поверхности снежного покрова среднее расстояние между соседними гребнями ряби находится в пределах 5...40 см при глубине впадин 1...20 см. В этом случае рифели образуются как при переносе воздушным потоком сухого мелкозернистого снега с размером зерен 0,2...0,4 мм, так и при осадении из послеметельных потоков столбиков льда, пластинок и различных продуктов разрушения ледяных кристаллов размером 0,1...0,15 мм. При скорости ветра менее 2 м/сек на высоте 5 см над поверхностью снежного покрова переноса снежинок не происходит. Опыт показывает, что снежная рябь образуется после примерно часовой работы потока.

За счет влияния взвесенесущего потока рифели всех видов приобретают асимметричный профиль: в направлении потока гребни имеют более крутой склон, чем в противоположном направлении. На больших глубинах на дне морей, где течения сказываются в меньшей мере, рифели имеют симметричный профиль. После образования рифели могут оказывать обратное влияние на пограничный поток, усиливая его волновой характер и способствуя сортировке отложений по степени крупности. Более крупные частицы откладываются на гребнях, а более мелкие – в углублениях. С увеличением скорости потока расстояние между соседними гребнями рифелей возрастает, особенно на поверхности снега.

Существует мнение, что рифели образуются за счёт пульсаций содержания твердой взвеси во взвесенесущем потоке. В метелевых потоках наблюдаются крупномасштабные пульсации концентрации твердой фазы с частотой 0,3...1 Гц и пульсации меньшего масштаба с частотой до 5 Гц. Эти пульсации вызываются периодическими перенасыщениями и недо-насыщениями двухфазного потока в связи с колебаниями его несущей способности. Пульсации водного придонного потока происходят с частотой 5...10 Гц, иногда до 20 Гц.

Поскольку турбулентные пульсации совершаются беспорядочно, они не могут дать фиксированной на свободной поверхности мелкодисперсной сыпучей среды регулярной картины мелкой волновой ряби. Явление можно объяснить приповерхностной конвекцией. Если концентрация твердой взвеси в различных участках пограничного слоя неодинакова, то благодаря диффузии с течением времени будет происходить выравнивание концентраций. Потоки выравнивания концентраций замыкаются в ячейки конвекции, которые за счет частичного отложения взвеси или захвата мелкозернистого материала с граничной поверхности и образуют гребни и впадины рифелей.

Рифели образуются при движении взвесенасыщенных потоков с небольшой скоростью. Слабое движение потока в пограничном слое выводит твердую взвесь из состояния неустойчивого равновесия и облегчает развитие конвекции. Когда частоты турбулентных пульсаций и частоты импульсов конвекции сближаются, между потоком и конвективными ячейками осуществляется эффективное взаимодействие, и в некотором диапазоне скоростей поток поддерживает существование рифелей. Однако при дальнейшем увеличении скорости потока усиливающаяся турбулентность разрушает конвекцию, и рифели постепенно ликвидируются. Возрастание расстояния между рифелями с увеличением скорости потока качественно можно объяснить увеличением коэффициента турбулентной диффузии, от величины которого при прочих равных условиях зависит размер конвективных ячеек.

Смерчи и торнадо

Вертикальные вихри в атмосфере – торнадо и смерчи – известны по описаниям в литературе с XVII века. Русское слово «смерч» происходит от слова «сумрак». Это связано с тем обстоятельством, что смерчи сопутствуют мрачного вида грозовым облакам. Принятое в США наименование вихря – торнадо возникло от испанского слова «торнадос», что означает «вращающийся». Над сушей смерчи имеют диаметр от 100 м до 1 км, иногда до 2 км, над водной поверхностью диаметр их уменьшается до 250...100 м. Как правило, смерч проходит путь 40...60 км со скоростью 10...20 м/сек, что составляет 36...72 км/час. В редких случаях его путь может быть большим, в пределе до 500 км. В 9% от общего числа наблюдавшихся смерчей было отмечено существование на небольшом расстоянии друг от друга нескольких вихрей – это «братские смерчи».

В структуре смерча различают центральную часть – ядро и периферию – мантию. Вращательное движение воздуха в ядре смерча происходит с одинаковой угловой скоростью, как в твердом теле. За пределами ядра, в мантии, угловая скорость с удалением от оси вращения постепенно уменьшается. Горизонтальная скорость воздуха в ядре вихря составляет в среднем 40...50 м/сек, иногда может достигать 100 м/сек.

В подавляющем большинстве смерчей Северного полушария вращение воздуха происходит против часовой стрелки – это связано с вращением Земли вокруг своей оси. Значительное понижение давления в ядре смерча ведет к усилению конденсации водяного пара, что способствует дальнейшему развитию вихря. Визуальная протяженность смерча по высоте составляет 0,8...1,5 км, верхняя же его часть может проникать за нижнюю кромку облака на высоту более 3 км. Благодаря высокой скорости восходящих потоков воздуха в ядре вихря (до 60...80 м/сек.), втянутые им предметы выбрасываются на расстоянии около 16 км влево от траектории движения и примерно на 30...50 км вперед от основания (вследствие трения о земную поверхность смерч при своем движении вытягивается верхней частью вперед).

Прохождение мощного смерча над местностью образует полосу разрушения шириной от 100 до 200 м. Наиболее тяжелые предметы поднимаются вихрем на небольшую высоту и затем отбрасываются в сторону, мелкие же втягиваются в облако. Во время прохождения смерча через Москву в 1904 году с территории Немецкого рынка в Москве был поднят годоводой. Через минуту после подъема выше находившихся поблизости домов он был сброшен на землю, избитый градом, в разорванной одежде. В тот же день на одном из переездов подмосковной железной дороги смерч перенес на новое место железнодорожную будку вместе с путевым обходчиком.

Мощный смерч разрушает на пути своего движения дома, вырывает с корнем деревья. Неоднократно смерч поднимал на несколько секунд в воздух людей, коров и лошадей. В 1956 году при прохождении через деревню Хутор Минской области смерч поднял высоко в воздух лошадь. Однажды поднятый смерчем человек пролетел по воздуху 500 м. Ему удалось избежать гибели только потому, что он ухватился за дерево и благодаря его ветвям смягчил своё падение. Однако ни разу смерчу не удалось ни потопить, ни повредить морское судно.

Истошив свою энергию, смерч выбрасывает из облаков втянутые туда предметы. Именно этим и объясняются неоднократно наблюдавшиеся дожди из сельдей, медуз, лягушек, черепах. Если смерч втягивает в облако из прудов и болот красного цвета растения или микроорганизмы, наблюдаются дожди красного цвета. В 1940 году у деревни Мещеры Горьковской области наблюдался дождь из серебряных монет. Оказывается, во время грозового дождя на территории Горьковской области был размыв клад с монетами. Проходивший поблизости смерч поднял монеты в воздух и выбросил их у деревни Мещеры.

Наиболее часто смерчи наблюдаются в странах с тропическим климатом (особенно в районе Мексиканского залива) в жаркую весеннюю и летнюю погоду. В СССР смерчи нередко появляются во время весенне-летних гроз на Черноморском побережье Кавказа. Возникают смерчи при встрече воздушных потоков с достаточно различными скоростями движения, особенно в тех частях этих потоков, где сильнее проявляется необходимое для вихреобразования трение между слоями воздуха.

Наиболее благоприятные условия для возникновения смерчей существуют в грозовых облаках, откуда эти вихри обычно и опускаются к земле. В США, где смерчи образуются примерно в 40...60 раз чаще, чем в Европе, частота их образования по месяцам года параллельна частоте образования гроз. В пустынях при сильном нагреве песчаной поверхности солнцем также возникают небольшие смерчи диаметром около 2...4 м и высотой до 0,5...1 км. В отдельных случаях такие смерчи могут существовать до 2 часов.

Смерч легко воспроизводится в лаборатории, если над ванной с горячей водой с помощью небольшого вентилятора создать столб поднимающегося с вращением теплого воздуха.

Чаще всего смерчи имеют небольшую энергию. Они обычно быстро исчезают после возникновения и не приносят существенного вреда. Мощные же смерчи существуют длительное время и производят большие разрушения в той местности, через которую они проходят. В США прохождение одного торнадо приносит убытки на сумму до 100 тыс. долларов. Своевременные предупреждения метеорологов о прохождении смерчей позволяют значительно уменьшить возможные убытки.

Приливы в море

Под влиянием притяжения Луны и Солнца происходят периодические поднятия и опускания поверхности морей и океанов – приливы и отливы. Частицы воды совершают при этом и вертикальные и горизонтальные движения. Наибольшие приливы наблюдаются в дни сизигий (новолуний и полнолуний), наименьшие (квадратурные) совпадают с первой и последней четвертями Луны. Между сизигиями и квадратурами амплитуды приливов могут изменяться в 2,7 раза.

Вследствие изменения расстояния между Землей и Луной, приливообразующая сила Луны в течение месяца может изменяться на 40%, изменение приливообразующей силы Солнца за год составляет лишь 10%. Лунные приливы в 2,17 раза превышают по силе солнечные.

Основной период приливов полусуточный. Приливы с такой периодичностью преобладают в Мировом океане. Наблюдаются также приливы суточные и смешанные. Характеристики смешанных приливов изменяются в течение месяца в зависимости от склонения Луны.

В открытом море подъем водной поверхности во время прилива не превышает 1 м. Значительно большей величины приливы достигают в устьях рек, проливах и в постепенно суживающихся заливах с извилистой береговой линией. Наибольшей величины приливы достигают в заливе Фанди (Атлантическое побережье Канады). У порта Монктон в этом заливе уровень воды во время прилива поднимается на 19,6 м. В Англии, в устье реки Северн, впадающей в Бристольский залив, наибольшая высота прилива составляет 16,3 м. На Атлантическом побережье Франции, у Гранвиля, прилив достигает высоты 14,7 м, а в районе Сен-Мало до 14 м. Во внутренних морях приливы незначительны. Так, в Финском заливе, вблизи Ленинграда, величина прилива не превышает 4...5 см, в Черном море, у Трапезунда, доходит до 8 см.

Поднятия и опускания водной поверхности во время приливов и отливов сопровождаются горизонтальными приливо-отливными течениями. Скорость этих течений во время сизигий в 2...3 раза больше, чем во время квадратур. Приливные течения в моменты наибольших скоростей называют «живой водой».

При отливах на пологих берегах морей может происходить обнажение дна на расстоянии в несколько километров по перпендикуляру к береговой линии. Рыбаки Терского побережья Белого моря и полуострова Новая Шотландия в Канаде используют это обстоятельство при ловле рыбы. Перед приливом они устанавливают на пологом берегу сети, а после спада воды подъезжают к сетям на телегах и собирают попавшую в чих рыбу.

Когда время прохождения приливной волны по заливу совпадает с периодом колебаний приливообразующей силы, возникает явление резонанса, и амплитуда колебаний водной поверхности сильно возрастает. Подобное явление наблюдается, например, в Кандалакшском заливе Белого моря.

В устьях рек приливные волны распространяются вверх по течению, уменьшают скорость течения и могут изменить его направление на противоположное. На Северной Двине действие прилива сказывается на расстоянии до 200 км от устья вверх по реке, на Амазонке – на расстоянии до 1 400 км. На некоторых реках (Северн и Трент в Англии, Сена и Орне во Франции, Амазонка в Бразилии) приливное течение создает крутую волну высотой 2...5 м, которая, распространяется вверх по реке со скоростью 7 м/сек. За первой волной может следовать несколько волн меньших размеров. По мере продвижения вверх волны постепенно ослабевают, при встрече с отмелями и преградами они с шумом дробятся и пенятся. Явление это в Англии называется бор, во Франции маскаре, в Бразилии поророка.

В большинстве случаев волны бора заходят вверх по реке на 70...80 км, на Амазонке же до 300 км. Наблюдается бор обычно во время наиболее высоких приливов.

Спад уровня воды в реках при отливе происходит медленнее, чем подъем во время прилива. Поэтому, когда в устье начинается отлив, на удаленных от устья участках еще может наблюдаться последствие прилива.

Река Сен-Джонс в Канаде, недалеко от места впадения в залив Фанди, проходит через узкое ущелье. Во время прилива ущелье задерживает движение воды вверх по реке, уровень воды выше ущелья оказывается ниже и поэтому образуется водопад с движением воды против течения реки. При отливе же вода не успевает достаточно быстро проходить через ущелье в обратном направлении, поэтому уровень воды выше ущелья оказывается выше и образуется водопад, через который вода устремляется вниз по течению реки.

Приливо-отливные течения в морях и океанах распространяются на значительно большие глубины, чем течения ветровые. Это способствует лучшему перемешиванию воды и задерживает образование льда на ее свободной поверхности. В северных морях благодаря трению приливной волны о нижнюю поверхность ледяного покрова происходит уменьшение интенсивности приливо-отливных течений. Поэтому зимой в северных широтах приливы имеют меньшую высоту, чем летом.

Поскольку вращение Земли вокруг своей оси опережает по времени движение Луны вокруг Земли, в водной оболочке нашей планеты возникают силы приливного трения, на преодоление которых тратится энергия вращения, и вращение Земли замедляется (примерно на 0,001 сек за 100 лет). По законам небесной механики дальнейшее замедление вращения Земли повлечет за собой уменьшение скорости движения Луны по орбите и увеличение расстояния между Землей и Луной. В конечном итоге период вращения Земли вокруг своей оси должен сравняться с периодом обращения Луны вокруг Земли. Это произойдет, когда период вращения Земли достигнет 55 суток. При этом прекратятся суточное вращение Земли, прекратятся и приливо-отливные явления в Мировом океане.

В течение длительного времени происходило торможение вращения Луны за счет возникшего в ней приливного трения под действием земного притяжения (приливо-отливные явления могут возникать не только в жидкой, но и в твердой оболочке небесного тела). В результате Луна потеряла вращение вокруг своей оси и теперь обращена к Земле одной стороной. Благодаря длительному действию приливообразующих сил Солнца потерял свое вращение и Меркурий. Как и Луна по отношению к Земле, Меркурий обращен к Солнцу только одной стороной.

В XVI и XVII веках энергия приливов в небольших бухтах и узких проливах широко использовалась для приведения в действие мельниц. Впоследствии она применялась для приведения в действие насосных установок водопроводов, для транспортировки и монтажа массивных деталей сооружений при гидростроительстве.

В наше время приливная энергия в основном превращается в электрическую энергию на приливных электростанциях и вливается затем в общий поток энергии, вырабатываемой электростанциями всех типов. В отличие от гидроэнергии рек, средняя величина приливной энергии мало меняется от сезона к сезону, что позволяет приливным электростанциям более равномерно обеспечивать энергией промышленные предприятия.

В Кислой губе вблизи Мурманска с 1968 года начала работать первая в нашей стране приливная электростанция мощностью в 400 киловатт. Проектируется приливная электростанция в устье Мезени и Кулоя мощностью 2,2 млн киловатт.

За рубежом разрабатываются проекты приливных электростанций в заливе Фанди (Канада) и в устье реки Северн (Англия) мощностью соответственно в 4 и 10 млн киловатт, вступили в строй приливные электростанции Ранс и Сен-Мало (Франция) мощностью в 240 и 9 тыс. киловатт, работают небольшие приливные электростанции в Китае.

Пока энергия приливных электростанций обходится дороже энергии тепловых электростанций, но при более рациональном осуществлении строительства гидросооружений этих станций стоимость вырабатываемой ими энергии вполне можно снизить до стоимости энергии речных электростанций. Поскольку запасы приливной энергии планеты значительно превосходят полную величину гидроэнергии рек, можно полагать, что приливно-энергия будет играть заметную роль в дальнейшем прогрессе человеческого общества.

