

профессор Сачков И.Н.

Климатические катастрофы:

**пособие по физике
для старших школьников
и младших студентов**

Игорь Николаевич Сачков
Климатические катастрофы:
пособие по физике для
старших школьников
и младших студентов

*http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=64468036
SelfPub; 2021*

Аннотация

Автором отобраны наиболее интересные физические открытия, связанные с климатом Земли, сделанные за последние три года. Возможно ли превращение нашей планеты в раскаленный ад Венеры, или в ледяную безводную пустыню Марса? Какие существуют физические доводы в пользу глобального потепления или нового ледникового периода? Возможно ли, что мамонтов убило физическое явление «метангидратное ружье»? Фактически впервые в школьном и вузовском учебном курсе «общая физика» введены в рассмотрение синергетические явления. В целом представленный материал соответствует разделу физики «тепловые явления». Рассчитан на наиболее подготовленных школьников и студентов. Может использоваться также преподавателями с целью организации познавательной мотивации учащихся.

Содержание

Предисловие	4
Введение	7
Синергетика атмосферы	18
Закон чередования ледниковых эпох Земли	27
Альбедо: разноцветные наряды Земли	32
Положительная обратная связь	36
Эффект прецессии	41
Парниковые шубы планеты	44
Метан-гидратное ружье	50
Взрывы вулканов, астероидов и ядерных бомб	56
Синергетика Гольфстрима и других потоков	62
Заключение	64
Контрольные вопросы	65
Сведения об авторе	66
Литература	67

Игорь Сачков Климатические катастрофы: пособие по физике для старших школьников и младших студентов

Предисловие

Существуют три вида, три ступени обучения. Их результаты:

знание,

умение,

ПОНИМАНИЕ.

Третья стадия выделена в списке шрифтом, потому что достичь третьей фазы познания – труднее всего. Например, в музыке легче всего выучить расположение нот на нотном стане. Сложнее научиться воспроизводить музыку. Но самое сложное – стать профессионалом, то есть понимать и чувствовать музыку.

Знание



Умение



Понимание



Рис.1. Три стадии обучения

На рис.1 изображен музыкант, который сме-

ется, читая ноты пьесы Дворжака, «Юмореска» (использованы рисунки <https://im0-tub-ru.yandex.net/i?id=5b3ef441177f2d306a951abd6ddd5ff9&n=13> , <https://n-mus.ru/wa-data/public/photos/43/03/343/343.970.jpg> и <https://im0-tub-ru.yandex.net/i?id=d5c10581361353fc2982fbc898f49c51&n=13>).

Наверно, только настоящие, то есть высококвалифицированные, музыканты способны так себя вести? Как достичь третьей стадии? По мнению автора, достичь понимания учебного предмета невозможно без интереса к нему. Сдать экзамен по физике – вещь, конечно, необходимая. Но для неформального овладения этим учебным предметом надо испытывать к нему «искренний интерес» (так говорил капитан Жеглов, когда учил Шарапова разговаривать с подследственными).

Представленный ниже материал может показаться довольно странным. К какому виду учебной литературы его можно отнести? Предлагаемое издание не является ни учебником, ни задачником. Более всего оно может быть отнесено к мероприятию «посещение зоопарка». Во времена, когда автор учился в школе, существовал замечательный вид урока: класс вели в зоопарк. При этом единственное, чего требовала учительница ботаники по итогам такого урока, это написать, «каких зверей ты видел и что они ели». Вот такую же «прогулку» по физическому зоопарку автор и предлагает возможному читателю.

Введение

Проблема климата – важнейшая для человечества, потому что угроза мировой войны может быть ликвидирована путем переговоров, голод и болезни смогут победить развитие науки и техники. А вот как быть с климатическими катастрофами? Можно ли их предотвратить или, хотя бы, предсказать и подготовиться к ним?

В настоящее время наиболее остро дискутируются два взаимоисключающих варианта скорого его изменения: или глобальное потепление, или оледенение севера Земли. Источниками противоречивых прогнозов стали результаты исследований последних семи лет.

Кроме того, в прошедшем году выдвинуты гипотезы, согласно которым даже на планете Венере в прошлом были реки, океаны и жизнь (см. например, <https://ria.ru/20191023/1560073551.html>). Однако произошла какая-то климатическая катастрофа, и реальный сегодняшний пейзаж Венеры представлен на рис.2. Космическая станция Венера-13 передала на Землю фотографии безжизненного мира. Она сообщила, что температура планеты составляет 450 градусов Цельсия! Вместо водных потоков на поверхности ближайшей соседки Земли по космосу должны литься струи расплавленного свинца. Климатологи 21-го века утверждают, что там произошла какая-то чудовищная ката-

строфа.

Согласно классической физике 70-х годов 20-го века, Венера является «сестрой» Земли и температуру ее поверхности нетрудно оценить, используя знания курса физики для вузов. При этом, если не требовать строгих расчетов, можно сделать упрощенную оценку следующим образом.

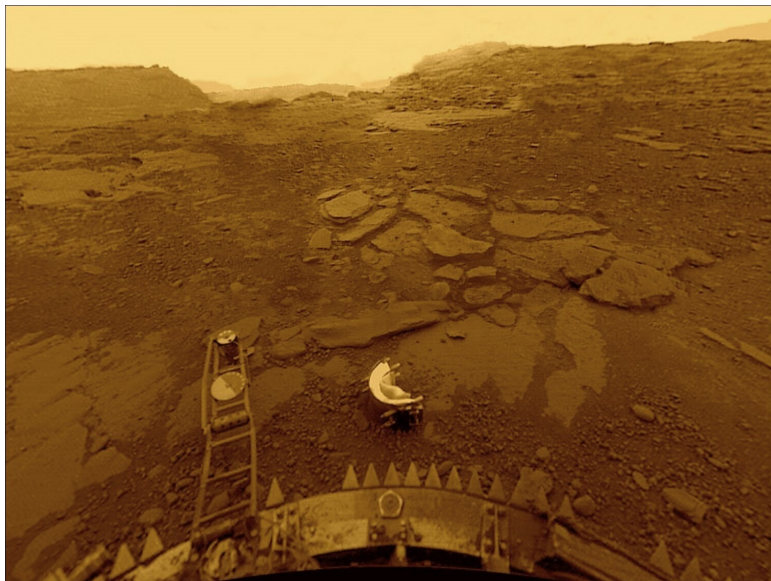


Рис.2. Венера, результат климатической катастрофы, https://starcatalog.ru/images/2018/07/foto_venery_13.jpg

Средняя температура небесного тела определяется процессами теплового баланса. В условиях термодинамического равновесия количество пришедшего к телу тепла должно быть равно количеству ушедшего. Основной поток тепла, Q_C , падающий на планету, создается Солнцем. Его плотность обратно пропорциональна квадрату расстояния до Солнца, $Q_C = \alpha / R^2$, где коэффициент пропорциональности определяется температурой и состоянием поверхности Солнца. Не будем здесь учитывать действие солнечного ветра, космических («галактических») и внутренних источников тепла.

Заметим далее, что планеты находятся в вакууме, теплопроводность которого близка к нулю, поэтому планеты способны отдавать тепло лишь в форме теплового излучения. Его плотность может быть описана законом Стефана-Больцмана, $Q_T = \beta T^4$, где T – средняя для планеты абсолютная температура, β – коэффициент пропорциональности. Таким образом, приравнявая $Q_C = Q_T$, получим, что в описываемых условиях средняя температура планеты $T = \gamma / R^{1/2}$, то есть температура планеты обратно пропорциональна корню квадратному из среднего расстояния ее орбиты. Здесь $\gamma = (\alpha/\beta)^{1/4}$ – параметр теплообмена, присущий данной планете и зависящий от особенностей ее поверхности, обсуждаемых ниже. Чем выше значение γ , тем сильнее тепловое действие солнечного излучения.