Водовороты, сулой и «мёртвая вода»

На реках нередко встречаются вертикальные вихри в воде – водовороты. У правого берега вихри имеют вращение по часовой стрелке, у левого – против. Вихри с нисходящим движением воды вдоль оси и воронкой на свободной поверхности известны под названием омутов, вихри с восходящим движением воды называются суводями. Начинаясь вблизи берегов, водовороты могут распространяться на значительную часть поверхности реки. Интенсивность их возрастает со скоростью течения. При прохождении через омуты и суводы ухудшается управляемость судов, они чаще отклоняются от курса.

Даже при полном безветрии в морских проливах иногда можно наблюдать бушующее море, когда пенящиеся и крутящиеся валы и буруны, не имеющие видимого поступательного движения, обрушиваются на корабль со всех сторон. Явление это известно под именем сулоя, или «толчеи волн». Возникает сулой из-за разнонаправленности приливо-отливных течений. Особенно сильный сулой наблюдается в дни максимальных склонений Луны в проливах Курильских островов и в районе Шантарских островов (Охотское море). При прохождении через волны сулоя высотой до 5 м у малых судов ухудшается управляемость, резко возрастает сопротивление движению.

Ещё большее сопротивление движению наблюдается в районе «мёртвой воды». Вот как описывает это явление Ф. Нансен в книге «Фрам» в полярном море»: «Судно «Фрам» попало в зону «мёртвой воды» и, несмотря на форсированную работу машин, почти не двинулось с места. Оно будто тащило всю воду за собой. Своеобразное явление эта «мёртвая вода». Для изучения его представился здесь лучший случай, чем мы хотели бы. Встречается оно, по-видимому, лишь там, где слой пресной или сильно распреснённой воды лежит поверх солёной морской воды. Пресная вода увлекается судном, и оно скользит по тяжёлой солёной воде, как по твердой подстилке. Разница в солёности этих слоёв очень велика. Так, например, вода, взятая с поверхности, вполне пригодна для питья, а вода, поступавшая через кингстон, настолько солёна, что не годилась даже для котла. Что мы ни делали, чтобы выбраться из «мёртвой воды», – круто поворачивали судно, лавировали, описывали полный круг – всё напрасно. Лишь только машина переставала работать, судно тотчас же останавливалось, точно схваченное чем-то за корму».

«Мёртвая вода» может наблюдаться при тихой погоде на небольшом участке акватории в районе таяния ледников, айсбергов или ископаемых льдов, в местах интенсивного выпадения осадков и в устьях, впадающих в море рек, когда морская вода покрывается слоем воды пресной. Сопротивление движению корабля в «мёртвой воде» возникает благодаря внутренним волнам на поверхности раздела между солёной и пресной водой, на образование которых затрачивается значительная часть энергии силовой установки. Сопротивление это зависит от скорости движения корабля и может в 9 раз превышать сопротивление движению в нормальной воде. Кроме того, оно возрастает с приближением толщины пресного слоя к осадке корабля и с увеличением разности плотностей солёной и пресной воды.

Водовороты, сулой и «мёртвая вода» – трудные условия для плавания небольших судов.

Самые обильные дожди

Тропические циклоны Аравийского моря и Бенгальского залива, а также летние муссоны приносят на территорию Индии огромные массы теплого воздуха. При подъеме по горным склонам за счет трения о земную поверхность и развития конвекции движение воздушных потоков замедляется. Это приводит к увеличению количества выпадающих осадков. Наиболее интенсивные осадки в Индии отмечаются в наветренной части предгорий, особенно при продвижении на север теплых воздушных масс Бенгальского залива.

Расположенная в горах Кхаси на высоте 1 314 м над уровнем моря обсерватория Черрапунджи вот уже много лет (сведения об осадках в Черрапунджи публикуются с 1851 года) фиксирует рекордное для земного шара количество выпадающих летом осадков. Теплые и влажные муссонные потоки вблизи Черрапунджи совершают резкий подъем между горами Кхаси и Аракан, поэтому количество выпадающих здесь осадков резко возрастает. С 1851 по 1900 год среднегодовое количество осадков в Черрапунджи составляло 11 905 мм, а за 11 месяцев 1861 года (без марта.) достигло феноменальной цифры 22 990 мм. В первой половине нашего века годовое количество осадков в Черрапунджи в среднем находилось в пределах 9000...12 000 мм, в течение суток за этот период иногда выпадало до 1 016 мм. За период с 1903 по 1962 год наибольшее количество осадков приходилось на 1951 год – 15 846 мм. В мае максимальное количество осадков было отмечено в 1948 году (3 278 мм), в июне в 1956 году – 5 689 мм, в июле в 1951 году – 4 620 мм, в августе в 1935 году – 3 450 мм. Таким образом, наибольшее количество осадков в Черрапунджи приходится на июнь – июль. Минимальное количество осадков в районе обсерватории выпадает в январе.

С 1903 по 1962 год количество осадков в Черрапунджи колебалось около довольно высокой средней нормы. Предельно высокое количество осадков удерживается здесь год, в некоторых случаях два года подряд, после чего наступает резкий спад. По достижении минимума обычно следует быстрый переход к максимуму. Любопытно отметить, что в годы максимумов солнечной деятельности (1913, 1923, 1933, 1944) и в годы ее минимумов (1907, 1917, 1928, 1937, 1947, 1957) в Черрапунджи наблюдалось понижение количества осадков.

С осадками в Черрапунджи в первую очередь может соперничать Квибдо (Колумбия): за 7 лет, с 1931 по 1937 год, в среднем за год здесь выпадало 9 564 мм осадков, а в 1936 году было отмечено 19 639 мм осадков. Высокая норма осадков характерна и для Дебундже (Камерун), где за 34 года, с 1896 по 1930 год, в среднем выпадало 9 498 мм, а максимальное количество осадков (14 545 мм) наблюдалось в 1919 году. В Буэнавентуре и Анготе (Колумбия) годовая норма осадков близка к 7 000 мм, в ряде пунктов на Гавайских островах она находится в пределах 6 000...9 000 мм.

В Европе довольно дождливым местом считается Берген (Норвегия). Однако в норвежском местечке Самнангер выпадает еще больше осадков: за последние 50 лет годовое количество осадков здесь нередко превышало 5 000 мм.

В нашей стране наибольшее количество осадков выпадает в Грузии, в районе Чаквы (Аджария) и в Сванетии. В Чакве среднее годовое количество осадков составляет 2 420 мм (крайние значения 1 800...3 600 мм). В 1959 году в Аджарии, на высоте 1 200 м над уровнем моря, на склонах Аджаро-Имеретинского хребта была открыта метеостанция Цискара. Эту станцию называют также «Мта-Мтирала» (в переводе «плачущая гора»), поскольку

ку здесь часты осадки и туманы, причем в холодное время года даже чаще, чем в теплое (годовой ход осадков здесь иной, чем в Черрапунджи). В 1961 году на станции Цискара выпало 3 836 мм осадков, в 1962 году – 3 750 мм и в 1966 году – 3 407 мм.

Обилие осадков в районе Чаквы объясняется выносом на сушу на этом участке Черноморского побережья теплых и неустойчивых атлантических воздушных масс, дополнительно обогащенных влагой при прохождении над Средиземным и Черным морями. При встрече с отрогами Аджаро-Имеретинского хребта циклоны нередко задерживаются, давление воздуха в них понижается. Ориентация отрогов хребта относительно воздушных течений способствует развитию в воздушных массах конвекции, что и приводит к увеличению количества выпадающих осадков.

Тропические и полярные циклоны имеют неодинаковое содержание влаги. Именно этим в первую очередь объясняется различие в количестве осадков в Черрапунджи (тропические циклоны) и в Грузии (полярные атлантические циклоны). Кроме того, в Черрапунджи мощное воздействие на выпадение осадков оказывает и муссонная циркуляция. Все это и обеспечивает значительный перевес в количестве выпадающих осадков в Черрапунджи по сравнению с Аджарией и Сванетией.

Капиллярная конденсация

Известно, что упругость пара над вогнутой поверхностью жидкости меньше упругости его над плоской или выпуклой поверхностью той же жидкости. Поэтому когда ветер приносит водяной пар с плоской поверхности морей и рек к кучам камней в пустыне, в капиллярах которых свободная поверхность воды является вогнутой, принесенный водяной пар из насыщенного становится перенасыщенным, и над вогнутым мениском в капилляре начинается конденсация. Это происходит не только в капиллярах, пронизывающих камни, но и в капиллярах растений. Так образуется роса.

В Швейцарии за счёт росы почва получает в среднем на 10% больше влаги, чем за счёт дождя, поскольку роса выпадает здесь чаще и на более значительной территории, чем дождь. В Калифорнии с июня по сентябрь, когда нет дождей, почва получает влагу только за счёт росы. В районе Гибралтара конденсационная влага собирается и стекает в особые резервуары – «пруды росы». Подобного типа пруды существуют и в некоторых районах Англии. Роса выпадает не только на поверхности, пронизанной выходами капилляров, но и на поверхности, лишенной их. Однако на поверхности с капиллярами росы выпадает больше, чем на гладкой поверхности той же площади.

Человеческий волос тоже имеет на своей поверхности многочисленные микроскопические поры. Если волос обезжирить, в порах может конденсироваться водяной пар с образованием вогнутых менисков. При увеличении влажности воздуха поры все больше заполняются влагой, кривизна менисков при этом уменьшается, свободная поверхность жидкости приближается к плоской поверхности. Это приводит к расширению объема пор, и волос растягивается. Когда влажность воздуха уменьшается, происходит испарение влаги с поверхности менисков, кривизна их увеличивается, и волос сжимается. На этом свойстве волоса основано устройство волосного гигрометра.

Вблизи Феодосии в Крыму до 1912 года действовала несложная установка для получения влаги из воздуха. Она состояла из нескольких куч камней (объем каждой из них составлял около 290 м³), расположенных на водоупорном скальном основании. Возникавшая в каменных кучах за счет капиллярной конденсации вода отводилась по гончарным трубам в Феодосию, где питала небольшие фонтаны. Установка давала до 350 литров питьевой во-

ды в сутки. Остатки устройств и приспособлений для получения влаги из воздуха найдены также в Сахаре, в горных районах Италии, в Тувинской республике, в Каракумах и на восточном побережье Каспия.

В 1934 году К.Э. Циолковским был предложен наиболее рациональный проект получения влаги в пустыне путём пропускания теплого и влажного воздуха через подземную галерею, заполненную крупными и мелкими камнями. Этим методом можно получить значительно больше влаги, чем с помощью конденсационных установок других типов.

На восточном побережье Каспия пресную воду прежде нередко получали из вырытых в почве или песке небольших ямок, в которых происходила капиллярная конденсация. Теперь этот способ усовершенствован. Для получения влаги на дно вырытой в земле конусообразной ямы глубиной 50...70 см и диаметром около метра устанавливают котелок для сбора воды, после чего яма покрывается прозрачной синтетической пленкой. По краям ямы пленка закрепляется подсыпкой земли и сверху на нее кладется камень с расчетом, чтобы после прогиба пленка не достигала дна. Поскольку пленка прозрачна, она почти не будет поглощать солнечного тепла и должна нагреваться на солнце значительно меньше, чем почва. Поэтому насыщенный водяной пар из почвы при соприкосновении с пленкой будет на ней конденсироваться, и капли воды будут стекать по пленке в котелок. Опыт показывает, что влага начинает конденсироваться примерно через час после запуска установки. За сутки таким способом можно получить более 0,5 литра воды.

Влажность и звук

В конце прошлого века в Англии производились длительные наблюдения слышимости вестминстерского часового колокола. Было установлено, что колокол вечером слышен лучше и дальше, чем днем. Уже тогда это объясняли высокой влажностью и стабильностью приземного слоя воздуха в вечернее время.

В дореволюционном киевском Подоле существовало выражение «Лавра гудит» (особенная густота и явственность колокольного звона Лавры).

Эта примета была связана с надвигающимся ненастьем, т.е. с повышенной влажностью воздуха. В США также было отмечено значительное влияние влажности на распространение звуков разной тональности. В концертной чаше Голливуда, например, при исполнении музыкальных произведений, в задних рядах для публики, на расстоянии 165 м от оркестра, во влажную погоду высокие тона воспринимались в несколько раз громче, чем в сухую. Подобное влияние влажности на распространение звука было установлено и для закрытых помещений. Специальные наблюдения над слышимостью сирен плавающих маяков в Англии показали, что изменения слышимости сигналов во многих случаях почти в точности следовали за изменениями относительной влажности воздуха. Эти наблюдения обратили внимание исследователей на явную связь между влажностью и поглощением звука. Большое значение звуковых сигналов для навигации явилось стимулом к изучению явления не только в естественных, но и в лабораторных условиях.

Акустические колебания проходят среду как последовательность адиабатических разрежений и сжатий. При адиабатическом сжатии газа часть энергии сжатия переходит в энергию внутримолекулярных движений, при адиабатическом разрежении она возвращается обратно. Если время, необходимое для осуществления разрежения и сжатия, будет одного порядка со временем, требующимся для установления термического равновесия (релаксации), то известная доля звуковой энергии, превратившись во внутреннюю энергию моле-

кул в процессе сжатия, по окончании расширения не успеет превратиться во внешнюю. В этом случае произойдет наиболее значительное поглощение звука молекулами газа.

Энергия, затрачиваемая на сжатие, превращается, прежде всего, в поступательную энергию молекул, движущихся параллельно направлению сжатия. Определенная часть поступательной энергии переходит затем во вращательную и колебательную энергию атомов в молекулах, но может быть затрачена и на осуществление перехода атомных и молекулярных электронов на более высокие уровни энергии.

В сухом, чистом и неподвижном воздухе поглощение акустических колебаний имеет наименьшую величину и осуществляется молекулами кислорода. Во влажном воздухе поглощение возрастает, но остается меньшим по величине, чем в турбулентном воздушном потоке. Поглощение звука во влажном воздухе происходит за счет взаимодействия молекул кислорода и водяного пара. Часть звуковой энергии при неупругих столкновениях молекул переходит в колебательную энергию атомов в молекулах. Для всех частот с увеличением относительной влажности поглощение звука сначала возрастает, при влажности 10...20% достигает максимума и при дальнейшем увеличении влажности монотонно уменьшается.

При температуре ниже или около 0°C столкновения между молекулами энергетически недостаточны для возбуждения колебательных движений атомов в молекулах кислорода. Зато при увеличении температуры воздуха от 20 до 55°C молекулярное поглощение звука благодаря возбуждению колебательных движений в молекулах кислорода возрастает примерно в 2 раза. В Калифорнии, например, при температуре около 55°C и влажности в 2,5% во время штиля на частоте 3 кГц поглощение звука составляет 0,13 дБ/м.

В зоне умеренного климата на той же частоте при влажности 40% и отсутствии ветра оно равняется лишь 0,02 дБ/м.

Внутренняя энергия молекул азота слишком мала, чтобы влиять на поглощение звука. В углекислом газе поглощение звука становится значительным, начиная с частоты в 3 кГц, и в дальнейшем быстро растет.