Для Земли средняя температура T_3 равна примерно $14\text{ }^\circ\text{C} = (14 + 273)\text{ K}$. Если принять, в качестве примера, что параметры γ для Венеры и Земли одинаковы и учесть, что радиус орбиты Венеры примерно в 1,4 раза меньше, чем у Земли, ее температура должна быть равна $348\text{ K} = 75\text{ }^\circ\text{C}$. При такой температуре космонавтам в скафандре можно даже жить на такой планете!

Причина ошибки, допускаемой при упрощенном расчете температуры Венеры связан с тем, что γ Земли и Венеры различны. С оценкой величины коэффициента теплообмена нашего тела и окружающей улицы мы сталкиваемся ежедневно, когда выбираем, что одеть на себя: шубу, куртку, плащ или купальник. Фактически важнейшая задача тысяч физиков, работающих в научных учреждениях 21-го века – расчет γ для планет солнечной системы. При этом оказывается, что необходимо учесть огромное число факторов, рассматриваемых ниже: парниковый эффект, альbedo, синергетические процессы, форма орбиты планеты, влияние солнечного ветра и т.д. Можно сделать два вывода. 1) Оказывается, чудовищный климат Венеры сформировался в результате какой-то катастрофы, которая увеличила ее γ !!!



Рис.3. Остров Кипр, рай Солнечной системы. Фото Р.И.Лопатиной

2) Подобная же катастрофа может, в принципе, произойти и на Земле. На рис.3 изображен один из райских уголков Земли, остров Кипр. Некоторые ученые предсказывают, что у Земли может измениться и глобальное потепление превратит пейзаж на рис.3 в рис.2.

Однако существует другая группа исследователей, которые утверждают, что климат действительно изменится, одна-

ко это произойдет в «обратную сторону». Грамотные, очень авторитетные эксперты прогнозируют возвращение на Землю нового ледникового периода. Север Европы должны поглотить ледники, похожие на те, что уже более ста тысяч лет покрывают остров Гренландию.



Рис.4. Древний ледник Гренландии, https://universemagazine.com/wp-content/uploads/2019/06/01_greenlandicesheet_nationalgeographic_193

Возможность оледенения севера Европы давно известна. Установлено, что с периодом, равным примерно 100 тыс.

лет, на севере планеты возникали ледники, подобные тем, которые сейчас покрывают Антарктиду. Их центры совпадали с гористыми участками суши: Скандинавией, Гренландией, Северным Уралом, а также и с «южными» горами: Альпами, Кавказом, Алтаем. Остатки этого ледника до сих пор сохранились на острове Гренландия, рис.3. А 50 тысяч лет назад толщина ледяных шапок всего севера Европы достигала 3-х километров! Длительность каждого из десятков предыдущих оледенений составляла около 90 тыс. лет и сменялась потеплением, длившимся примерно 10 тыс. лет. Обсуждаемые сравнительно регулярные колебания климата между ледником и потеплением продолжаются уже несколько миллионов лет. При этом оказывается, что существующий сейчас период потепления заканчивается.

Однако космические исследования последних семи лет показали, что возможен и еще один сценарий. Он заключается в полном внезапном исчезновении и воды, и атмосферы на планете.

Эта жуткая возможность была обнаружена на планете Марс. Космические станции передали, что атмосферное давление на Красной планете в тысячу раз меньше, чем на Земле, а средняя температура равна – 63 °С. Эта температура близка к условиям конденсации «сухого льда», то есть углекислого газа, рис.5.



Рис.5. Фотография Марса, сделанная марсоходом Куриосити, <https://img-s3.onedio.com/id-56ab6887388293dd09105667/rev-0/raw/s-cbbda3fcdd09de96fcae43fcb3a971648c2c7292.jpg>

Низкая температура и отсутствие воды на Марсе – не очень большая сенсация. Однако анализ снимков, полученных с Марса, проведенный грамотными специалистами показал, что вода на Марсе – была! Довольно давно, 2 миллиарда лет назад. Но – имелась! При этом и температура была настолько высокой, что вода текла в виде огромных рек! Свидетельством сказанного служат обнару-

женные марсоходом так называемые гидратированные породы, то есть минералы, образованные водой. Сохранился и характерный рельеф, сформированный мощной водной эрозией. С космической станции, Марс Орбитер, вращающейся вокруг Марса, отчетливо видны характерные русла древних рек, рис.6. Кроме того, методами «нейтронного каротажа» обнаружен замороженный лед под песками Марса (см. например, <https://izverzhenie-vulkana.ru/2018/12/nejtronnyj-karotazh-marsa-prodolzhaetsya-sedmoj-god.html>).

Таким образом, Марс тоже подвергся значительной климатической катастрофе. Однако, в отличие от Венеры, произошло не нагревание, а замораживание поверхности планеты. Не грозит ли такой же сценарий Земле?



Рис.6. Русла высохших рек на Марсе, снимок с орбитальной станции Марс Орбитер, <https://top10a.ru/wp-content/uploads/2019/12/7-37.jpg>

«Замораживание» Марса нельзя «списать» на его удаленность от Солнца. Нетрудно повторить для него упрощенный расчет температуры. Учтем, что радиус орбиты Марса примерно в 1,5 раза больше Земного. Используя формулы для оценок его температуры, получим, $T_M = 238 \text{ К} = -35 \text{ }^\circ\text{C}$. Рассчитанная таким образом температура заметно выше реальной, равной $-63 \text{ }^\circ\text{C}$. Забегая вперед, заметим, что такое

отличие легко объяснить практически полным отсутствием парникового эффекта для разреженной атмосферы Марса. Но куда делась эта атмосфера?

Необходимо заметить, что «обычное» оледенение севера Европы не так страшно, как катастрофа типа марсианской. Дело в том, что оледенения предыдущих 400 тыс. лет не распространялись южнее 60-ти градусов северной широты. И, что важнее, не сопровождались глобальным высыханием. Пока есть лёд на планете, он может растаять, рано или поздно. И жизнь в ледяную пустыню – вернётся. Между тем Марс, по-видимому, навсегда останется и замороженной, и безводной пустыней .

Таким образом, возможны четыре сценария развития климата Земли. 1) Превращение в раскаленную Венеру, 2) возвращение ледникового периода мамонтов и питекантропов, 3) вымерзание планеты по типу Марса и, наконец, 4) сохранение «райского» климата современности. Следует также отметить, что помимо экстремальных катастроф возможны «мелкие», подобные «малому ледниковому периоду», рассматриваемому ниже.

Синергетика атмосферы

Что общего между рассмотренными выше катастрофами? На этот вопрос отвечает современный раздел теории тепловых явлений. Он называется «синергетика». Оказывается, что среди «обычных» тепловых процессов, примерами которых являются нагрев, охлаждение, сжатие, расширение и другие процессы, происходящие в однородных жидкостях и газах, имеются и «необычные». За их открытие Илья Ефимович Пригожин получил Нобелевскую премию. Синергетические процессы отличаются от прочих явлений наличием трех следующих признаков: самопроизвольность, непредсказуемость и катастрофичность, <https://www.dropbox.com/s/95bqng6rgiocpmo/s7.docx?dl=0>. Яркий пример синергетического процесса – смерч, рис.7. Он возникает «сам собой», неожиданно и очень «резко», катастрофично.



Рис.7. Смерч, https://funart.pro/uploads/posts/2020-03/1584101898_20-p-foni-s-tornado-74.jpg

Смерч отличается от «обычных» туч тем, что он вращается вокруг своей оси. Он всасывает окружающий воздух (вместе с различными предметами, например, автомобилями). Смерч похож на трубу, соединяющую облако на небе с поверхностью Земли.

Известен другой яркий пример синергетического процесса. «Обычный» нагрев жидкости не вызывает никаких

неожиданностей вплоть до температуры кипения. Однако при определенных условиях, еще до кипения, на поверхности жидкости внезапно иногда появляются своеобразные «узоры», похожие на шестигранный паркет, рис.8. Явление называется «ячейки Бенара». Неразумная жидкость превращается в своеобразного художника.

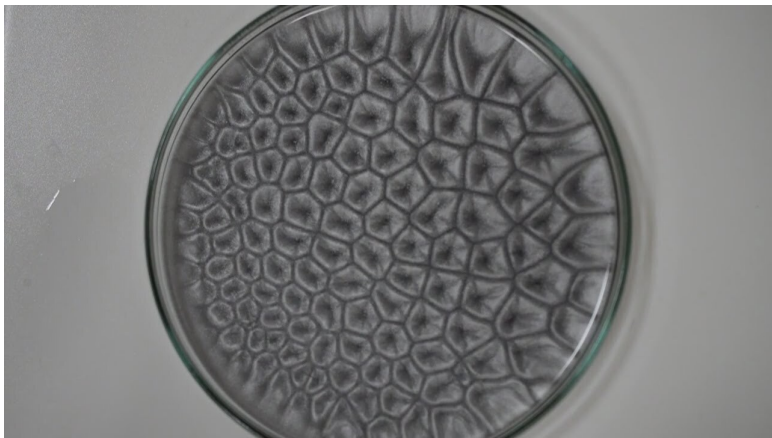


Рис.8. Ячейки Бенара, <https://i.ytimg.com/vi/v2vMXmuC818/maxresdefault.jpg>

Ячейки Бенара существуют не только в «пробирках» ученых. Космическая станция «Кассини» прислала фотографию облаков на полюсе Сатурна. Они образуют почти правильный шестиугольник, подобный ячейке Бенара, рис.9.

Наблюдения, начатые еще станциями Вояджер-1 и Вояджер-2 и продолженные Кассини, показали, что правильная фигура, которая видна на рисунке, стабильна уже в течении более 20 лет. Предполагается, что эта структура образуется потоками тепла, которые распространяются от центра планеты-гиганта к ее поверхности. Источники тепла пока неизвестны.

Проведенные в инфракрасном диапазоне наблюдения показали, что шестигранная структура Сатурна является вихрем, имеющем прямые «стены», уходящие на глубину порядка 100 км. Таким образом, он подобен одиночной ячейке Бенара.

В атмосфере Земли тоже существуют синергетические ячейки. Но они не шестигранные, а имеют очень сложное строение. Примером служат ячейки Хедли, которые «помогают» переносить тепло от экватора Земли в ее средние широты.

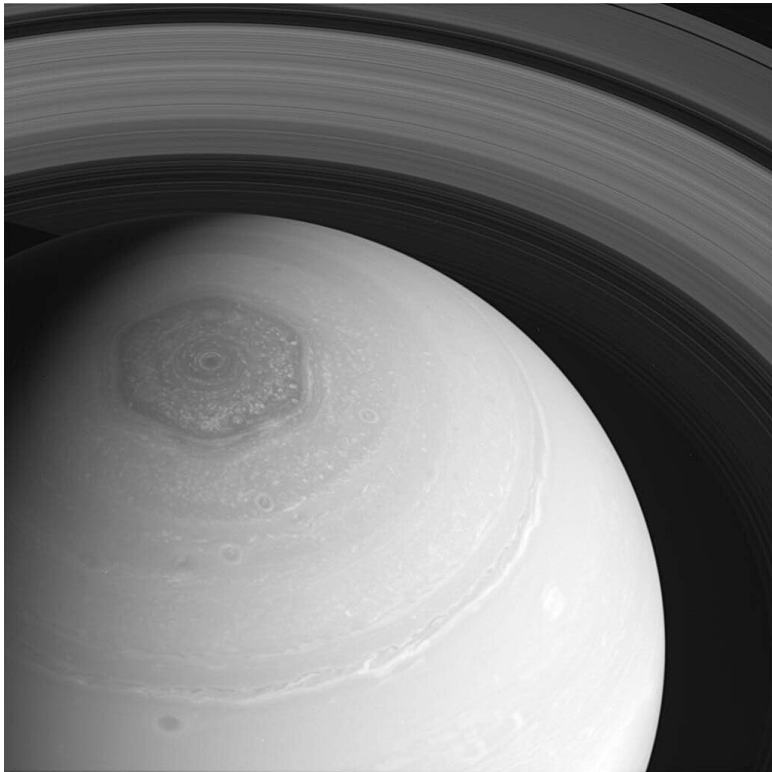


Рис.9. Шестигранная ячейка на полюсе Сатурна, фото станции Кассини, https://pbs.twimg.com/media/D8r_YrQWwAAyySy.jpg

Следующим хорошо известным синергетическим явлением атмосферы Земли и других планет является турбулент-

ность. Она заключается в том, что если поток газа или жидкости тормозится препятствиями или какими-то стенками, то возникает множество вихрей, накладывающихся друг на друга. В результате движение делается внешне беспорядочным, хаотичным. Турбулентность – это одно из хорошо известных, и очень опасных для самолетов, явлений.

Турбулентность хорошо видна в атмосферах планет-гигантов. На рис.10 изображены открытые в 2019 г. вихри планеты Юпитер. Особенность углеродной атмосферы Юпитера и Сатурна состоит в том, что цвет облаков там заметно меняется в зависимости от изменений температуры. Поэтому вихри хорошо поддаются выявлению и анализу.

Основы науки синергетики не попали пока в школьные и вузовские учебники по физике, потому что эта наука – новая. Более подробное описание некоторых ее эффектов можно найти в электронном файле <https://www.dropbox.com/s/95bqng6rgiocpmo/s7.docx?dl=0>.

Наша брошюра называется «Климатические катастрофы». Слово катастрофа здесь – это научный термин. Он означает, что объект теряет устойчивость и в нем происходят достаточно резкие изменения его состояния. Эти процессы описывает особый раздел математики, который называется «теория катастроф». Он включает такие теории, как описание «бифуркаций решений дифференциальных уравнений», классификации «разрывов, изломов и иных особенностей многомерных математических функций» и т.д. В част-

ности, некоторые синергетические катастрофы описывается математически, как «процесс, протекающий с обострением». Впервые их открыл академик С.П. Курдюмов с сотрудниками Института прикладной математики имени М. В. Келдыша при изучении поведения плазмы.



Рис.10. Турбулентные вихри в атмосфере Юпитера, фото космической станции Юнона, https://artpa.ru/assets/components/phpthumbof/cache/9d0def8677f0bfe0b58dc524382f95c5_ce_1080x1080x0

Основы науки синергетики не попали пока в школьные и вузовские учебники по физике, потому что эта наука – новая. Более подробное описание некоторых ее эффектов мож-

но найти в электронном файле <https://www.dropbox.com/s/95bqng6rgiocpmo/s7.docx?dl=0>.