Воздух, наполненный туманом, не может не вызывать добавочного поглощения и рассеяния звука. Затухание звука в тумане происходит благодаря его рассеиванию на каплях, так как капли участвуют в колебательном движении и испаряются при сжатиях звуковых волн. Наблюдаемое иногда при редких туманах улучшение слышимости можно объяснить влиянием свойственной туману высокой влажности, наличием температурных инверсий, отклоняющих звуковые лучи к земле, и почти полным отсутствием ветра.

Обычно при подъеме над земной поверхностью температура атмосферного воздуха падает, при инверсиях наблюдается обратный ход температуры.

Английские аэронавты, поднимавшиеся во время тумана над Лондоном, наблюдали следующие любопытные явления. Во время поднятия шара в тумане ничего не было видно и все идущие от земли звуки были сильно ослаблены, благодаря чему казались очень отдаленными. Сразу после поднятия над слоем приземного тумана все звуки города были вновь хорошо слышны. Из-за отсутствия перспективы при обзоре окружающего пространства и довольно сильного поглощения звука в облаках аэронавты ощущали изолированность от земли. Лишь иногда ее нарушали слабые звуки земли: гудки поездов, пенье петухов, лай собак. Оpozнание земных звуков затруднялось благодаря изменению их тембра в результате преимущественного поглощения в облаках высоких частот.

В практике мореплавания известны случаи, когда звуковые сигналы в тумане слышны на далеких расстояниях и одновременно не слышны на более близких. Если звуковой маяк и корабль не находятся в зоне тумана одновременно, то в зависимости от угла падения звуковых лучей на границу чистого воздуха и тумана возможно и сильное поглощение сигнала, и образование эха.

Лабораторные измерения показали, что в тумане с водностью $2 \cdot 10^{-6}$ г/см³ при радиусе капель $6,25 \cdot 10^{-4}$ см затухание звука на частоте 0,5 кГц составляет 0,016 дБ/м, на частоте 8 кГц оно значительно больше и достигает 0,04 дБ/м.

При изменении влажности и содержания в атмосфере пыли и ядер конденсации могут возникнуть условия, при которых распространение мощных ударных волн благодаря фазовым превращениям на их фронтальных границах становится видимым. В чистом воздухе, не насыщенном водяным паром, взрывные волны могут быть видимы за счет изменения показателя преломления на фронте волны в результате сильного сжатия.

В лабораторных условиях на фронте ударной волны в аргоне удавалось получать температуру до 30 000°С. При этом газ сильно ионизировался, и за продвижением фронта волны можно было следить по исходившему от него яркому свечению. В принципе подобные явления возможны и при мощных взрывах в атмосфере.

Видимые волны звука отмечались неоднократно. В 1906 году их наблюдали во время извержения Везувия, в 1910 году – при извержении Этны. Во время войны 1914 года в низких облаках над стреляющими гаубицами нередко можно было видеть темные и светлые круги толщиной 4...6 угловых минут, быстро удалявшиеся в облаке, расположенном непосредственно над стреляющим орудием. Однажды бегущие по небу темные и светлые полосы наблюдались в ясный летний день с высокой влажностью после взрыва у земной поверхности 30 кг взрывчатого вещества. Во время Великой Отечественной войны в ясное и тихое утро без росы в одном из районов Западной Украины над местом разрыва бомб весом до 300 кг возникали маленькие темно-пепельного цвета дуги шириной в 4 угловые минуты. Сначала медленно, а затем все быстрее дуги приближались к зениту. Перемещение дуг от горизонта к зениту занимало по времени 15 секунд. У горизонта расстояние между дугами составляло 0,5...1°, в зените оно доходило до 5...8°. При каждом взрыве возникало от 2 до 4 концентрических дуг. Быстро пройдя через зенит, дуги уменьшались в размерах и исчезали на фоне неба. Грохот взрыва был слышен во время прохождения дуг через зенит.

Иногда на фоне светлых перистых облаков можно видеть и баллистическую волну, возникающую в передней части летящего со сверхзвуковой скоростью самолета. Волна имеет вид темной полудуги с резко очерченным передним краем. Тыльная часть волны постепенно сливается с фоном облаков. За первой волной может следовать более слабая вторая. Длительность наблюдения явления достигает 10 секунд. При пролёте через атмосферу крупных метеоритов видимые баллистические волны пока отмечены не были.

В головах комет нередко наблюдаются равномерно расширяющиеся круговые полосы (галосы). Скорость их распространения в верхнем пределе достигает нескольких километров в секунду. Наблюдениями установлено образование следующих друг за другом концентрических галосов с центром чаще всего (но не всегда) в ядре кометы. Расположенные в плоскости галактического экватора, рукава Галактики также состоят из последовательности сгущений и разрежений, но уже в межзвездной среде – нейтральном водороде. Оба

явления возникают в результате распространения в космическом пространстве ударных волн и имеют общие черты с развитием ударных волн в земной атмосфере.

Осмоз

Если разделить воду и водный раствор какого-либо вещества пленкой (мембраной) животного или растительного происхождения, через неё будет происходить односторонняя диффузия растворителя к растворенному веществу. Когда такая пленка разделяет два раствора различной концентрации, растворитель переходит от раствора с меньшей концентрацией к раствору с большей концентрацией. Проникновение растворителя к растворенному веществу через полупроницаемую перегородку получило название осмоса (греческое «толчок», «давление»). За счёт ударов тех молекул, которые не пропускаются мембраной, возникает одностороннее давление на мембрану – осмотическое давление. Всасывающее действие мембраны может быть скомпенсировано избытком гидростатического давления со стороны более концентрированного раствора.

Явление осмоса открыто в 1805 году русским академиком Г.Ф. Парротом. Голландский химик Я.Г. Вант-Гофф установил, что при постоянной температуре осмотическое давление возрастает пропорционально концентрации растворенного вещества, с повышением же температуры давление растёт пропорционально первой степени температуры.

Осмозом объясняется «оживление» увядших цветов в воде, набухание семян, прорастание растений сквозь асфальтовое покрытие дорог и тротуаров. Если подрезать стебель растения у земли, можно наблюдать выделение из него соков под влиянием осмотического давления. Вместе с соками при этом выделяется и поступающая через корни вода («плач» растений).

В организме людей осмотическое давление составляет около 8 атм, у млекопитающих оно меняется в пределах 7,5...9 атм, а у костистых рыб – в диапазоне от 10 до 15 атм. У луговых растений осмотическое давление поддерживается на уровне 5...10 атм, у солончаковых и пустынных – на уровне 60...80, иногда до 100 атм, а у семян при небольшой влажности приближается к 400 атм.

В эпоху построения египетских пирамид не существовало взрывчатых веществ. Для отвала скальных пород египтяне использовали явление осмоса. С этой целью в скале делалось отверстие, куда забивался деревянный клин. При поливании водой клин постепенно разбухал и раздвигал скальные стенки. Так производился отвал породы. После этого крупные куски известняка на катках и полозьях перевозили к месту построения пирамид.

В последнее время осмос стали применять и при очистке сточных вод. Для этого резервуар со сточными водами отделяется от чистой воды полупроницаемой мембраной. Накладывая на такую систему давление, противоположное осмотическому, которое не только компенсирует осмотическое давление, но и значительно превышает его, заставляют молекулы растворителя проходить через полупроницаемую перегородку не в направлении разбавления раствора (обычном направлении осмоса), а в противоположном направлении. При этом растворитель (вода) уходит из растворенного вещества, и сточные воды постепенно очищаются.

Где вода теплее?

Термический режим поверхностного слоя воды в морях и океанах обусловлен географическим положением акватории, метеорологическими условиями и течениями. Значительное

влияние на температуру воды в морях и океанах оказывают также рельеф дна и сток пресных вод. В прибрежных и мелководных участках температура значительно выше, чем над большими глубинами. Термический экватор (область наиболее высоких температур) в морях и океанах смещен в Северное полушарие.

Наиболее высокая температура поверхностного слоя воды – до 32,8°C – наблюдается в августе в Мексиканском заливе, Флоридском проливе и в южной части Красного моря. В Красном море в августе предельно высокая температура удерживается более длительно, чем в других местах (повторяемость 60%). В Советском Союзе наиболее высокая температура (до 37,2°C) отмечена в Каспийском море, в районе Бирючьей косы. В Аральском море (в районе Актумсука) максимальная температура достигает 32,4°C, в Азовском (у Таганрога) 32°C, в Черном (у Николаева) 31,2°C, в Японском (в бухте Угловой) 31,2°C, в Охотском (у острова Байдукова) 25,9°C и в Беринговом (у Петропавловска) 22,2°C.

На термический режим рек, особенно небольших, значительное влияние оказывает климат окружающей местности. Поэтому температура воды в реках в низких широтах может быть значительно выше, чем в морях и океанах. Наивысшая температура поверхностного слоя воды в реках нашей страны отмечена на реке Таирсу (приток Аму-Дарьи) у кишлака Шахбур (до 45,2°C). На реке Тилигул в Одесской области, которая впадает в лиман Тилигульский, у села Ново-Украинка была зарегистрирована температура 39,4°C. В большинстве случаев предельно высокие температуры воды в реках наблюдаются в течение одного дня. Однако повышенные температуры держатся дольше. Так, на реках Ичгул и Кубань температура выше 25°C держится до 20 дней, на Северном Донце до 30 дней, а на реках Туркмении и бассейна Аму-Дарьи 50...60 дней.

Используя разницу в температуре поверхностных и глубинных вод, можно из природных вод извлекать тепло и перерабатывать его на электростанциях в электроэнергию. Первая станция такого типа мощностью в 14 тыс. киловатт работает в Абиджане (Африка, Берег Слоновой Кости). Холодную воду она получает из моря с глубины 500 м. Разность температур поверхностных и глубинных вод составляет здесь 10...15°C.

Воды открытых водоемов имеют температуру, достаточную для испарения жидкостей с низкой температурой кипения. Температура пара легко кипящей жидкости может быть повышена за счет сжатия его в замкнутом резервуаре с помощью компрессора. Во время первой мировой войны, когда в Швейцарию не подвозился уголь, получаемый таким образом пар, было экономически выгодно использовать для подогрева воды в системах отопления.

Морозные узоры на окнах

Ледяные узоры на окнах представляют собой редкое по красоте зрелище. Среди многих видов морозных узоров чаще других встречаются дендриты (древовидные образования) и трихиты (волокнистые формы).

Характер кристаллизации воды на стекле во многом зависит от условий охлаждения. При охлаждении от 0 до – 6°C и небольшой исходной упругости водяного пара на поверхности оконного стекла отлагается однородный слой непрозрачного, рыхлого льда. Для начального образования тонкого слоя такого льда в качестве затравок кристаллизации известную роль могут играть дефекты структуры поверхности, царапины. Однако в ходе дальнейшего развития процесса эти влияния полностью перекрываются общей картиной осаждения льда по всей охлаждающейся поверхности.

Если охлаждение поверхности оконного стекла начинается при положительной температуре и более высокой относительной влажности и в процессе охлаждения проходит точка росы, то на охлаждающейся поверхности сначала отлагается пленка воды, которая уже при отрицательных температурах закристаллизовывается в виде дендритов. Чаще дендритная кристаллизация начинается с нижней части оконного стекла, где вследствие действия силы тяжести накапливается большее количество воды. Размеры дендритных кристаллов зависят от имеющегося для их образования материала. В нижней части окна, где пленка воды толще, дендриты обычно имеют большие размеры. По мере перехода к верхней части окна размеры дендритов уменьшаются. В случае равномерной увлажненности стекла размеры дендритов примерно одинаковы. Дальнейшее охлаждение способствует отложению между дендритами, а затем и на дендритах тонких слоев пушистого льда. Быстрые и значительные по величине переохлаждения дают мелкомасштабную дендритную кристаллизацию. При недостатке влаги на стекле нарушается сплошной характер кристаллизации: дендриты растут островками, их формы менее резко выражены, а размеры уменьшены в сравнении с нормальными условиями.

Трихиты образуются у острых краев царапин на поверхности охлаждающегося твердого тела. При этом вначале кристаллы образуют узкие параллельные полоски инея, вырождающиеся при дальнейшем охлаждении в достаточно плотные ледяные волокна, исходящие от основного стебля. В большинстве случаев как основное волокно, так и прилегающие к нему тонкие полоски инея слегка изогнуты.

При осаждении льда вблизи охлаждающейся поверхности отмечаются колебания температуры величиной до $0,5^{\circ}\text{C}$, что указывает на существование в этой области ощутимой конвекции.

В метеорологии инеем называется отложение льда из влажного воздуха на достаточно охлажденную горизонтальную поверхность. Отложение рыхлого льда на стеклах окон имеет черты сходства с инеем, несмотря на вертикальное расположение охлаждающей поверхности.

Известно, что крепкая серная кислота хорошо поглощает воду. Если между рамами окна поставить стаканчик с такой кислотой, основное количество водяного пара из пространства между стеклами поглотится ею, и отложения льда на окне при не очень сильных морозах происходить не будет. Тщательная теплоизоляция внешнего оконного стекла в местах его соприкосновения с рамой не допускает сильного охлаждения прилежащего изнутри к стеклу слоя воздуха, что также не благоприятствует осаждению льда на внутренней стороне стекла. С помощью этих мер затрудняется образование морозных узоров на окнах и обеспечивается необходимая прозрачность оконных стекол в зимнее время.

Сооружения из льда

Предки современных эскимосов, населявшие арктическое побережье Северной Америки в районе залива Коронации и Медной реки, еще во второй половине первого тысячелетия нашей эры научились строить хижины из льда. В большинстве это были небольшие хижины «игло» на семью из четырех человек (общественные постройки эскимосов для игр и праздников могли вмещать до 100 человек). Эти хижины имели куполообразную форму. Внутренний диаметр обычной хижины составляет около 3 м при высоте от пола до потолка до 2 м. Куполообразная форма придает хижине повышенную прочность и сводит до минимума тепловые потери через внешнюю поверхность.

Для постройки хижины заготавливается около 60 снежных кирпичей размером 60х60х20 см³. При кладке кирпичи скрепляются водой. Вход в хижину ориентируется под углом 90° к направлению господствующих ветров. При горении жировых светильников температура в хижине поддерживается около 2°С. Если же в хижине развести очаг и стены покрыть шкурами животных или тентом, температура в ней на высоте 1,5 м над полом может быть поднята до 25°С.

В Якутии иногда также создают «ледяные хижины». Для этого деревянные жилые строения щедро обливают на морозе водой. Образующаяся после замерзания воды довольно толстая корка льда способствует лучшему сохранению тепла в помещениях.

Лёд представляет собой материал с небольшим пределом упругости. Его упругие свойства обычно проявляются при кратковременных нагрузках. Под действием постоянных нагрузок (даже небольших) происходит пластическая деформация льда, лед медленно «течет». Этим объясняется движение ледников в горах. Разрушение льда происходит при деформации изгиба, начиная примерно с 15 кг/см², и при сжатии от нагрузок порядка 30 кг/см² и более.

Во время исторической битвы на Чудском озере в 1242 году Александр Невский, искусно используя природные условия, перевел битву с немецкими псами-рыцарями на участок не очень крепкого льда. Одетые в тяжелые доспехи, тевтонские рыцари в ходе боя создали настолько большую нагрузку на поверхность озера, что стали проваливаться под лед.

В 1740 году русская императрица Анна Иоановна ради забавы решила отпраздновать женитьбу шута на одной из придворных приживалок. Для этого в Петербурге на Неве был выстроен ледяной дом с площадью основания около 80 м² и высотой до 6 м. Стены и пол дома были выложены ледяными плитами и скреплены водой. Дом получился добротным и красивым, соответствующим церемонии, для которой был предназначен. Весной он растаял.