Наша брошюра называется «Климатические катастрофы». Слово катастрофа здесь – это научный термин. Он означает, что объект теряет устойчивость и в нем происходят достаточно резкие изменения его состояния. Эти процессы описывает особый раздел математики, который называется «теория катастроф». Он включает такие теории, как описание «бифуркаций решений дифференциальных уравнений», классификации «разрывов, изломов и иных особенностей многомерных математических функций» и т.д. В частности, некоторые синергетические катастрофы описывается математически, как «процесс, протекающий с обострением». Впервые их открыл академик С.П. Курдюмов с сотрудниками Института прикладной математики имени М. В. Келдыша при изучении поведения плазмы.

Изменения климата, рассматриваемые в настоящей брошюре – это тоже синергетические процессы. Они отличаются самопроизвольностью, непредсказуемостью и катастрофичностью.

Почему они возникают? Это – очень важный вопрос! Механические часы работают благодаря тому, что у них внутри содержатся соответствующие механизмы: зубчатые колеса, пружины, маятники. Они создают чудо: стрелки сами собой показывают время. Синергетические катастрофы климата также происходят из-за наличия ряда соответствующих

механизмов. Большинство из них открыты в последние семь лет, в частности благодаря полетам на другие планеты. Рассмотрим их кратко ниже.

Закон чередования ледниковых эпох Земли

Ледниковыми эпохами (оледенениями) в истории Земли называются резкие понижения средней температуры Земли, которые приводили к образованию ледников, покрывавших большую часть Европы, Азии и Северной Америки (подробнее см. <https://www.mirf.ru/science/lednikovye-periody-v-istorii-zemli/>).

Процесс оледенения наиболее наглядно иллюстрируется изменениями средней температуры на Земле. На рис.10 представлен график изменения температуры за период от настоящего времени до 400 тыс. л. до н.э.



Рис.11. Изменение средней температуры на Земле за 400 тыс. лет, Википедия

Что означает этот график? Нуль температуры на оси ординат рис.10 и нуль на оси времени соответствуют настоящему времени. Климат Земли при этом характеризует картинка рис.3. В этих условиях средняя температура на Земле равна $+14^{\circ}\text{C}$. На графике рис.11 этот участок зависимости отмечен красной цифрой «0».

Обращает внимание, что лишь в кратковременные периоды, обозначенные на рисунке красными цифрами от 0 до 4-х, наблюдались потепления, подобные нынешнему. Основное же время Земля имела температуру ниже, чем сейчас, на 2-9 градусов. Геофизические исследования показывали, что в эти промежутки времени север Америки, Европы и России покрывали ледники.

Таким образом, получается, что в последние 400 тыс. лет основное состояние климата Земли – оледенение. На рис.12 изображен пейзаж в районе Парижа, который можно было бы наблюдать во время последнего ледникового периода, если бы существовала машина времени.

По мнению автора брошюры картинка рис.10 является иллюстрацией одного из крупнейших открытий физики последних семи лет. Для ее получения потребовалась разработка методов применения ядерной физики и компьютер-

ных методов обработки информации. График содержит результат работы нескольких тысяч океанографов, полярников, физиков, биологов, компьютерщиков и ученых других специальностей. Подробное описание действий нескольких армий ученых требует отдельной книги. А мы отметим лишь следующее.



Рис.12. Тундро-степь Европы в эпоху последнего оледенения (в представлении художника, Википедия)

Существование периодов оледенений были известны в науке давно, более ста лет. На территории России их называли Валдайское, Московское и Днепровское, соответственно (рис.11). Подробное рассмотрение процессов оледенений выходит за пределы настоящей брошюры. Дополнительные

сведения можно найти в статье <https://www.mirf.ru/science/lednikovye-periody-v-istorii-zemli/> .

Сенсацией же последних семи лет является подробное количественное описание изменений температуры. Обнаруженное множество колебаний температуры в течение этого периода времени свидетельствуют о крайней неустойчивости климата Земли.

Следует отметить, что в физике существуют два основных метода исследований – «феноменологический» и «модельный». Первый из них основан на использовании «первых принципов». Они получаются из множества опытов и принимаются как аксиомы. Например, закон сохранения энергии – феноменологический, он получен путем наблюдений и экспериментов. Второй, то есть модельный, подход позволяет обосновывать опытные законы исходя из теоретических расчетов. В частности, закон сохранения механической энергии доказывается с помощью аналитической механики, исходя из аксиомы однородности времени (см. например, Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика). При этом однородность времени – тоже аксиома, укладываемая в фундамент теоретических расчетов.

В термодинамике второй ее закон утверждает, что энтропия замкнутой системы в любых процессах увеличивается. Это – феноменологический закон. В то же время статистическая теория Максвелла-Больцмана, объясняет рост энтропии движением молекул. Это – модельная теория.

Подобным образом, климат может описываться и предсказываться и с помощью феноменологических законов, и путем модельных расчетов на компьютерах. В частности, рис.11 показывает, что существует феноменологический закон: теплый климат между ледниковыми периодами должен длиться примерно 10 тысяч лет. Следствие: последний ледник кончился как раз 10 тыс. лет назад. Получается, что на Земле скоро снова наступит глобальное похолодание и оледенение?

Однако у физиков существует глобальная цель – перейти к модельному описанию климата, то есть описать все пики, все изменения, представленные на рис.11, с помощью компьютерных расчетов. Таким образом был бы осуществлен модельный метод предсказания климата. Он заключается в расчетах действия всех различных механизмов, которые им управляют. Продолжим в следующем разделе рассмотрение этих факторов.

Альbedo: разноцветные наряды Земли

Средняя температура планеты определяется прежде всего величиной потока тепла, создаваемого Солнцем. Но при этом количество получаемого тепла зависит от еще одного фактора. Он называется «альbedo» планеты.

Альbedo – это физическая величина, характеризующая долю излучения, отражаемого поверхностью диффузным образом. Рис.13 показывает, что поверхность Земли – разноцветная. При этом для снега альbedo равно 0,9, для сажи составляет 0,04. Именно альbedo существенно меняет величину коэффициента теплообмена планеты γ , который использовался нами при расчете температур Венеры и Марса. Именно то, что мы не учли альbedo, создало существенную погрешность в проведенных нами расчетах.



Рис.13. Фотография Земли, сделанная астронавтами космического корабля «Аполлон 11» 20 июля 1969 года, продемонстрировала различные альbedo различных участков поверхности Земли

Солнечная постоянная легко устанавливается, она обратно пропорциональна квадрату расстояния планеты до Солнца, то есть она максимальна для раскаленного Меркурия и минимальна для замороженного Плутона. Что же касается альbedo, то планеты солнечной системы характеризуются совершенно различными значениями альbedo: оно минимально для поверхностей астероидов, для Меркурия и Луны, составляя примерно 0,1. Поверхность этих космических тел имеет черно-коричневый цвет. Максимальное значение альbedo фиксируется для «голубых» газовых планет Нептуна и

Урана (порядка 0,7). Венера также имеет альбедо около 0,7, поэтому она так ярко светится на ночном небе. Самым большим альбедо, превышающим 0.9, обладает спутник Сатурна Энцелад. Его поверхность покрыта льдом, отражающим свет, рис.14. В отличие от других планет, альбедо Земли резко меняется при переходе от одной точки ее поверхности к другой, рис.13. Ее поверхность представляет разноцветную мозаику: белые «шапки» полюсов, белые Гималаи, белые облака. Синие, зеленые, оранжевые пространства океанов, лесов и пустынь. При этом значения альбедо различных участков значительно отличаются друг от друга. В частности, снег и облака имеют альбедо 85-90%. Хвойный лес, лиственный лес, луга, поля, пустыни, скалы и т.д. характеризуются альбедо, меняющимися в широких пределах, от 5 до 25%. Как известно, две трети земной поверхности занимают океаны и моря. При этом их альбедо меняется от 5 до 10%, в зависимости от угла падения солнечных лучей и состояния водной поверхности. Альбедо зависит также от географической широты, оно максимально для полюса и минимально для экватора, при прочих равных условиях.