Как строительный материал лёд использовался ещё руководителями крестьянских восстаний Болотниковым и Пугачевым в военных целях. Для этого они обливала на морозе стога сена водой. Через некоторое время вода замерзала и превращала каждый стог в солидную преграду.

Конструкции из льда могут возникать и без участия человека. Крупные обломки скал в виде каменных плит, падающих иногда с горных склонов на поверхность ледников, предохраняют находящийся под ними лед от таяния. Так как не защищенный от прямого воздействия солнечных лучей лед тает, каменная плита через некоторое время оказывается стоящей на ледяной ножке на поверхности ледника. По мере того как подтаивает затем овеваемая тёплым воздухом ножка, плита падает на поверхность ледника. Далее процесс может повторяться.

Небольшие камни на поверхности ледника, наоборот, довольно сильно нагреваются солнцем, расплавляют под собой лед и опускаются в него на некоторую глубину. В результате в леднике образуются «ледяные стаканчики» с камнями на дне. Подобные явления наблюдаются и в Арктике. Так, через два года после снятия с льдины персонала и оборудования станции СП-2 была обнаружена та же льдина с остатками ранее существовавшего лагеря. Палатки научной станции находились теперь на довольно высоких ледяных столбах. Произошло это потому, что лед вокруг палаток свободно таял под действием лучей солнца, в то время как под палатками таяние было задержано: пол каждой из них был покрыт оленьими шкурами и брезентом.

Немалую роль в истории нашей страны сыграли ледяные переправы. Ещё во время войны со шведами по льду Финского и Ботнического заливов переправлялись русские войска. В гражданскую войну ледяная переправа действовала на Азовском море (между Керчью и Таманским полуостровом). В северных районах Советского Союза в прежние времена железнодорожное полотно нередко прокладывалось непосредственно по льду рек и озер (длительно существовавшая переправа через Байкал длиной в 45 км, переправа через Волгу у Саратова в 1928 году и через Северную Двину в Архангельске в 1943...1944 годах).

Во время Великой Отечественной войны по льду Ладожского озера к осажденному Ленинграду проходила автомобильная дорога протяженностью в 27 км известная в истории как «Дорога жизни». Чтобы ледяной покров под влиянием проходившего по нему потока автомашин не пришел в резонансные колебания и не разрушился, принимались специальные меры. Для этого груз автомашин подбирался таким образом, чтобы частота свободных колебаний ледяного покрова отличалась от частоты, с которой воздействовали на ледяной покров подходившие автомашины.

После создания в Арктике и Антарктике первых исследовательских станций посадка самолетов на лед стала обычным явлением (самолеты садятся на лед толщиной не менее 1,5...2 м). Наибольшая нагрузка на лед в этом случае; имеет место не при начальном соприкосновении самолета со льдом, а при полной его остановке. При низких температурах посадка на лёд более надежна, так как при этом больше и толщина льда, и прочность ледяного покрова. Морской лед менее прочен, чем пресноводный, зато более гибок и хорошо выдерживает посадку самолетов.

В 1942 году в Англии возникла идея создания авианосца из плавающего айсберга. Такой авианосец в принципе должен быть дешев. Ввиду того, что он представляет собой сплошную глыбу льда, ему не страшны торпеды и бомбы. Совместными усилиями Англии и Канады такой ледяной корабль водоизмещением 2 млн тонн был построен. Он имел форму параллелепипеда с толщиной стенок в 9 м и возвышался над водой на 15 м. В верхней части его располагалась взлетно-посадочная полоса размером 600x500 м². На корабле было смонтировано 16 холодильных установок, которые поддерживали температуру стен около – 15°С. Благодаря работе 20 тысячесильных моторов айсберг мог перемещаться со скоростью 7 узлов в час. Все надстройки на нем возводились из смеси льда с древесными опилками: материал этот в 4 раза прочнее льда, обладает ковкостью и оказывает примерно такое же сопротивление взрыву, как бетон.

Авианосец был выстроен к тому времени, когда Советская Армия уже разгромила гитлеровскую Германию.

В этот же период появилась и новая техника – самолеты, которые могли совершать рейсы с весьма удаленных аэродромов. Все это сделало использование ледяных плавучих авиабаз нерациональным. Первый в мире айсберг-авианосец так и не нашёл себе применения.

Многообразно применение льда в народном хозяйстве. Зимой на севере Сибири с помощью льда укрепляют полотно зимних автотранспортных магистралей («зимников»). В этих условиях приходится считаться со скольжением по льду. Причиной скользкости льда является не плавление его под давлением, как думали раньше (для такого плавления был бы необходим быстрый подвод тепла), а плавление под действием тепла, развивающегося при трении. При движении конька по льду или лыжи по снегу в результате трения движущегося тела о поверхность выделяется значительное количество тепла, которое идет на расплавление льда и образование смазки. Натирание лыж специальными мазями улучшает

скольжение, поскольку мази отталкивают воду (не смачиваются ею) и тем самым уменьшают сцепление воды и лыж. При сильном понижении температуры воздуха тепла, которое выделяется вследствие трения, будет недостаточно для хорошего скольжения коньков и лыж, хотя давление на них при этом остается неизменным. В процессе таяния морского льда сначала плавится соляная прослойка, а затем лед. Это обуславливает в общем более значительное трение при перемещении по морскому льду в сравнении со льдом пресноводным.

Строители Заполярья иногда используют в качестве строительного материала ледобетон. Так называют лед с включенной в него галькой. Ледобетон настолько прочен, что при работе с ним нередко ломаются даже стальные зубья экскаваторов. Другим вариантом ледобетона является лед с добавлением к нему древесной пульпы («ледопласт»). Материал этот выдерживает давление до 50 кг/см² и может быть использован в качестве заменителя цемента при постройке плотин на реках Заполярья.

Армирование льда волокнистым материалом повышает предел его текучести и увеличивает прочность. При использовании хлопковых и древесных волокон прочность увеличивается в 2...3 раза, стекловолокно дает увеличение прочности до 8 раз. Древесные опилки и размельченный торф, смоченные водой и нанесенные на поверхность льда, хорошо предохраняют от таяния складские помещения из льда и ледяные причалы. Промораживание водонасыщенных плавунных грунтов укрепляет стенки котлованов на стройках и избавляет от необходимости производить откачку воды, что приводит к удешевлению строительства.

Лёд представляет собой прочный, дешевый и весьма распространенный в природе материал. Можно полагать, что при дальнейшем освоении ресурсов Севера нашей страны материал этот найдет еще более широкое применение в строительстве.

Полюсы холода

Арктика и Антарктика – это не только своеобразные «фабрики льда», но и «кухни погоды», которые влияют на погоду всего земного шара. Когда приходят длительные антициклоны с незначительной облачностью или, что еще хуже, при полном ее отсутствии, в зимние полярные ночи здесь создаются наиболее благоприятные условия для выхолаживания почвы и приземного воздуха. Самая низкая температура воздуха у земной поверхности (–88,3°С) наблюдалась в августе 1960 года на советской научно-исследовательской станции «Восток», которая находится в Антарктиде. Географические координаты этой станции таковы: 78°28' южной широты, 106°48' восточной долготы, высота 3 488 м. Сейчас принято считать, что в этой точке земного шара находится полюс холода Южного полушария.

Основные причины такого большого понижения температуры на станции «Восток» – влияние антициклона над центральной частью Антарктиды, а также пониженная влажность воздуха, значительная высота местности над уровнем моря и длительная полярная ночь. Существенное значение для теплового режима Антарктиды имеет и постоянный снежный покров континента, отражающий большое количество поступающей к нему лучистой энергии солнца.

Высота места наблюдения над уровнем моря не является решающим условием сильного выхолаживания приземного воздуха. Поэтому на ряде высокогорных станций в низких широтах минимальные температуры могут быть значительно выше минимальных температур для станций равнинных, но высокоширотных. Так, на леднике Северцова в Кашкардарьинской области (высота 2 780 м) температура воздуха не опускается ниже –26°С, а на

станции Казбеги на Кавказе (высота 3 659 м) абсолютный минимум температуры составляет лишь -35°C .

Быстрота охлаждения воздуха в основном определяется условиями движения воздушных масс в атмосфере.

О быстроте падения температуры при резкой смене условий движения можно получить представление из следующих примеров. 23...24 января 1916 года на станции Броунинг (США, штат Монтана) за 24 часа температура упала на 56°C (с $7,1^{\circ}$ до -49°C), а 10 января 1911 года на станции Рапид-Сити (США, штат Южная Дакота) с 7 часов утра за 15 минут температура понизилась на 26°C (с $12,8^{\circ}$ до $-13,3^{\circ}\text{C}$).

В верхней части тропосферы*, в области умеренных широт, на высоте около 10 км, температура воздуха в среднем «составляет -60°C , но может опуститься и до -80°C , а над экватором, где верхняя граница тропосферы поднимается до 18 км, температура воздуха может понизиться до -90°C . Вблизи верхней границы мезосферы (мезосфера – слой атмосферы от 40 до 90 км) температура воздуха летом опускается до -100°C (интересно, что летом температура в мезосфере ниже, чем зимой); в июле она может упасть еще ниже, вплоть до -140°C .

* Тропосфера – нижняя часть земной атмосферы, которая простирается в полярных широтах до высоты 8...10 км, в умеренных широтах – до 10...12 км и в тропиках – до 16...18 км.

В нашей стране самые низкие температуры в приземном воздухе наблюдаются в Центральной Якутии, в верховьях Яны и Индигирки. До 1930 года полюсом холода Северного полушария считался Верхоянск, где еще в феврале 1892 года была зарегистрирована температура $-67,6^{\circ}\text{C}$. В 1930 году было установлено, что в районе поселка Оймякон и в среднем, и по абсолютной величине отмечаются более низкие температуры, чем в Верхоянске (в феврале 1933 года температура воздуха в Оймяконе понизилась до $-67,7^{\circ}\text{C}$, в это же время на поверхности снега термометр показывал $-69,6^{\circ}\text{C}$).

Начиная с октября месяца средняя месячная температура в Оймяконе опускается до -15°C , в ноябре она достигает -36°C и к середине января – началу февраля спадает до минимума. Оймякон расположен во впадине, окруженной горами высотой 0,6...2 км. В зимнее время здесь преобладает ясная и тихая погода. Горы способствуют стоку холодного воздуха в долину реки Индигирки, благодаря сухости воздуха происходит заметное испарение снежного покрова. Все вместе и способствует сильному выхолаживанию приземного воздуха в Оймяконе.

Кроме Оймякона и Верхоянска, в нашей стране имеется немало других станций с низкой минимальной температурой воздуха. Для выявления этих станций примем в качестве разделительного критерия температуру -50°C . Ниже -50°C температура может опускаться на ряде станций Якутии (Сюрен-Кюэль, Сеген-Кюэль, Западная, Томпо, Алдан, Томмот, Таскон, Оленек, Якутск, Средне-Колымск), имеются такие станции в Красноярском крае (Ачинск), в Томской (Брагино) и Магаданской (Сеймчан) областях.

После нашей страны наиболее низкие температуры отмечаются в Канаде. В феврале 1947 года на станции Снэг ($62^{\circ}22'$ северной широты, $140^{\circ}24'$ западной долготы, высота 578 м) была зарегистрирована температура $-62,8^{\circ}\text{C}$. Кроме станции Снэг, на северо-западе Канады имеется около 15 станций (в их числе Эврика, Даусон, Норман Уэлс, озеро Хейзен и др.), где температура может опускаться ниже -50°C .

В США наиболее сильно охлаждается воздух на территории Аляски. В январе 1971 года в горах Эндикот, на станции Проспект Крик Кэмп ($66^{\circ}48'$ северной широты, $150^{\circ}40'$ западной долготы, высота 330 м) температура понизилась до $-62,1^{\circ}\text{C}$. Среди 48 штатов США наиболее низкая температура $-56,6^{\circ}\text{C}$ была зарегистрирована в 1954 году на станции Роджерс Пасс в горах штата Монтана ($47^{\circ}05'$ северной широты, $112^{\circ}22'$ западной долготы, высота 1 662 м). Ниже -50°C температура опускается иногда на станциях Тэйлор Парк (Колорадо), Айлэнд Парк Дэм (Айдахо), Риверсайд (Монтана), Пэршел (Северная Дакота), Морэн (Вайоминг), на ряде станций в долинах Тананы и Юкона (Аляска).

В Швеции имеются лишь две станции, где температура может опускаться ниже -50°C . Это Вуоггачальме ($66^{\circ}34'$ северной широты, $16^{\circ}21'$ восточной долготы, высота 500 м), где в 1966 году была отмечена температура $-52,6^{\circ}\text{C}$, и Лаксбакен ($64^{\circ}38'$ северной широты, $16^{\circ}26'$ восточной долготы, высота 345 м), где в 1941 году наблюдалась температура $-53,3^{\circ}\text{C}$.

В Гренландии температура может опускаться ниже -50°C только на станции Норд ($81^{\circ}36'$ северной широты, $16^{\circ}40'$ западной долготы, высота 35 м). В Норвегии температура -50°C и ниже изредка наблюдается на станциях Рёрос ($62^{\circ}34'$ северной широты, $11^{\circ}23'$ восточной долготы, высота 629 м) и Карасиок ($69^{\circ}28'$ северной широты, $25^{\circ}31'$ восточной долготы, высота 129 м).

При сильном выхолаживании приземного воздуха в атмосфере могут возникать мощные, температурные инверсии со скачком температуры 20°C и более. Центральные районы Якутии занимают первое место в мире по количеству таких инверсий. Проходящие через атмосферу под большим наклоном звуковые лучи в слоях инверсии испытывают сильное преломление и возвращаются к земле, за счет фокусировки звуковых лучей температурной инверсией резко возрастает дальность слышимости звуковых сигналов. Р. Скотт в Антарктиде при штиле и температуре около -60°C слышал скрип снега под лыжами и удары ломов о лед с расстояния порядка 4...5 км. В Оймяконе лай собак, работа электропилы и широкоэвещательные радиопередачи средней громкости на открытом воздухе в середине зимы хорошо слышны из ближайшего совхоза, находящегося в 2,5 км от места наблюдения (слова в радиопередачах при этом разобрать нельзя).

В Канаде при самых низких температурах от движения человека в воздухе образуется и сохраняется в течение 3...4 минут кристаллический след протяженностью от 100 до 400 м. (Подобное явление, но с большей протяженностью и длительностью существования кристаллического следа, можно наблюдать в любой местности при полетах самолетов на больших высотах. Летчики такой след называют инверсионным). В течение нескольких дней в Канаде при наиболее холодной погоде на уровне верхушек деревьев в воздухе могут сохраняться следы тумана над местами стоянок собачьих упряжек. Испарение снега в этих условиях происходит со скоростью около 12...14 мм в день.

При температурах ниже -60°C оседающие на антеннах заряженные кристаллы льда создают интенсивные (статические) помехи для радиосвязи, подобные атмосферным при грозах.

Интересно, что за весь период наблюдений на полюсах холода отмечается медленное, но устойчивое повышение абсолютных минимумов температуры. По-видимому, это отражает господствующую в наше время тенденцию в изменении климата планеты.

Акустика снега и льда

В утренние часы в горах происходит подтаивание находящегося между камнями льда. Это приводит к уменьшению сцепления камней друг с другом, к возникновению шумных камнепадов, лавин и осыпей. В вечерние часы камнепады происходят из-за перемещений камней при замерзании воды. Так как камнепады приносят людям немало вреда, разработаны приборы, предупреждающие о возможном обрушении пород – они фиксируют звуки, возникающие в горной породе при растрескивании, предшествующем камнепаду.

Растрескивание ледяного покрова на крупных внутри-материковых водоемах и в северных морях сопровождается звуками, напоминающими сухие ружейные выстрелы. Чем толще лед, тем шире и глубже трещины и сильнее звуки растрескивания. В полярных странах они настолько часты, что привыкшие к ним животные не боятся и настоящих выстрелов. Интенсивность растрескивания льда зависит от глубины и скорости выхолаживания, от степени неоднородности структуры льда и покрывающего его снежного покрова. Особенно благоприятно для образования трещин отсутствие снежного покрова на льду. Чаще всего растрескивание наблюдается при первых больших морозах в начале зимы и при резких потеплениях в ее середине. Вот как описывает звуковые эффекты при растрескивании льда на Телецком озере на Алтае О.И. Алекин: «В морозную ночь все озеро наполнено непрерывным треском, напоминающим отдаленную ружейную стрельбу, временами в эти звуки врываются более сильные удары, напоминающие удары колокола – это образуются более крупные трещины. Подхватываемые эхом соседних гор, звуки приобретают характер подземного гула...»

Разломы льда в океане под влиянием сил сжатия (ветер, течения) или сейсмических возмущений сопровождаются глухим гулом, похожим на отдаленные подводные взрывы.

В зоне вечной мерзлоты при замерзании подпочвенных вод происходит вспучивание почвы, образуются бугры. Возникновение значительных масс подпочвенного льда сопровождается резкими звуками, напоминающими артиллерийский обстрел. Деревья могут при этом склоняться до земли, в воздух поднимаются столбы снежной пыли и ледяных осколков.

Верхоянская впадина в Сибири во время зимних ночей сильно выхолаживается, В сухом приземном слое воздуха при температуре – 65° покрывающий почву неглубокий снежный покров наполовину испаряется. Все это создает благоприятные условия для охлаждения почвы. С сильным треском она при этом разрывается на небольшие участки (полигоны).

В полярных странах нередко наблюдается явление, получившее название «толчки фирна». Оно состоит в том, что при резком оседании верхних разрыхленных слоев снега возникают сопровождаемые сильным гулом и треском мощные колебания снежного покрова, простирающиеся на 3...4 м в глубину и охватывающие площадь в несколько десятков километров. «Толчки фирна» могут быть вызваны движением по поверхности снега машин, человека или животного, а иногда и просто давлением ветра. Впервые это явление было отмечено немецким метеорологом А. Вегенером в Гренландии во время экспедиции в 1930 году.

Внимательные наблюдатели природы давно уже обратили внимание на изменение с понижением температуры воздуха скрипа снега при ходьбе: при низких температурах скрип всегда более звонок. Некоторые метеорологи первой четверти нашего века предлагали даже оценивать температуру по воспринимаемым на слух изменениям в характере скрипа снега.

Акустические измерения показали, что в спектре скрипа снега имеются два пологих и не резко выраженных максимума – в диапазоне 250...400 Гц и 1...1,6 кГц. В большинстве случаев низкочастотный максимум на несколько децибел превышает высокочастотный. При температуре воздуха выше – 6° высокочастотный максимум сглаживается и нередко полностью ликвидируется. С понижением температуры от – 8° до – 20° сила звука скрипа снега увеличивается на 1 дБ.

При ломке ледяных сосулек диаметром 1,5...4 см были отмечены два максимума акустической энергии – в диапазоне 125...200 Гц и 1,25...2 кГц. Максимумы эти достаточно резко выражены и четко отделены друг от друга. Такая же картина распределения акустической энергии по спектру наблюдается и при взламывании речного льда толщиной 0,5 м с помощью ледокола. Таким образом, высокочастотные максимумы акустической энергии для скрипа снега, ломки сосулек и речного льда приходятся на один и тот же диапазон частот, низкочастотные же смещены по спектру. Это указывает на различие в жесткости структуры снега и льда.

Известно, что мягкие материалы при ударе или изломе дают глухой звук, в котором высокие частоты ослаблены или совсем не представлены. Понижение температуры окружающей среды ведет к увеличению твердости материалов, к усилению взаимодействия между частицами вещества. Поэтому при ударе или изломе тел, находящихся в условиях пониженной температуры, спектр возникающих акустических колебаний распространяется в область высоких частот.

Благодаря наличию множества воздушных промежутков между кристаллами льда, снежный покров имеет невысокую плотность, и его с полным основанием можно отнести к категории мягких материалов. При понижении температуры кристаллы становятся более упругими, а снежный покров в целом – более хрупким. Это и обеспечивает расширение акустического спектра скрипа снега в область высоких частот. Поскольку скрип снега является результатом массового слома кристаллов льда, можно полагать, что перераспределение энергии скрипа с температурой указывает на изменения в характере взаимодействия элементов структуры снежного покрова.

В тихую морозную погоду при температуре воздуха ниже – 49° в холодных странах (особенно в Якутии) наблюдатели нередко отмечают шуршащий звук, напоминающий звук пересыпаемого зерна. На первых порах этот звук приписывали полярному сиянию, которое часто наблюдалось при этом явлении. Однако впоследствии было установлено, что причина явления – в столкновении кристаллов льда, которые образуются в большом количестве при дыхании человека в морозном воздухе. У якутов это явление известно под именем «шёпота звезд». Яркое описание его дано Н.С. Лесковым в рассказе «На краю света».

Акустические волноводы

Скорость звуковых лучей, проходящих через слои воздуха, зависит от его температуры, влажности, силы и направления ветра. В этих слоях звуковые лучи испытывают преломление. Если скорость звука с высотой возрастает, то траектория идущего под углом к горизонту звукового луча будет обращена выпуклостью к высоким слоям атмосферы, в противоположном случае она обращена выпуклостью к земле. Наибольшее искривление траектории звукового луча происходит за счет того, что скорость ветра с высотой изменяется. Менее сильное влияние на искривление траектории звукового луча оказывают изменения температуры.

Значительно меньшее действие на звуковой луч оказывает влажность воздуха. Расчет показывает, что при 20°C в воздухе с влажностью 50% скорость звука лишь на 0,5 м/сек больше скорости звука в сухом воздухе той же температуры. При прочих равных условиях звуковые лучи в воздухе преломляются в 2 тыс. раз сильнее, чем световые лучи.

При поднятии источника звука над земной поверхностью район его слышимости расширяется. Поэтому для обеспечения большей дальности слышимости источники звуковых сигналов обычно размещают на возвышенных местах. Преломляясь в теплом приземном слое воздуха, звуковые лучи отклоняются вверх. В этом случае они уже не будут доходить до наблюдателя на земной поверхности, находящегося дальше места их отклонения. Так образуется звуковая тень.

Например, если источник звука расположен на высоте 10 м, то при падении температуры на 0,5°C на каждые 100 м высоты звуковая тень будет начинаться на расстоянии 1,5 км от источника. Статистика наблюдений показывает, что звуковая тень в 3 раза чаще образуется днем, чем ночью, и летом встречается в большем числе случаев, чем в остальные времена года.

Условием для образования звуковой тени является наличие у земной поверхности достаточно теплого воздуха. При охлаждении приземного слоя воздуха звуковая тень может и не образоваться. В особенно жаркие дни граница звуковой тени подходит к источнику звука совсем близко.

При подъеме в атмосфере можно встретить слои воздуха, в которых температура уменьшается до минимума, а потом снова начинает возрастать. Звуковые лучи, пересекающие такой слой под углом к нему, попадают опять в более теплый воздух и в результате преломления поворачивают к земле. После прохождения слоя с минимальной температурой они снова попадают в более теплый воздух, но уже ниже этого слоя, и после преломления отсюда направляются вверх. Так звуковые лучи могут идти вблизи слоя с минимальной температурой, то поднимаясь вверх, то опускаясь вниз, пока их энергия не иссякнет.

Пространство, в котором распространяются звуковые волны вблизи слоя с минимальной температурой, получило название акустического волноводного канала. Значительная дальность распространения звука в этом случае обеспечивается за счет концентрации звуковой энергии вблизи слоя с минимальной температурой воздуха и благодаря отсутствию на пути звуковых лучей отражающих поверхностей.

Ось главного волновода в атмосфере расположена на высоте 15...20 км, вертикальная же его протяженность составляет несколько километров. Ось второго волновода расположена на высоте 75...80 км. Различные комбинации вертикального изменения температуры и скорости ветра могут быть причиной образования в атмосфере дополнительных волноводов. Их влияние усложняет картину хода звуковых лучей в атмосфере.

В земной коре, в морях и океанах также существуют акустические волноводы. В земной коре волновод расположен на глубине 100...200 км, в тропических океанах – на глубине 1...1,5 км. В некоторых случаях в морях и океанах образуется несколько волноводов. Особенно этому содействуют глубинные течения.

Концентрация звуковой энергии по обе стороны от оси океанского волновода (вблизи уровня с минимальной температурой) обычно неодинакова – она больше там, где более резко изменяется с высотой температура. Относительное изменение скорости звука в таких волноводах не превышает 15%. Глубина расположения оси волновода зависит от вре-

мени года и географических координат. В общем же при переходе от низких к высоким широтам она уменьшается. В северных широтах ось волновода может даже выходить на поверхность воды – в этом случае образуется волновод поверхностный.

В пределе по волноводному каналу в океане звук мощного взрыва может быть передан на расстояние до 22 тыс. км, т.е. к противоположной точке земного шара. При этом звуковые лучи могут отклоняться от прямолинейного распространения по вертикали на угол до 5°.

В будущем волноводные каналы в морях и океанах могут быть использованы для передачи сигналов об авариях и для установления местонахождения аварий.

«Высоты грозного шума»

Водопад Виктория на реке Замбези называется у местного населения «мози-оа-тунья», или «дым, который шумит». Название «Ниагара» на языке североамериканских индейцев означает «высоты грозного шума». Оба эти названия говорят о том, что при виде водопада человека поражает не только зрелище падения огромной массы воды, но и соответствующий ему звуковой эффект.

При наличии в приземном слое атмосферы высокой влажности и мощной температурной инверсии создаются благоприятные условия для сильного преломления и концентрации звуковых лучей вдоль речной долины, как акустического волновода. В этом случае возможны явления типа акустического миража, и дальность слышимости шума водопада резко возрастает. Статистика наблюдений показывает, что ночью шум водопадов слышен в среднем в 3...4 раза дальше, чем днем. Шум водопада Виктория во время половодья (март – июнь) ночью и при отсутствии маскирующих шумов отчетливо слышен в аэропорту, расположенном в одиннадцати километрах от водосброса.

Огромная масса воды Ниагары низвергается с высоты в 50 м и развивает при этом мощность примерно в 4 млн лошадиных сил. На возбуждение акустических колебаний затрачивается менее 1% этой мощности. Шум Ниагары днем обычно слышен на расстоянии 1,6...2 км, ночью же дальность его слышимости может достигать 6...7 км. На расстоянии 57 м от места дробления воды шум Ниагары составляет 87 дБ, у самого же места дробления он настолько оглушителен, что люди буквально не слышат друг друга.

Как показали измерения, у небольшого ручья с расходом воды порядка 0,5...2 л/сек энергия шума распределяется на частоты от 40 Гц до 8 кГц с максимумом в диапазоне 1,6...2 кГц. У водопада с расходом воды 30...40 м³/сек звуковая энергия приходится на тот же диапазон частот, что и для ручья, но максимум смещается к 1 кГц и становится менее острым. У Ниагары при расходе воды в течение суток от 1 500 до 3 000 м³/сек максимум звуковой энергии приходится на диапазон 37...75 Гц. При уменьшении расхода воды происходит небольшое увеличение звуковой энергии Ниагары в диапазоне частот 600 Гц – 4,8 кГц. Общая величина энергии высоких частот (2,4...4,8 кГц) в шуме этого водопада заметно ниже по уровню в сравнении с низкими частотами (75...150 Гц).

Шум водопадов всегда возникает при вспенивании дробящейся воды, когда в ней образуются и захлопываются пузырьки различных размеров (кавитация). Самая сильная компонента в звуке захлопывающихся пузырьков соответствует частоте их резонанса. Поскольку при дроблении воды могут возникать кавитации различных размеров, акустический спектр дробления охватывает сравнительно широкий диапазон частот. Максимум в этом спектре соответствует наиболее часто встречающимся размерам кавитаций. При диаметре большинства пузырьков в 0,33 см резонансная частота их колебаний равна 2 кГц. Это со-

ответствует максимуму в акустическом спектре ручья. У небольшого водопада при диаметре кавитаций в 0,66 см максимум в акустическом спектре приходится на частоту в 1 кГц. Для максимума в спектре Ниагары диаметр пузырьков должен быть равен 12 см.

У некоторых водопадов за счет отражения звука от высоких прибрежных скал создаются благоприятные условия для резонанса воздушной среды между скалами, В результате шум водопада приобретает индивидуальную окраску.

Шумит не только падающая вода, но и набегающие на берег волны, например, морской прибой. Уже при небольшом ветре возникает волнение моря, и волны чередой накатываются на берег. В зоне прибоя волны отдают энергию, накопленную при движении в морях и океанах. Волны прибоя создают при ударе о берег давление от 3 000 до 30 000 кг/м² и во время сильных бурь могут перемещать глыбы весом до 100 тонн. Возникающие при мощном дроблении водных масс крупные капли поднимаются в высоту до 60 м. Удары волн обрушиваются на берег довольно регулярно со средним периодом 4,8 секунды (при слабом и сильном волнении) и являются причиной возбуждения в атмосфере мощных инфразвуковых колебаний.

Инфразвуки большой энергии с частотой 0,1...0,3 Гц возникают за счет колебания (поднятия и опускания) свободной поверхности воды при волнении. Это происходит на всей затронутой волнением поверхности морей и океанов.

Наряду с инфразвуками, в зоне прибоя порождаются и колебания звукового диапазона за счет дробления воды с образованием кавитаций и перемещения прибрежной гальки. Во время слабого и среднего волнения сила звука прибоя в месте его возникновения составляет 77...82 дБ. При сильном волнении звуки прибоя у скалистых берегов могут усиливаться расположенными в скалах пещерами и выемками. В этом случае получается особенно громкий гул и грохот. В сторону моря зона слышимости прибоя простирается обычно на 300...800 м, в сторону суши, в зависимости от рельефа местности, – на 100...800 м. Спектр шума прибоя подобен спектру шума небольшого водопада.

Электричество водопадов

Впервые электризация жидкости при дроблении была замечена у водопадов Швейцарии в 1786 году. С 1913 года явление получило название баллоэлектрического эффекта. Эффект электризации наблюдается не только у водопадов на открытой местности, но и в пещерах. Заряд воздуха у водопадов сообщают микроскопические капельки воды и молекулярные комплексы, которые при дроблении отрываются от водной поверхности и уносятся в окружающую среду. Наиболее значительный эффект электризации воздуха наблюдается у самых больших водопадов мира – у водопада Игуассу на границе Бразилии и Аргентины (высота падения воды 190 м, ширина потока 1 500 м) и у водопада Виктория на реке Замбези в Африке (высота падения воды 133 м, ширина потока 1 600 м). У водопада Виктория за счет дробления воды возникает электрическое поле напряженностью до 25 кв/м. С удалением от водосброса это поле уменьшается и на расстоянии около 1,6 км по горизонтали и 0,5 км по вертикали электрическое поле водопада переходит в нормальное электрическое поле земной поверхности. При дроблении пресной воды в воздух переходит отрицательный заряд. Поэтому в воздухе у водопадов количество отрицательных ионов превышает количество положительных. У небольшого водопада Учан-Су в Крыму отношение отрицательных ионов к количеству положительных равно 6,2, а у водопада Ак-Су в Средней Азии оно составляет около 4.