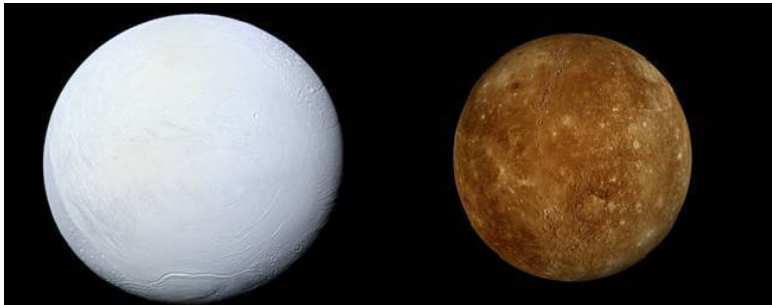


Рис.14 Спутник Сатурна Энцелад (слева) , https://img-fotki.yandex.ru/get/65488/214291281.bb/0_1da5cd_f2cf7b6f_orig.jpg и Меркурий, https://avatars.mds.yandex.net/get-zen_doc/3502204/pub_5eede402ea1f4f4969193095_5eede4312231600b3dbd40c_scale_1200

Таким образом, если некоторый район Земли покрыли облака, то общий приход тепла от Солнца уменьшится. Если море покрывается волнами, поглощение тепла усиливается. То же самое произойдет, если растает ледник на горах. И т.д.

Положительная обратная связь

Действие альбедо на климат возникает благодаря «положительной обратной связи». Что такое обратная связь? С действием положительной обратной связи можно столкнуться на музыкальных концертах. Существует всем известный эффект: внезапно музыкальные колонки начинают свистеть, гудеть и т.д.

Эти самопроизвольные помехи возникают благодаря положительной обратной связи между музыкальной колонкой и микрофоном, рис.13.

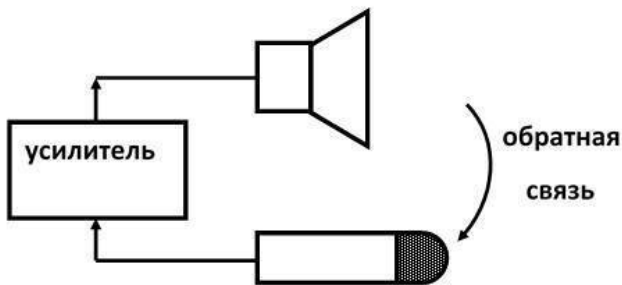


Рис. 15. Положительная обратная связь может возбудить колебания ауди-системы

Звук самовозбуждения возникает на определенной частоте. Период колебаний равен времени, которое необходимо, чтобы звуковая волна дошла от громкоговорителя до микрофона. То есть период колебаний должен быть равным расстоянию от источника до приемником звука. При этом возникает резонанс. Дополнительное условие самовозбуждения: коэффициент усиления должен компенсировать ослабление звука при движении по воздуху.

Существует в природе и отрицательная обратная связь — она направлена на компенсацию внешнего воздействия. Рассмотрим, например, движение самолета. Под действием восходящих и нисходящих полетов он должен изменять направление своего движения. Однако благодаря влиянию автопилота возникает отрицательная обратная связь, которая компенсирует действие ветров. Чем сильнее восходящий поток, тем сильнее руль самолета направляет его вниз.

Отрицательную обратную связь с климатом пустыни создают оазисы. Действие этой связи и механизмы формирования локального климат автор предлагает читателям самим найти в литературе.



Рис.16. Оазис Бискара в пустыне Сахара демонстрирует отрицательную обратную связь, которая компенсирует жаркий климат местности, <https://img.tourister.ru/files/6/7/6/0/1/7/3/original.jpg>

Важное отличие Земли от других планет состоит в том, что альbedo и климат нашей планеты способны создавать ощутимую положительную обратную связь.

Действие альbedo на возникновение или исчезновение ледникового периода означает следующее. Общее («эффек-

тивное») альbedo Земли определяется в значительной мере количеством заснеженных белых областей и белых облаков. Чем больше «белого», тем меньше тепла получает планета. В свою очередь, понижение средней температуры увеличивает общее количество снега. Таким образом возникает взаимо-формирующая связь альbedo и климата. То есть количество льда и облаков зависит от климата, а климат зависит от альbedo.

Вот так и возникает механизм роста ледников. Чем ниже температура, тем больше снега. Чем больше снега, тем выше альbedo. Чем выше альbedo, тем холоднее. Чем ниже температура... и т.д. В этой цепочке «положительной обратной связи» и заключен один из основных факторов оледенения. С точки зрения термодинамики этот процесс – синергетический, самоподдерживающийся.

При этом существует и обратная возможность. Чем теплее, тем меньше льда. Чем меньше льда, тем теплее и т.д. Таков один из механизмов разрушения ледниковой эпохи.

Однако до настоящего времени ведутся ожесточенные споры, почему

не сохраняются либо ледниковый, либо теплый климат, почему колебания климата существуют и почему их период равен примерно 100 тысяч лет.?

На рис.11 видно, что хорошо прослеживается период колебаний средней температуры Земли, примерно равный 100 тыс. лет. Должен существовать дополнительный фактор, дей-

ствующий на климат с указанным периодом. Таким механизмом может быть эффект прецессии, Миланковича. Рассмотрим его в следующем разделе.

Эффект прецессии

Сербский астрофизик М. Миланкович обратил внимание, что существует механизм, который с периодичностью 25 тысяч лет меняет освещение Солнцем южного полушария. В основе работы этого механизма лежат две особенности движения Земли по своей орбите, рис.17.

Во-первых, существует явление прецессии, которое заключается в том, что ось вращения Земли колеблется с периодом, примерно равным 25 тыс. лет. В частности, сейчас ось вращения «указывает» на Полярную звезду, а 12 тысяч лет назад она была направлена на звезду Вега, рис. 17.

Во-вторых, орбита Земли не круговая, а эллиптическая, то есть ее расстояние до Солнца в течение года меняется, в пределах 5 процентов. Схема движения Земли вокруг Солнца и изменения направления оси вращения представлена на рис.17.

Необходимо также учитывать, что южное полушарие Земли содержит больше океанов, чем северное. При этом океаны имеют в среднем меньшее альбедо, чем суша и поэтому южное полушарие лучше аккумулирует солнечное тепло. Кроме того, благодаря циркуляции течений на поверхности южных океанов не происходит их оледенение.