У берегов морей воздух вместо отрицательного заряда приобретает положительный вследствие того, что здесь происходит разбрызгивание не чистой, а соленой воды. На поверхности морей и океанов разбрызгивание воды начинается при скорости ветра более 10 м/сек, когда на волнах появляются гребешки пены. Отношение положительных зарядов к отрицательным в воздухе над морем при бурном море достигает 2,04, при зыби оно близко к 1,48.

Наибольшая электризация воздуха наблюдается при разбрызгивании чистой воды. С увеличением концентрации примесей электризация уменьшается и далее меняет знак (в естественных условиях, например, у берегов морей и над морской поверхностью). Уменьшение выхода электричества вплоть до обращения знака эффекта при добавлении к воде кислот происходит при меньшей концентрации примеси, чем при добавлении солей. С увеличением вязкости жидкости ее электризация при дроблении уменьшается. Подвижность выходящих при баллоэлектрическом эффекте в воздух заряженных капелек и молекулярных комплексов может изменяться от 4 до 0,05 см/сек/вольт/см при радиусе этих образований в пределах $3 \cdot 10^{-8} \dots 4 \cdot 10^{-7}$.

Выход электричества различен при разбрызгивании капель разной величины. Для капли диаметром 4,4 мм при скорости падения 6,8 м/сек высвобождается заряд $0,89 \cdot 10^{-12}$ кулон/см³, в то время как для капли диаметром 0,4 мм при скорости падения 4 м/сек отдача заряда составляет 10^{-12} кулон/см³. При наибольшей интенсивности разбрызгивания наблюдается выход заряда порядка 10^{-10} кулонов на каплю.

Баллоэлектрический эффект наблюдается только у дипольных жидкостей*. Основной причиной эффекта является наличие на поверхности жидкости слоя ориентированных диполей, которые создают двойной электрический слой внутри жидкости. Электрическое поле диполей простирается на некоторую глубину внутрь жидкости и концентрирует вблизи ее границ свободные заряды. У недипольных жидкостей электрическое поле поверхностного двойного электрического слоя внутрь жидкости не проникает.

* Дипольными называются жидкости, у которых центры положительного и отрицательного зарядов в молекулах не совпадают между собой. Подавляющее число жидкостей в природе является дипольными. Вообще же электрический диполь представляет собой совокупность двух равных по величине и противоположных по знаку электрических зарядов (или центров концентрации объемного заряда), находящихся на некотором расстоянии друг от друга и связанных между собой силами притяжения.

Так как при разбрызгивании жидкостей образуются пузыри, в тонкой пленке которых заряд поверхности жидкости уже не будет скомпенсирован зарядом внутренних слоев, в воздух вместе с мельчайшими частицами жидкости уходит и избыточный заряд тонкой пленки пузырей. При адсорбции* поверхностью жидкости свободных зарядов из ее внутренних слоев происходит уменьшение эффективной величины электрического поля внутреннего двойного электрического слоя, и затем изменение его знака. Этим объясняется изменение знака электризации при дроблении дипольных жидкостей с добавлением к ним примесей.

* Адсорбция – осаждение веществ из газа или раствора на поверхности твердого тела или жидкости.

Электричество в организме растений

Жизнь растений связана с влагой. Поэтому электрические процессы в них наиболее полно проявляются при нормальном режиме увлажнения и затухают при увядании. Это связано с обменом зарядами между жидкостью и стенками капиллярных сосудов при протекании питательных растворов по капиллярам растений, а также с процессами обмена ионами между клетками и окружающей средой. Важнейшие для жизнедеятельности электрические поля возбуждаются в клетках. В состоянии равновесия мембраны растительных клеток непроницаемы для ионов кальция и проницаемы для ионов калия.

Выход ионов через клеточную мембрану сообщает клетке отрицательный заряд; По достижении равновесия в распределении ионов калия мембранный потенциал приобретает предельное значение потенциала покоя. При раздражении растения изменяется проницаемость клеточных мембран для ионов кальция. Ионы кальция поступают в клетку и уменьшают ее отрицательный заряд. За счет нарушения равновесия в распределении зарядов возникает пик мембранного потенциала, который в виде электрического импульса распространяется вдоль поверхности клеток. Последующий выход из клеток ионов калия возвращает мембранный потенциал к равновесию. Скорость распространения импульсов раздражения по клеткам растений составляет несколько сантиметров в секунду (по нервам животных раздражение распространяется в сотни раз быстрее). Малая скорость распространения раздражений по организму растений связана с их общей неподвижностью.

Особенно активно электрические процессы протекают в клетках корней, поскольку именно через эти клетки поступают питательные соки к растущим побегам. Конечные разветвления корней и верхушек побегов растений всегда заряжены отрицательно относительно стебля. У некоторых растений вблизи корчей в течение нескольких часов происходят колебания электрического потенциала с периодом около 5 минут и амплитудой в несколько милливольт. Наиболее значительные колебания отмечаются у самого кончика корня. Об интенсивности электрических процессов в корневых клетках можно судить по величине протекающего через них тока. Исследованиями установлено, что через каждый 1мм^2 поверхности корня протекает ток около $0,01$ микроампера.

Поврежденное место в тканях растений всегда заряжается отрицательно относительно неповрежденных участков, а отмирающие участки растений приобретают отрицательный заряд по отношению к участкам, растущим в нормальных условиях.

Одностороннее освещение листа возбуждает электрическую разность потенциалов между освещенными и неосвещенными его участками и черешком, стеблем или корнем. Эта разность потенциалов выражает реакцию растения на изменения в его организме, связанные с началом или прекращением процесса фотосинтеза.

В практике распыления ядохимикатов в сельском хозяйстве выяснено, что на свеклу и яблоню в большей мере осаждаются химикаты с положительным зарядом, на сирень – с отрицательным. Несомая ветром цветочная пыльца имеет отрицательный заряд, приближающийся по величине к заряду пылинок при пылевых бурях, Вблизи теряющих пыльцу растений резко изменяется соотношение между положительными и отрицательными легкими ионами, что благоприятно сказывается на дальнейшем развитии растений.

Заряженные семена культурных растений имеют сравнительно высокую электропроводность и поэтому быстро теряют заряд. Семена сорняков ближе по своим свойствам к диэлектрикам и могут сохранять заряд более длительное время. Это используется для отделения на конвейере семян культурных растений от сорняков.

Прорастание семян в сильном электрическом поле (например, вблизи коронирующего электрода) приводит к изменениям высоты и толщины стебля и густоты кроны развивающихся растений. Происходит это в основном благодаря перераспределению в организме растения под влиянием внешнего электрического поля объемного заряда. Если в результате исследований удастся найти сумму наиболее благоприятных для развития растений характеристик действующего извне электрического поля, выращивание растений в парниках в ещё большей мере будет подчинено воле человека.

Значительные разности потенциалов в организме растений возбуждаться не могут, поскольку растения не имеют специализированного электрического органа. Поэтому среди растений не существует «древа смерти», которое могло бы убивать живые существа своей электрической мощностью.

Электризация снега в метелях

Великий русский ученый М.В. Ломоносов первым оценил особые электрические свойства льда. В результате опытов по электризации льда он установил, что из него «выскакивает огонь с треском, буде он (лёд) не имеет в себе воздушных пузырьков и по бокам не мокр. Им можно зажечь нефть». Способность льда при натирании наэлектризовываться некоторые ученые XVIII века пытались использовать (не совсем удачно) для изготовления электростатических машин трения. Известный русский физик В.В. Петров первый ставил опыты по изучению электропроводности льда.

При продувании надо льдом воздуха, очищенного от пыли и других взвешенных примесей, лед не электризуется. Если же направить на плоскую поверхность льда капельно-паровой поток, то в результате столкновения капелек воды со льдом происходит обмен зарядом и возникает положительная электризация льда и отрицательная воды. Однако, если лед покрывается пленкой воды, электризация прекращается.

При продувании надо льдом воздуха, содержащего капельки тумана нашатырного спирта, каждый литр воздуха приобретает заряд около $2 \cdot 10^{-11}$ кулона. В особо плотных аммиачных туманах этот заряд может увеличиться вдвое. Лед в этих условиях получает такой же по величине заряд, но противоположный по знаку. Положительная электризация льда наблюдается и при продувании надо льдом печной сажи.

Продавливание воды через специально устроенные в образцах льда капилляры приводит к положительной электризации у льда и отрицательной у воды. Как правило, при трении о другие тела (стекло, сталь, медь) лед приобретает положительный заряд, а эти тела – отрицательный. Но бывают и исключения. Так, при продувании сухого снега через сильно окисленную железную решетку, у которой выход электронов за ее пределы, благодаря окислению поверхности облегчен, снег заряжается отрицательно.

При плавлении льда заряд находящегося над ним воздуха возрастает за счет выделения электрических зарядов из пузырьков воздуха, захваченного льдом ранее (при замерзании). Присутствие во льду примесей щелочей уменьшает и при достаточных концентрациях полностью ликвидирует дополнительную электризацию воздуха при плавлении льда.

Во время низовых метелей крупные кристаллы льда заряжаются отрицательно, а более мелкая Снежная пыль – положительно. Свежевыпавший снег во всех случаях обнаруживает более значительную электризацию, чем уже слежавшийся. При взвихривании снежной пыли в воздухе может возникать объемный заряд до $1-8$ Кл/м³. Особенно сильные электрические поля (до 100 В/см) наблюдаются во время снежных метелей в полярных и

высокогорных областях, где за счет электризации антенн сухим снегом весьма усиливаются помехи радиосвязи. Сталкиваясь с проводами линий телефонной или телеграфной связи, снежинки из метельных потоков передают им свой заряд. При хорошей изоляции от земли, заряд может накопиться такой большой, что в прилегающем воздухе возникнет коронный разряд.

Покоритель Джомолунгмы Н. Тенсинг в 1953 году в районе Южного Седла этой горной вершины на высоте 7,9 км над уровнем моря при температуре – 30°C и сухом ветре до 25 м/сек наблюдал сильную электризацию обледеневших брезентовых палаток, вставленных одна в другую. Пространство между палатками было наполнено при этом многочисленными электрическими искрами.

Любопытно отметить, что в сильных электрических полях кристаллы льда растут в виде тонких нитей, вытягивающихся вдоль поля. Наиболее сильные поля разрывают эти нити на множество мелких ледяных осколков.

Движение лавин в горах в безлунные ночи иногда сопровождается зеленовато-желтым свечением, благодаря чему лавины становятся видимыми. Обычно световые явления наблюдаются у лавин, которые движутся по снежной поверхности, и не наблюдаются у лавин, проносящихся по скалам. По-видимому, причиной свечения лавин является коронный электрический разряд наэлектризованных масс снега. На озерах Антарктики во время полярной ночи иногда возникает свечение при разламывании крупных масс озерного льда. Свечение это – результат электрического разряда, возникающего при разрушении льда.

Известную ясность в вопрос сильной электризации ледяных кристаллов во время метелей может внести рассмотрение фотоэффекта с поверхности льда. «Лабораторные исследования, показали, что фотоэлектрическая чувствительность льда значительно выше, чем у воды, и составляет около 70% фотоэлектрической чувствительности окиси меди, а для длины волны около 0,7 микрона перекрывает ее. Согласно другим данным, фотоэлектрическая чувствительность льда составляет 0,1...0,05 фотоэлектрической чувствительности цинка. Все это говорит о том, что лед имеет сравнительно высокую фотоэлектрическую чувствительность и легко может отдавать свои электроны при контакте с другими телами с меньшей чувствительностью к фотоэффекту.

Заряджение, кристаллов льда во время снежных метелей можно, объяснить за счет обмена зарядом при контакте между собой плоской грани одного кристалла льда с острым выступом другого. Допустим, что выступ на плоской грани кристалла имеет форму цилиндра. Тогда электрическое поле, создаваемое периферическими электронами поверхности твердого тела в верхней части выступа будет в 2 раза больше, чем над плоской поверхностью. Если над первым выступом – цилиндром расположить второй с вдвое меньшим радиусом, над вторым – третий и т.д. вплоть до последнего выступа атомных размеров, то у конца последнего выступа электрическое поле окажется примерно в 10 раз большим, чем над плоской поверхностью.

Таким образом, при контакте выступа одного кристалла льда с плоской поверхностью другого поверхностным электрическим полем электроны будут перегоняться с выступа на плоскость. Так как у мелких кристаллов относительное количество выступов больше, чем у крупных, то при контакте первые будут заряжаться положительно, а вторые отрицательно.

В поле силы тяжести затем происходит разделение зарядов. Более тяжелые кристаллы с отрицательным зарядом опускаются вниз, а более легкая снежная пыль с положительным

зарядом остается взвешенной в воздухе. Таким образом, во время снежных метелей у земной поверхности могут возникать сильные электрические поля, а вблизи зарядившихся от снега наземных объектов – коронные и даже искровые электрические разряды.

Грозы планеты

Грозой называется процесс развития в атмосфере мощных электрических разрядов (молний), обычно сопровождаемых громом и связанных в большинстве случаев с укрупнением облаков и с ливнеобразным выпадением осадков. Прохождение грозы над местностью, как правило, сопровождается довольно значительными изменениями метеорологических параметров приземного слоя воздуха (падение температуры и повышение влажности воздуха, резкое изменение атмосферного давления, силы и направления ветра).

На ранних этапах человеческой истории такие явления, как гроза, приписывались действию богов. У восточных славян богом грома и молнии был Перун. По воззрениям древних славян Перун приносил весной тепло и дождь и был олицетворением оплодотворяющего и карающего божества. После крещения Руси роль бога грома и молнии перешла к пророку Илье. Боги грома и молнии известны в религиозных представлениях и других народов. Например, у многих первобытных племен существовало представление о грозе как об огромной птице, создававшей гром хлопаньем крыльев и молнии сверканием глаз.

Развитие науки привело к первым представлениям о сущности грозы. Греческие ученые Анаксимен и Анаксагор рассматривали явление грозы как результат сгущения воздуха в облаках. Сократ видел основную причину возникновения гроз в столкновении облаков, Демокрит – в их соединении. Эти представления были обобщены и развиты далее Аристотелем, считавшим, что молния и гром образуются благодаря воспламенению в облаках разнообразных горючих испарений и завихриванию их между облаками. В эпоху средневековья представления о сущности грозового процесса не получили существенного развития.

Попытки ученых объяснить грозу как процесс электрического разряда относятся к началу XVIII века. Первую теорию грозы, в основных чертах соответствующую природе явления, дал на основании ряда экспериментальных исследований М.В. Ломоносов. Согласно его представлениям, электризация облаков происходит за счет «трения мерзлых паров о воздух», при этом под «мерзлыми парами» Ломоносов имел в виду лед, а «воздух» понимался им как смесь воздуха, водяного пара и мельчайших водяных капелек. Ломоносов особо подчеркивал, что разделение электрических зарядов и образование сильного электрического поля происходит только при интенсивных вертикальных восходящих и нисходящих течениях.