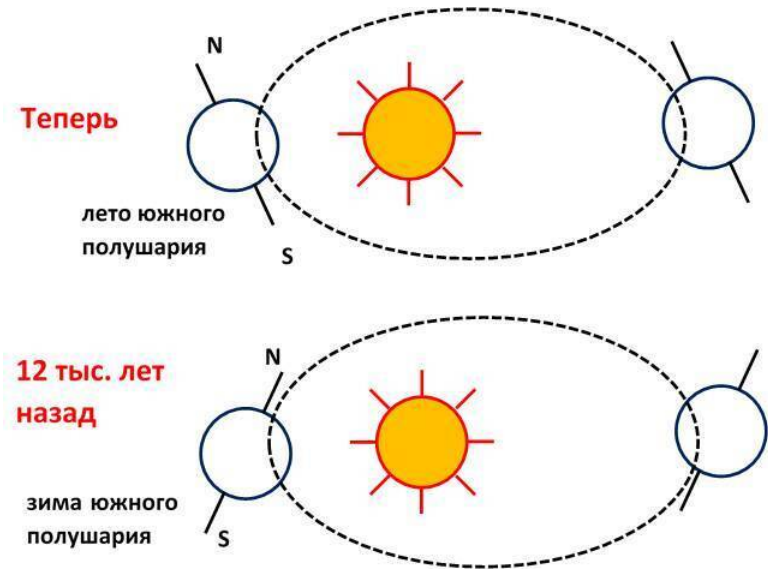


Рис.17. Схема движения Земли вокруг Солнца

На рисунке 17 можно видеть, что в настоящий период геологического времени Земли лето в южном полушарии – наиболее теплое за последние 12 тысяч лет. Таким образом, количество тепла, поглощаемого южными океанами Земли, колеблется с периодом, примерно равным 25 тысяч лет. Однако период чередования ледниковых периодов составляет около 100 тысяч лет, то есть в четыре раза больше. Все же, рассматривая внимательно рис.11, можно заметить колеба-

ния средней температуры с периодом 25 тысяч лет, однако лишь некоторые из потеплений реализуется в форме исчезновения ледников северного полушария. Почему? Причина связана, возможно, с наличием других механизмов климата. Важнейший среди них – парниковый эффект.

Эта тема – наиболее обсуждаемая в средствах информации, когда речь идет о климате. С механизмом парникового эффекта, создаваемого деятельностью людей, связываются наиболее существенные его изменения. Однако, в силу наличия значительного числа публикаций, мы ограничимся рассмотрением лишь ключевых эффектов.

Парниковые шубы планеты

На рис.18 представлены результаты последних измерений концентрации углекислого газа в атмосфере Земли, существовавшие в течение последних 400 тыс. лет. Их изменения сопоставляются с изменениями температуры, представленными выше, на рис.11.

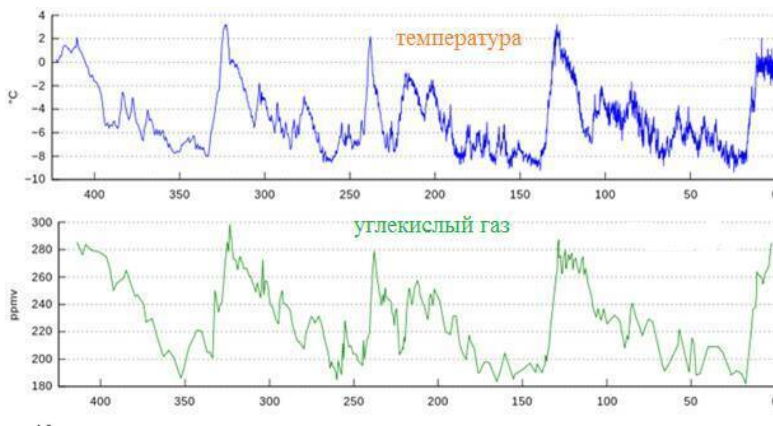


Рис.18. Изменения температуры (синие линии) и концентрации углекислого газа (зеленый цвет), Википедия

Рисунок показывает, что понижение температуры «синхронно» сопровождается уменьшением концентрации угле-

кислого газа, CO_2 . Отметим, что именно он считается одним из важнейших парниковых газов планет солнечной системы. Парниковый эффект состоит в следующем.

Поглощение солнечного тепла зависит еще и от действия атмосферы. Воздух прозрачен лишь для видимого света и радиоволн. Потому-то живые организмы и «выбрали», в процессе эволюции, этот диапазон электромагнитного излучения для своих органов зрения. В условиях Земли основное тепловое излучение относится к инфракрасному диапазону. Оно невидимо нами, но играет важнейшее значение для климата.

Самое существенное свойство ИК-излучения, это то, что оно поглощается в основном трех- и много-атомными газами. То есть кислород O_2 и азот N_2 прозрачны для него, а углекислый газ CO_2 , водные пары H_2O , озон O_3 , сернистый газ SO_2 сероводород H_2S и метан C H_4 – непрозрачны.

Рассмотренные трехатомные газы называются парниковыми, потому, что они позволяют накапливать энергию излучения Солнца на Земле так же, как полиэтиленовая пленка накапливает тепло в парнике на огороде. Действие этих газов объясняется тем, что видимые лучи проходят сквозь них и нагревают поверхность Земли (рис.19). Нагретая поверхность преобразует эту энергию в инфракрасное тепловое излучение. Далее парниковые газы задерживают инфракрасное излучение. Парниковые газы – это шуба Земли и Венеры. На Марсе так холодно, потому что там нет этой шубы.

Его поверхность – «голая».

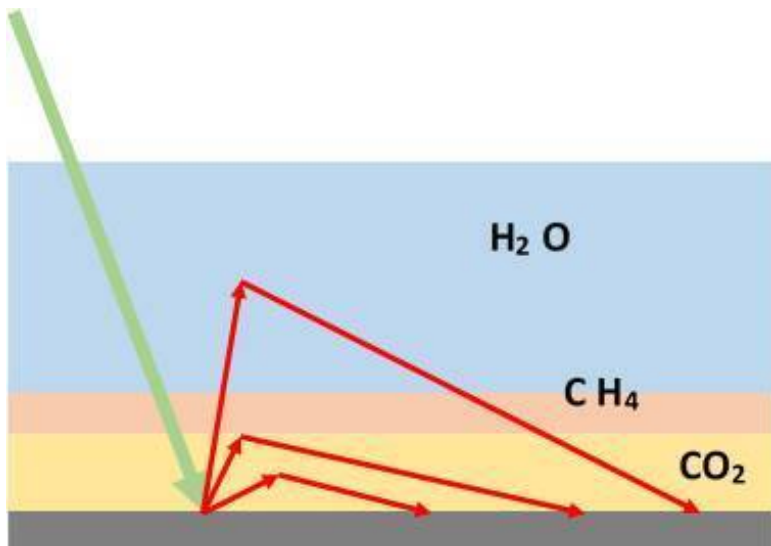


Рис.19. Схема действия парниковых газов, зеленая стрелка – видимый солнечный свет, красные стрелки – инфракрасное излучение

Эффект действия парниковых газов хорошо известен в практической деятельности людей. В частности, земледельцы перед заморозками зажигают костры в садах, создавая тепловую завесу в виде углекислого газа. Известен также прием обрызгивания садов водой. Пары воды – тоже парни-

КОВЫЙ газ.

Расчеты показывают, что если бы не было парниковых газов, то средняя температура Земли составляла бы около -20°C . В действительности же она равна $+14^{\circ}\text{C}$, то есть парниковый эффект приводит к её увеличению на 34°C . Подобным образом, разреженная поверхность Марса также получает добавку, связанную с парниковым эффектом, но она невелика, 8°C . Что касается Венеры, то по современным представлениям именно парниковый эффект и приводит к повышению ее температуры более чем на 500 градусов.