В настоящее время не решен окончательно вопрос, за счет чего получают заряд капельки воды и кристаллики льда в грозовых облаках. Одна группа ученых считает, что капельки и кристаллы льда захватывают заряд из воздуха, другая – что они заряжаются за счет обмена зарядом при контакте между собой. В результате экспериментальных исследований установлено, что от нижней кромки грозового облака и до слоя с температурой 0°C простирается водная часть облака. В области с температурой от 0°C до – 15°C сосуществуют вода и лед, и при температуре ниже – 15°C облако обычно состоит только из ледяных кристаллов.

Капельная часть облака в основном имеет отрицательный заряд, ледяная – положительный. В средних широтах центр отрицательного заряда грозового облака располагается на высоте около 3 км, а центр положительного – примерно на высоте 6 км. Напряженность

электрического поля внутри грозового облака составляет 100...300 вольт/см, но перед разрядом молнии в отдельных небольших объемах она может достигать до 1 600 вольт/см.

Грозовой процесс невозможен без разделения зарядов в облаке путем конвекции. Поле конвекции в облаках распадается на несколько ячеек (в некоторых грозах до 8). Каждая конвективная ячейка проходит стадию зарождения, зрелости и затухания. В стадии зарождения во всей конвективной ячейке преобладают восходящие течения. В отдельных случаях скорость восходящих потоков достигает 30 м/сек, в среднем же она составляет 10...12 м/сек.

Зрелая конвективная ячейка характеризуется развитием восходящих и нисходящих потоков, электрической активностью (разрядами молний) и выпадением осадков. Такая ячейка имеет горизонтальный диаметр 2...8 км и простирается в высоту до уровня с температурой – 40°C. В стадии затухания во всей конвективной ячейке преобладают слабые нисходящие течения с уменьшением электрической активности и количества выпадающих в единицу времени осадков. Полный цикл жизни конвективной ячейки составляет около часа, длительность стадии зрелости равна 15...30 минутам, стадии затухания – около 30 минут. Гроза, продолжающаяся несколько часов, является результатом деятельности нескольких конвективных ячеек.

Молния представляет собой многократный разряд. Иногда она может состоять из 20 отдельных разрядов, чаще же из 5...6. Паузы между отдельными разрядами составляют от $2 \cdot 10^{-3}$ до 0,5 сек. Средняя длительность полного разряда молнии измеряется десятками долями секунды, отклонения от среднего значения в обе стороны возможны на порядок величины. Длительность отдельных разрядов составляет 100...200 микросекунд, иногда доходит до 1 000 микросекунд. Наиболее интенсивным и ветвящимся является первый разряд молнии. Средний заряд грозового облака составляет 30...50 кулонов, однако в одном из случаев отмечался заряд в 164 кулона, который переносился к земле в виде непрерывного и значительной силы тока. В каждом разряде молнии переносится от 1 до 10 кулонов электричества. Диаметр канала молнии составляет 10...45 см. Максимальный ток в канале может достигать величины в 340 000 ампер, однако в большинстве случаев наблюдаются токи, в сотни раз меньшие.

Большинство молний приносит к Земле отрицательный заряд, но иногда встречаются разряды и противоположной полярности. В первом случае грозы значительно богаче молниями, чем во втором. Отношение количества молний отрицательной полярности к молниям положительной полярности для зон умеренного климата составляет примерно 4: 1, для тропиков – 17:1. Отношение отрицательных разрядов к положительным для молний, поражающих высокие здания, больше, чем для разрядов в равнинной местности.

В зонах умеренного климата разряды молний направляются по преимуществу к Земле, в тропиках же большинство разрядов происходит между облаками или внутри облака. Средняя длина молнии 2...3 км, но изредка между облаками могут проскакивать молнии длиной несколько более 20 км. Разность потенциалов между грозовым облаком и Землей в верхнем пределе достигает 1 миллиарда вольт.

Площадь земной поверхности, на которой проявляются связанные с отдельной грозой электрические явления, простирается от 4 до 80 км². Благодаря проводимости воздуха к земной поверхности на этой площади от облака поступает ток около 0,5 ампера, иногда до 2 ампер.

При прохождении гроз из острий растительного покрова, через острые выступы скал и остроконечные детали сооружений на земной поверхности в воздух стекает преимущественно положительный заряд. Потеря земной поверхностью положительного заряда превышает потерю отрицательного: для Англии в 1,36...2 раза, для Южной Африки – в 2,8 раза. В высокогорных условиях вследствие разреженности воздуха разряд с острий значительно интенсивнее, чем в равнинной местности. Через изолированно стоящее на равнинной местности дерево во время грозы проходит ток порядка 0,1...0,07 микроампера, а через антенну длиной 900 м. со средней высотой над земной поверхностью 30...40 м и с диаметром проводов 7 мм в горной местности может проходить ток около 500...800 микроампер. Наибольший разрядный ток у земной поверхности был зарегистрирован с металлического острия длиной 15 мм и диаметром 0,5 мм, помещенного на семнадцатиметровую мачту: при градиенте потенциала у земли в 12,5 кВ/м разрядный ток составлял 9,6 микроампера.

При сильных грозах почти всегда выпадает град, однако он никогда не выпадает на всем пространстве, где наблюдается грозовая деятельность. Град возникает благодаря замерзанию облачных капель. Среди процессов, которые влияют на рост градин, важнейшим является слияние замерзших облачных капель с переохлажденными жидкими. Вес наиболее крупных градин может достигать 10 кг, диаметр – 30 см. Однако градины диаметром более 1 см встречаются редко. Выпадение града обычно длится 2...4 минуты, в горных же условиях иногда наблюдается выпадение града в течение 50 минут. Чаще всего град выпадает в центре грозы. По СССР увеличение годового числа дней с градом наблюдается в районе возвышенностей (вплоть до высот 2...2,5 км). Над крупными водоемами вероятность выпадения града уменьшается за счет ослабления здесь конвекции.

Учитывая, что на Земле каждую секунду наблюдается в среднем около 100 разрядов линейной молнии, можно подсчитать среднюю мощность, которая затрачивается в масштабе всей Земли на образование гроз; она равняется 10^{18} эрг/сек. В связи с этим следует отметить, что энергия конденсации, выделяющаяся в грозном облаке средних размеров с площадью основания около 30 км² при дожде средней интенсивности, составляет около 10^{21} эрг. Таким образом, энергия, выделяющаяся при выпадении осадков из грозного облака, значительно превышает его электрическую энергию.

Наряду с наиболее распространенной линейной молнией иногда встречаются ракетобразная, четочная и шаровая молнии. Ракетообразная молния наблюдается очень редко. Она длится 1...1,5 сек и представляет собой медленно развивающийся между облаками разряд. К весьма редким видам молнии следует отнести и четочную. Она имеет общую длительность 0,5 сек и представляется глазу на фоне облаков в виде светящихся четок диаметром около 7 см. Весьма своеобразным видом молнии является и шаровая молния. В большинстве случаев шаровая молния представляет собой сферическое (реже грушевидное) образование диаметром у земной поверхности 10...20 см, а на высоте облаков до 10 м. Возникает шаровая молния не обязательно вблизи канала линейной молнии, но при всех обстоятельствах появление шаровой молнии связано с прохождением грозы над местностью.

Существует две разновидности шаровых молний – подвижные и неподвижные. Подвижные шаровые молнии плавают в воздухе со скоростью около 2 м/сек, иногда со скоростью воздушных течений, неподвижные же «закрепляются» на остриях молниеотводов, на острых краях металлических крыш, в верхней части заводских труб. Подвижные молнии светятся красноватым светом, в то время как неподвижные испускают ослепительно белый свет. Подвижные молнии могут оседать и становиться неподвижными, а неподвижные, наоборот, срывать с мест закрепления и становиться подвижными. Большая шаровая

молния может иногда распасться на несколько светящихся шаров меньшего размера. О температуре шаровой молнии можно судить по расплавлению и испарению металлов, на которые она «садится», или по сильному нагреванию воды, если молния опускается в водоем. Длительность существования шаровой молнии изменяется в пределах от нескольких секунд до полминуты. Шаровая молния сопровождается свистом, завыванием, жужжанием, шипением и потрескиванием, ее исчезновение в большинстве случаев происходит со взрывом. Мощность взрыва достаточна, чтобы разрушить большую печную трубу, разбить на кусочки кирпичи здания. Иногда шаровая молния исчезает бесшумно. Обычно после ее исчезновения в помещении остается некоторое время остро пахнущая дымка, голубая в отраженном свете и коричневая в проходящем.

Вопрос об образовании шаровой молнии экспериментально еще не изучен. Согласно одной из наиболее рациональных гипотез, шаровая молния может возникнуть за счёт осуществляющейся иногда фокусировки ядерно-активных космических частиц в мощном электрическом поле грозовых облаков. Возникающая при этом реакция дробления ядер атмосферного газа ксенона может дать энергию, достаточную для образования шаровой молнии. С этой точки зрения вероятность образования шаровых молний должна иметь связь с мощными вспышками на Солнце, обуславливающими увеличение интенсивности космического излучения у земной поверхности.

При разряде молнии на всем протяжении её извилистого пути происходит очень быстрое нагревание столба воздуха до нескольких десятков тысяч градусов. И основной канал молнии, и все его многочисленные разветвления становятся источниками ударных волн. Резкий фронт ударной волны по мере удаления от места разряда все более сглаживается, и на некотором расстоянии от источника ударная волна превращается в акустическую (звуковую) волну небольшой амплитуды. В ходе этого Превращения происходит постепенное уменьшение скорости распространения ударной волны вплоть до скорости звука в конечном итоге.

Наибольшая энергия грома приходится на инфразвуковые частоты в диапазоне 0,25...2 Гц и среди них чаще всего на частоту 0,5 Гц. В звуковом участке акустического спектра в диапазоне частот 125...250 Гц находится вторичный максимум, значительно уступающий по энергии инфразвуковому. Инфразвуковой максимум энергии грома соответствует полному времени развития разряда молнии (общая его продолжительность составляет в среднем 1,55 сек). Слышимая компонента грома представляет собой акустический эффект от последовательности разрядов, составляющих многократный разряд молнии.

Звуки, следующие после главного удара грома, создают впечатление удаляющегося от места наблюдения и постепенно затухающего рокочущего шума; Это – раскаты грома. Они наблюдаются в местности с любым рельефом и образуются ветвящимся и удаляющимся от места наблюдения разрядом молнии. Длительность раскатов грома определяется особенностями развития молнии. В среднем раскаты длятся 24 секунды, крайние отклонения от среднего значения составляют 4 и 100 сек. Характер звучания грома является существенной особенностью уже начавшейся грозы. Народные приметы утверждают, что длительные раскаты грома являются признаком приближения протяженного массива грозовых облаков. Глухой, продолжительный и умножающийся со временем гром с медленными раскатами характерен для длительной грозы, в то время как короткие и резкие удары с возрастающими по времени промежутками между ними характеризуют кратковременную грозу.

Средняя дальность слышимости грома для летних гроз на континенте составляет 10...15 км. Разница во времени между вспышками молнии и восприятием грома может достигать 90 сек. Гром от близкого разряда молнии производит такое же действие на слух, как выстрел зенитного орудия в 3 м от наблюдателя.

С давних времен в процессе познания грозы человек стремился подчинить ее своей власти. Об этом говорит, например, легенда о Прометее. Овладение грозами было предметом мечтаний ученых и философов средневековья. В последние годы были сделаны попытки «засева» грозных облаков кристаллами таких веществ, как йодистое серебро, йодистый свинец и твердая уголекислота. Можно полагать, что каждое из этих веществ должно способствовать затуханию и даже полному прекращению грозного процесса за счет резкого усиления конденсации водяного пара. Опыты в этом направлении только начаты и имеющийся экспериментальный материал ещё недостаточен для окончательных выводов.

В 1928...1933 годы на горе Дженеросо в Швейцарии на высоте 80 м над земной поверхностью подвешивалась металлическая решетка. Во время гроз эта решетка собирала достаточный заряд для поддержания в течение 0,01 сек электрической дуги длиной в 4,5 м, что соответствовало силе тока в несколько десятков тысяч ампер и разности потенциалов порядка 1 млн вольт. Вначале предполагалось получаемое на этой установке напряжение использовать для ускорения заряженных частиц в ускорителях. Однако от этой мысли пришлось отказаться ввиду сильной изменчивости электрического состояния грозных облаков и невозможности пока его регулировать. Попытки использовать протекающий во время гроз в поднятых высоко над земной поверхностью антеннах электрический ток для питания ламп накаливания также пока не дали экономически выгодного эффекта.

Радуга, венцы, гало

В религиозных представлениях народов древности радуге приписывалась роль моста между землей и небом. В греко-римской мифологии известна даже особая богиня радуги – Ирида. Греческие ученые Анаксимен и Анаксагор считали, что радуга возникает за счет отражения Солнца в темном облаке. Аристотель изложил представления о радуге в специальном разделе своей «Метеорологии». Он считал, что радуга возникает благодаря отражению света, но не просто от всего облака, а от его капель.

В 1637 году знаменитый французский философ и ученый Декарт дал математическую теорию радуги, основанную на преломлении света. Впоследствии эта теория была дополнена Ньютоном на основании его опытов по разложению света на цвета с помощью призмы. Дополненная Ньютоном теория Декарта не могла объяснить одновременного существования нескольких радуг, различной их ширины, обязательного отсутствия в цветных полосах некоторых цветов, влияния размеров капель облака на внешний вид явления. Точную теорию радуги на основе представлений о дифракции* света дал в 1836 году английский астроном Д. Эри. Рассматривая пелену дождя как пространственную структуру, обеспечивающую возникновение дифракции, Эри объяснил все особенности радуги. Его теория полностью сохранила свое значение и для нашего времени.

* Дифракция – отклонение световых волн в область геометрической тени при прохождении их через узкие отверстия или вблизи небольших препятствий (размеры отверстий и препятствий должны быть сравнимы с длиной волны).

Радуга – это оптическое явление, возникающее в атмосфере и имеющее вид разноцветной дуги на небесном своде. Наблюдается она в тех случаях, когда солнечные лучи освещают завесу дождя, расположенную на противоположной Солнцу стороне неба. Центр дуги ра-

дуги находится в направлении прямой, проходящей через солнечный диск (хотя бы и скрытый от наблюдения тучами) и глаз наблюдателя, т.е. в точке, противоположной Солнцу. Дуга радуги представляет собой часть круга, описанного вокруг этой точки радиусом в $42^{\circ}30'$ (в угловом измерении).

Наблюдатель иногда может одновременно увидеть несколько радуг – главную, побочную и вторичные. Главная радуга представляет собой цветную дугу на каплях удаляющейся дождевой пелены и возникает она всегда со стороны неба, противоположной Солнцу. При Солнце на горизонте высота верхнего края главной радуги составляет в угловой мере $42^{\circ}30'$. При подъеме Солнца над горизонтом видимая часть радуги понижается. Когда Солнце достигает высоты $42^{\circ}30'$, для наблюдателя на земной поверхности радуга будет не видна, однако если в момент ее исчезновения подняться на башню или мачту корабля, то радугу можно увидеть снова.

При наблюдении с высокой горы или с самолета радуга может иметь вид полной окружности. Еще Аристотель математически доказал, что Солнце, местонахождение наблюдателя и центр радуги находятся на одной прямой. Поэтому чем выше над горизонтом поднимается Солнце, тем ниже опускается центр радуги. В пересеченной местности радугу можно наблюдать и на фоне ландшафта.