Сдует отметить, что атмосфера Земли содержит ничтожную часть общего количества углекислого газа Земли. В частности, в океанах растворено в сто раз большее его количество, чем в воздухе. Еще больше, на несколько порядков величины, его содержится в известняке, мраморе и доломите, в форме Ca CO_3 и Mg CO_3 , рис.20.

Влияние парниковых газов на изменения климата Земли обусловлено в частности тем, что углекислый газ обладает способностью поглощаться океанами и земной корой и покидать их. По мнению автора брошюры, важнейшая физическая проблема будущих исследований климатических катастроф – это необходимость математического описания процессов поглощения и обратного выделения углекислого газа.

Важнейшая особенность этого процесса – обратимость. Нетрудно (в заводских условиях) «газировать» обычную воду углекислым газом. В закрытой бутылке он никак себя не

проявляет. Однако, если открыть пробку, начнется бурное выделение пузырьков газа. Океанская вода также поглощает и выделяет углекислый газ.

Количество поглощаемой водой углекислоты зависит от температуры. При охлаждении газ абсорбируется, а при нагревании – выделяется. Океаны представляют огромные механизмы, которые могут либо поглощать CO_2 в глубинах океанов, либо извлекать их оттуда.



Рис.20. Альпы состоят из углекислого газа, заключенного в белом доломите, [https://1peak.ru/upload/iblock/25c/dolomites tre cime lavaredo italy.jpg](https://1peak.ru/upload/iblock/25c/dolomites_tre_cime_lavaredo_italy.jpg)

Кроме того, существуют механизмы превращения углекислого газа в твердые минералы, называемые карбонатами. Морские моллюски и кораллы поглощают углекислый газ и строят из него свои панцири, состоящие из солей кальция и магния. Отмершие остатки живых организмов превращаются в течение миллионов лет в известняк и мрамор. Существуют и химические реакции образования карбонатов, <https://www.geolib.net/lithology/karbonatnye-porody.html> .

Можно сделать вывод, что выделение достаточного количества углекислого газа из океанов может прекращать очередной ледниковый период. Однако известно, что такие процессы, так же как возникновение ураганов до сих пор является математически непредсказуемым синергетическим явлением.

Более подробное описание механизмов движения углекислого газа в атмосфере и в гидросфере Земли выходит за рамки настоящей брошюры. Обратимся далее к следующему механизму, обнаруженному десять лет назад – процессам накопления и разложения метан-гидратов.

Метан-гидратное ружье

Метан $C H_4$ – парниковый газ, на порядок более мощный, чем углекислый газ. Он образуется в процессах гниения растительных и других органических остатков. В последние годы экологи обнаружили, что «вечная» мерзлота Сибири содержит огромные запасы «законсервированного» метана. Дело в том, что этот газ при низких температурах способен химически соединиться с водой, образуя твердое аморфное вещество «метан-гидрат», похожее внешне на парафин. При нагреве выше 7 градусов Цельсия он разлагается, выделяя исходные метан и воду.



Рис.21. Воронка после «взрыва» метангидрата, <https://www.techcult.ru/science/8721-na-yamale-najden-gigantskij-proval-v-zemle>

В некоторых случаях это происходит взрывным образом, создавая воронки, изображенные на рис.21. На краю воронки видны исследователи. Работы экологов последних лет показали, что приполярная тундра в настоящее время выделяет повышенное количество метана.

Поиск метан-гидратов по всей нашей планете привел к выводу, что дно океанов в настоящее время является хранилищем огромных количеств метана. Его возможным источником послужили реки, которые в течение сотен тысяч лет сбрасывали в океан органические остатки. Их гниение на глубине, превышающей 250 метров, приводило к формированию слоев метан-гидрата.

При этом существуют две новости. Первая – хорошая. Она означает, что человечество имеет альтернативный источник углеводородов. Их разведанные количества в два раза превышают нефтяные, рис,22. Плохая новость – возможно их внезапное разложение, имеющее взрывной характер. Геофизики назвали это вероятное происшествие – «метан-гидратное ружье». При этом возможны глобальные пожары на побережье океанов и дальнейшее глобальное потепление. Существует предположение, что гибель мамонтов

и культуры Кловис в Америке 13 тыс. лет назад связана с метеоритом и катастрофическим горением метана, https://rgdn.info/gibel_kultury_klovis_i_zagadka_pozdnego_driasa .

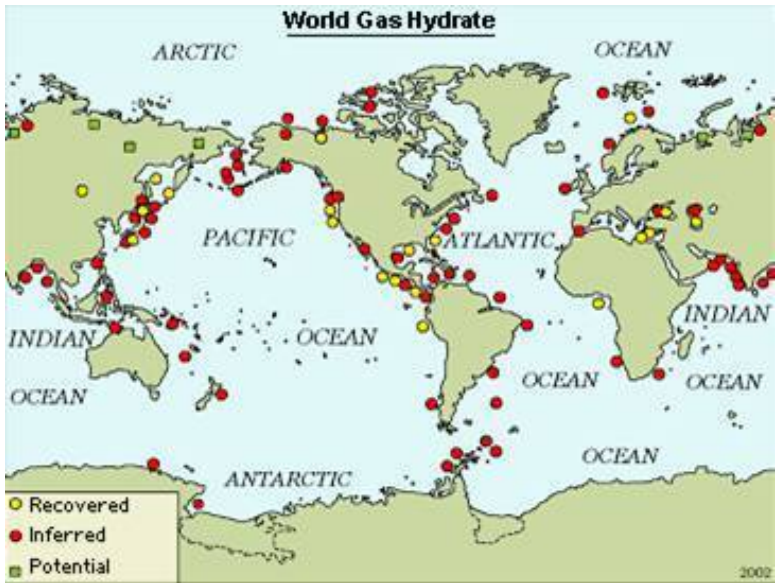


Рис.22. Месторождения метан-гидратов в море и на суше, красные и желтые точки, соответственно, Википедия

Солнечный ветер

Существует невидимый глазом источник тепла, изменение которого приводило к катастрофе, которая называется «Малый ледниковый период». На рис.23 изображена река

Темза в районе Вестминстерского аббатства. Сверху – копия картины Абрахама Хондиуса, внизу – современная фотография. Характерная башня аббатства видна на обоих изображениях, но разница в климате Англии – поразительная!

Во всей Европе в 16-м -17-м веках в Европе был жуткий голод, длившийся 40 лет. Он был вызван тем, что резко похолодало. По 2-3 года подряд не бывало лета и, соответственно, урожая. Люди ели друг друга из-за голода, а не в силу своей испорченности. На Руси тоже был голод, беспорядки. Бориса Годунова убили не за царевича Димитрия, а потому что на Руси был голод. Годунов был великим государем. Его гибель привела к страшным историческим последствиям – Смутному Времени, завоеванию Москвы поляками, гибели сотен тысяч людей, разрушению государства и экономики.

Следует отметить, что похолодание, выраженное в средней на Земле температуре, составило всего лишь один градус! Вернемся к рис.11. Изменение температуры при этой климатической катастрофе на графике не заметно, оно маскируется «дрожанием» температуры возле точки «0».

Существует теория, что Малый ледниковый период связан с «Маундеровским минимумом» активности Солнца. В это время практически отсутствовали пятна на Солнце. В свою очередь, активность Солнца астрофизики связывают с интенсивностью солнечного ветра.