Интересно расположение цветов в радуге. Оно всегда постоянно. Красный цвет главной радуги расположен на ее верхнем крае, фиолетовый – на нижнем. Между этими крайними цветами следуют друг за другом остальные цвета в такой же последовательности, как в солнечном спектре. В принципе в радуге никогда не бывают представлены все цвета спектра. Чаще всего в ней отсутствуют или слабо выражены синий, темно-синий и насыщенный чисто красный цвета. С увеличением размеров капель дождя происходит сужение цветных полос радуги, сами же цвета становятся более насыщенными. Преобладание в явлении зеленых тонов обычно указывает на последующий переход к хорошей погоде. Общая картина цветов радуги имеет размытый характер, так как образуется она протяженным источником света.

Над главной радугой располагается побочная с чередованием цветов, обратным главной. Угловая высота верхнего края побочной радуги составляет $53^{\circ}32'$. Кроме того, со стороны фиолетового конца главной радуги иногда можно наблюдать радуги вторичные, преимущественной их окраской является зеленая и розовая. В редких случаях вторичные радуги отмечаются и со стороны фиолетового края побочной радуги. Вторичные радуги более широки в высоких слоях дождевой пелены, где капли дождя имеют меньшие размеры.

Если приписать каждой вновь появляющейся радуге свой номер, то цифрами 1 и 2 будут обозначаться главная и побочная радуги, остальные номера будут относиться к радугам вторичным. 1, 2, 5 и 6-я радуги располагаются на стороне неба, диаметрально противоположной Солнцу, 3, 4, 7 и 8-я – вблизи Солнца. Третья радуга, например, наблюдается в пелене дождя выше Солнца, четвертая – на этой же стороне, но ниже Солнца, пятая – со стороны противосолнца над побочной радугой. Радуги высоких порядков постепенно все более теряют в яркости и поэтому в естественных условиях наблюдаются редко. При искусственном воспроизведении явления в лаборатории удавалось получать до 19 радуг. Над водоемом могут наблюдаться дополнительные радуги, расположенные друг относительно друга неконцентрично. Для одной из них источником света является Солнце, для другой – его отражение от водной поверхности. В этих условиях могут встречаться и радуги, расположенные «вверх ногами».

Ночью при лунном освещении и туманной погоде в горах и на берегах морей можно наблюдать белую радугу. Такой тип радуги может возникать и при воздействии солнечного света на туман. Она имеет вид блестящей белой дуги, с внешней стороны окрашенной в желтоватый и оранжево-красный цвета, а внутри – в сине-фиолетовый. В некоторых случаях белая радуга сопровождается побочной и вторичными радугами. У побочной белой радуги в сравнении с главной обратное чередование цветов.

Если радуга образована действием лунного света на капли дождя, то она выглядит белой. В некоторых случаях она кажется белой только вследствие малой интенсивности света. Такого типа радуга при укрупнении капель дождя может перейти в цветную. Наоборот, цветная радуга может потерять окраску, если дождь превратится в мелкокапельный туман. Как правило, при наличии мелких капель окраска радуги выражена слабо.

Радуга наблюдается не только на пелене дождя. В меньших масштабах ее можно увидеть на каплях воды у водопадов, фонтанов и в морском прибое. При этом в качестве источника света могут служить не только Солнце и Луна, но и прожектор.

Кроме радуги, в атмосфере наблюдается еще несколько Дифракционных явлений. Среди них чаще можно видеть венцы. Венцами называются цветные кольца, непосредственно прилегающие к небесным светилам (Солнцу, Луне, планете). В туманную погоду венцы: наблюдаются и на искусственных источниках света у земной поверхности (уличные фонари, фары автомобилей).

Непосредственно у светил или у наземных источников света располагается цветной круг или ореол, в котором цвета меняются от голубовато-белого с внутренней стороны через желтоватый до красного со стороны внешней. Размеры красного края ореола обычно составляют несколько градусов, в верхнем пределе до 5° , но встречаются ореолы и несколько меньше 1° . Не всегда в ореоле представлены все упомянутые выше цвета. Иногда он может состоять из беловатого сияния с примыкающей к нему извне красной каймой. Встречаются и такие ореолы, в которых отсутствует желтоватый цвет. За верхним краем ореола обычно следуют менее яркие цветные кольца общим числом не более трех с таким же распределением цветов, как в ореоле. Научное объяснение явления венцов было дано немецким ученым И. Фраунгофером.

Венцы наблюдаются в тех случаях, когда источник света перекрывается тонким слоем водяного или ледяного облака. Лучше они образуются на облаке, состоящем из частиц примерно одинакового размера. В водяных облаках с каплями разнообразных размеров венцы не имеют полного развития и обычно сводятся к одному ореолу.

С увеличением размеров капель венцы уменьшаются в размерах и при достаточно больших каплях исчезают совсем. Такая эволюция венцов указывает на ухудшение погоды. На ледяных облаках с большим количеством примерно одинаковых по размерам кристаллов венцы имеют чистые насыщенные цвета и достигают наиболее полного развития. Красивую картину венцов дают перистые облака. На облаках нижнего яруса венцы чаще состоят из одного ореола, причем, если плотность капель в различных направлениях неодинакова, они могут иметь и несимметричный вид.

Существует группа явлений, которые наблюдаются благодаря преломлению и отражению света ледяными кристаллами перистых облаков. Это гало (от греческого «галос» – круг), горизонтальный круг, касательные дуги и ложные солнца и луны. Наиболее часто среди них наблюдается гало в 22° – так называется описанный около светила светящийся круг радиусом в угловой мере в 22° , окрашенный в красный цвет и резко очерченный с внут-

ренной стороны, и имеющий фиолетовую окраску, постепенно сливающуюся с синевой неба со стороны внешней. Красная окраска изнутри и фиолетовая снаружи объясняется различным преломлением световых лучей в кристаллах. При слабом лунном свете цвета гало не воспринимаются глазом, и тогда оно имеет вид белого круга. Гало в 46° – описанный вокруг Солнца или Луны светящийся круг радиусом в 46° . Распределение в нем цветов такое же, как в предыдущем гало, но наблюдается оно реже и не всегда имеет полное развитие. Горизонтальный круг, который проходит через светило параллельно горизонту, представляет собой белый светящийся круг, иногда часть круга. Касательные дуги, обращенные выпуклостью к светилу дуги у гало в 22° и 46° , окрашены в красный цвет со стороны светила и в фиолетовый – с противоположной стороны. В точках пересечения гало и горизонтального круга возникают яркие цветные или белые пятна. Это ложные солнца или луны. Они имеют красную окраску со стороны, обращенной к светилу. Иногда ложные солнца или луны наблюдаются самостоятельно, без гало, нередко за ними в сторону от светила тянутся световые хвосты.

Кристаллы перистых облаков могут быть ориентированы в атмосфере беспорядочно, горизонтально и вертикально; Гало в 22° образуется за счет преломления света в ледяных призмах с преломляющим углом в 60° при их беспорядочной ориентации, а ложные солнца и луны – на таких же призмах, но с вертикальной ориентацией. Касательные дуги возникают на кристаллах с преломляющим углом также в 60° , но преломляющие ребра этих кристаллов располагаются в атмосфере горизонтально. Все явления, связанные с гало в 46° , образуются как и в случае гало в 22° , но преломляющий угол кристаллов при этом составляет 90° .

Развитие горизонтального круга происходит за счет отражения света от кристаллов, ориентированных вертикально. Именно поэтому горизонтальный круг имеет белую окраску. Первая теория гало была дана французским физиком Э. Мариоттом.

Как правило, гало наблюдается перед приходом на данную территорию циклона или при прохождении циклона в некотором отдалении от места наблюдения. Перистые облака, на которых оно возникает, имеют вертикальную протяженность около 1,6 км.

Интересно отметить, что такое красивое атмосферное явление, как гало, иногда сопровождало некоторым событиям истории. В «Слове о полку Игореве» рассказывается, что перед наступлением половцев и пленением Игоря «четыре солнца засияли над русской землей». Воины восприняли это как знак надвигающейся большой беды.

В 1551 г. после длительной осады войсками императора Карла V немецкого города Магдебурга в небе над городом вдруг появилось гало с ложными солнцами. Среди осаждавших это вызвало переполох. Они восприняли гало как «небесное знамение». Решив, что в защиту осажденных выступил сам бог, Карл V приказал снять осаду города. История сохранила немало и других примеров подобного рода. Все они – убедительное свидетельство того, что невежество делает человека рабом природы, заставляет его преклоняться перед ее слепыми силами.

Радиоактивность вод суши и океана

Согласно приблизительным оценкам возраст Земли составляет около 6 млрд лет. Около 2 млрд лет тому назад на Земле зародилась жизнь. Существует мнение, что задержка в развитии жизни на Земле могла произойти из-за высокого уровня радиации, который господствовал на планете вскоре после ее возникновения, вследствие чего живые организмы по-

явились лишь после значительного уменьшения радиоактивности земной коры и атмосферы.

Воды Мирового океана содержат миллиарды тонн калия, рубидия, урана, тория и радия. Естественная радиоактивность вод суши и океана в основном обусловлена радиоактивным изотопом калия (K^{40}). Количество радия в поверхностных водах океана составляет около $0,4 \cdot 10^{-10}\%$. В глубоководных осадках центральных частей океанов радия значительно больше, чем должно быть по условиям равновесия с имеющимся в осадках ураном. Воды природных источников содержат урана от $5 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^{-5}$ г/л. В северных реках урана несколько меньше, в южных – больше. В бессточных водоемах засушливых районов концентрация урана может возрасти до $4 \cdot 10^{-2}$ г/л. Радиоактивность речной воды оценивается величиной порядка 10^{-12} Кюри/л, озерной 10^{-11} Кюри/л и морской 10^{-10} Кюри/л, в то время как радиоактивность атмосферного воздуха составляет примерно 10^{-16} Кюри/см³ и радиоактивность атмосферных осадков у поверхности Земли около $2 \cdot 10^{-11}$ Кюри/г (сохраняется радиоактивность осадков в течение нескольких часов, причем снег более радиоактивен, чем дождь). Выпадение осадков способствует очищению атмосферы от радиоактивных загрязнений. Наибольшее количество радиоактивных веществ содержат туманы и морось.

В высоких слоях атмосферы, при бомбардировке ядер водорода космическими лучами, образуется тяжелый изотоп водорода – радиоактивный тритий, который затем входит в состав сверхтяжелой воды T_2O и вместе с осадками попадает на земную поверхность. Общее количество трития в водах Мирового океана составляет около 800 г, период его полураспада 12,2 года. Концентрация трития уменьшается с приближением к экватору. Когда в водах одного из подземных источников провинции Шампань (Франция) тритий не был обнаружен, ученые пришли к выводу, что в этот источник не попадала влага из атмосферы. В океанических водах трития меньше, чем в водах суши. Это обстоятельство использовано для решения вопроса о том, какая часть атмосферных осадков образовалась за счёт испарения воды с поверхности океана и какая – за счёт испарения вод суши. Разновидности тритиевой воды НТО, ДТО и T_2O применяются в качестве радиоактивных индикаторов влагонепроницаемости вещества.

В человеческом организме имеется около $3 \cdot 10^{-3}$ г радиоактивного калия и $6 \cdot 10^{-9}$ г радия. За счет этих веществ в теле человека каждую секунду происходит 6 тысяч бета-распадов и 220 альфа-распадов. Кроме того, в результате воздействия космических лучей в организме человека возникают искусственные радиоэлементы. Только благодаря радиоактивному углероду C^{14} происходит 2 500 бета-распадов в секунду дополнительно. В общем итоге в теле человека каждую секунду происходит 10 000 актов распада. Поскольку окружающий нас воздух, вода и горные породы радиоактивны, человеческий организм по уровню своей радиоактивности приспособился к радиационному фону окружающей среды.

Геотермальные воды

При перемещении в направлении к центру Земли температура в верхних слоях земной коры возрастает в среднем на $1^\circ C$ на каждые 100 м (геотермическая ступень). В более древних слоях геотермическая ступень меньше средней величины, в молодых изверженных породах она превышает среднее значение. Если бы геотермальная ступень определяла изменение температуры на всех глубинах, то в центре Земли температура была бы $200\ 000^\circ C$. Однако анализ наблюдений над лавой при вулканических извержениях и сейсмические исследования приводят к выводу, что в центре Земли температура должна быть всего лишь около $2000 \dots 5000^\circ C$. Следовательно, геотермическая ступень с глубиной должна уменьшаться.

Разогрев земной коры происходит за счет радиоактивного распада радия, урана, тория и калия, которые распределены в ней неравномерно: граниты содержат больше радиоактивных веществ, чем расположенные ниже базальты. Слой повышенной радиоактивности земной коры имеет толщину в несколько километров. Поскольку с глубиной возрастает теплопроводность и уменьшается геотермическая ступень, тепло накапливается и разогревает внутренние слои планеты.

В Симплонском туннеле уже на глубине 2 135 м за счет повышенного содержания радиоактивных веществ горные породы имеют температуру 53°C. В золотых рудниках Колара на юге Индии на глубине 3 км температура пород достигает 65°C. Имеющаяся в земной коре вода разогревается горными породами и может переносить тепло в более высокие горизонты. Например, в долине Паужетки (Камчатка) вода с температурой 200°C подходит к поверхности земли на расстояние в 100...300 м. На глубине более 13...14 км вода переходит в пар. При температурах и давлениях, господствующих ниже 60 км, молекулы воды существовать уже не могут.

Геотермальными называются выделяющиеся из недр Земли воды с температурой выше 20°C. В большинстве случаев они имеют температуру от 40 до 100°C. Наибольшая температура поступающей к земной поверхности геотермальной воды может достигать 300°C, а температура пара доходить до 600°C.

Геотермальные воды с температурой 20...40°C используют для лечебных целей, а с температурой 40...60°C для выращивания растений в парниках. Для технологических целей и отопления наиболее пригодны воды с температурой 40...100°C. Получение электрической энергии осуществляется с помощью геотермальных вод и пара наиболее высоких параметров. В ряде мест на геотермальной энергии работают промышленные холодильные установки. Извлекаемые из минеральных вод соли находят широкое применение в химической промышленности. Как моющее средство геотермальные воды употребляются на шерстостойках и камвольных предприятиях.

Несмотря на то, что каждый квадратный сантиметр земной поверхности в течение года получает от Солнца 68 килокалорий тепла, в то время как из недр Земли к ней за то же время поступает лишь 40 калорий, полная энергия геотермальных вод земной коры во много раз превышает энергию всех видов ископаемого топлива.

В нашей стране на Камчатке построены и работают две геотермальные электростанции – на реке Паужетке и на Паратунских источниках. Мощность Паужетской электростанции составляет 5 тыс. киловатт и в дальнейшем может быть доведена до 70 тыс. киловатт. В недалеком будущем войдут в строй геотермальные электростанции в районе Махачкалы и около Южно-Курильска. Кроме нашей страны, геотермальные электростанции имеются в Италии, Новой Зеландии, Мексике, Конго, США (Калифорния), Японии и Исландии. Общая мощность всех геотермальных электростанций мира превышает 700 тыс. киловатт.

Поскольку для получения электрической энергии на геотермальных электростанциях используется даровое тепло Земли, они вырабатывают более дешевую энергию, чем энергия тепловых, атомных и гидроэлектростанций. Если принять при этом во внимание и большие запасы геотермальной энергии в земной коре, можно утверждать, что геотермальной энергетике принадлежит большое будущее.