Рис.23. Один и тот же участок Темзы, Англия, зимой 1677 и зимой 2019 годов, https://www.higgypop.com/assets/588cea64cf059_1485630052_0.jpg

Солнечный ветер – это поток заряженных частиц, протонов и электронов, выбрасываемых вихрями плазмы, постоянно возникающими и исчезающими в верхней оболочке Солнца. При этом наше светило уподобляется огромному «синхрофазотрону», создающему смертоносные потоки заряженных частиц. Солнечный ветер, врываясь в атмосферу Земли, создает полярные сияния и радиационные пояса – накопители солнечного ветра, способные убить космонавтов. В период активности Солнца возникают помехи в радиосвязи и интернете. Солнечный ветер отбрасывает хвосты комет. Можно утверждать, что он является мощным потоком энергии. Существует теория, что если на Солнце исчезают пятна, то на Земле понижается температура.

Существует предположение, что солнечный ветер уничтожил атмосферу Марса. Более подробное описание свойств и происхождения солнечного ветра можно найти в электронной брошюре автора «Солнечный ветер, 2008», <https://www.dropbox.com/s/obb911uybygdm1t/s6.doc?dl=0> . Цитируемое издание использовалось для организации учебных занятий по физике студентов УГТУ-УПИ, УрФУ и ЕАСИ, г. Екатеринбург, в 2008-2016 годах. Кроме того, современные сведения об этом важном явлении можно получить путем прямого поиска в интернете и на сайте МГУ <http://www.astronet.ru/> .

Взрывы вулканов, астероидов и ядерных бомб

Резкие, ограниченные во времени изменения климата могут происходить в результате изменений прозрачности атмосферы. Их могут вызвать, в частности, взрывы супервулканов.



Рис.24. Извержение небольшого вулкана, [https://
cdn.fishki.net/upload/
post/201509/06/1653340/6db0581a45ce8fcf20908c607c49c16](https://cdn.fishki.net/upload/post/201509/06/1653340/6db0581a45ce8fcf20908c607c49c16)

Что такое «супервулкан»? На рис.24 представлена фотография извержения одного из постоянно действующих на поверхности Земли вулканов. Но это – очень маленький вулкан. Его извержение не способно повлиять климат нашей планеты. Для возникновения климатической катастрофы необходимы извержения значительно большей мощности.

Одно из самых известных извержений было создано Везувием в 79 году н.э. При этом был полностью погребен под раскаленным пеплом цветущий город Римской империи Помпея. Но этот катаклизм также имел локальный характер.

Для оценки мощности извержения используется шкала VEI (от англ. Volcanic Explosivity Index). Измеряемой величиной служит объем выброшенных вулканических пепла и газов. Изменение объема в 10 раз соответствует сдвигу по шкале VEI на единицу. В частности, извержение Везувия сопровождалось выбросом 1 км^3 «тефры» и квалифицируется 5-м рангом VEI, а Санторин, уничтоживший Минойскую цивилизацию на острове Крит примерно в 1600-1700 гг. до н. э., изверг 100 км^3 , то есть имел мощность 7 баллов. Супервулканам присваивается высший индекс 8. К ним относится, в частности, Йеллоусоун, расположенный в Северной Америке. Его взрыв 2 млн л. до н. э. выбросил 2500 км^3 раскаленного пепла, который покрыл четверть территории Северной Америки.



Рис.25. Картина К. Брюллова «Последний день Помпеи».

Наиболее близкий к нашему времени взрыв супервулкана Тоба произошел на о. Суматра, Индонезия, в 70-77 тыс. л. назад. В результате этого происшествия на Земле в течение 6-10 лет шли сернистые дожди и продолжалась вулканическая зима. Это же послужило причиной последующего тысячелетнего похолодания. По мнению некоторых ученых произошло явление «бутылочного горлышка», когда численность предков людей сократилась до критических 2-х тысяч особей.

Вулканическая деятельность приводит к двум трендам изменения климата. Пепел и капли серной кислоты поглощают солнечный свет и ведут к похолоданию. Появление же парни-

ковых газов, углекислого, сернистого и других – к потеплению. Крайнюю степень глобального потепления демонстрирует климат Венеры. Радиолокационные наблюдения позволили обнаружить на ее поверхности огромное (10^5 - 10^6) количество потухших и действующих вулканов, рис. 26.

Высказано предположение, что некое событие, происшедшее 500 миллионов лет назад, вызвало расплавление поверхности Венеры и создало атмосферу, состоящую на 97% из парниковых газов CO_2 и SO_2 .

Помимо вулканов, выбросы пыли, вызывающие катастрофические похолодания, могут вызываться также падением на Землю астероидов или комет. Комплекс процессов, возникающих при столкновении, называется «импактным событием». Мощность события определяется размером небесного тела. Установлено, что астероид размером 200 м способен разрушить жизнь людей на территории целого континента. Последствием падения являются ударная волна, термическое воздействие и выброс пыли.

Падение крупных астероидов в истории Земли неоднократно приводило к экологическим катастрофам. Классическим является сценарий падения астероида 65 млн. лет назад, который, по-видимому, привел к гибели динозавров.

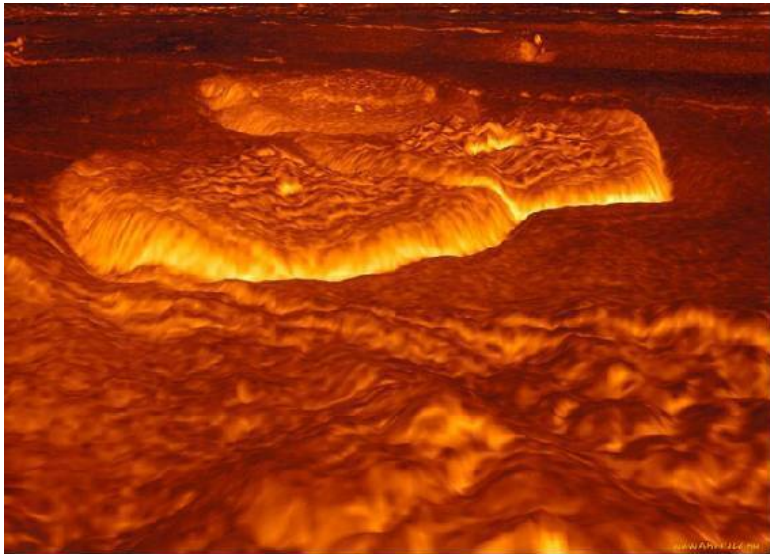


Рис. 26. Фотография вулканической поверхности Венеры, [https://i.artfile.ru/1152x864_161100 \[www.ArtFile.ru\].jpg](https://i.artfile.ru/1152x864_161100_[www.ArtFile.ru].jpg)

Из всех известных, наибольшую опасность для Земли представляет в настоящее время астероид Апофис диаметром около 300 м. Он пролетит мимо Земли в 2036 году. Правда, столкновение считается маловероятным. Однако пояс астероидов и облако Оорта являются постоянным источником новых опасных астероидов и комет. В настоящее время разрабатываются мероприятия по обнаружению новых, более опасных космических объектов, а также воз-

возможные меры воздействия на них.

Климатическое воздействие взрыва мощной ядерной бомбы называется «ядерная зима». По расчетам климатологов, она может развиться в результате широкомасштабной ядерной войны. Его климатическое действие подобно мощному импакту.

Профессор В.В. Александров и академик Н.Н.Моисеев в 1983 году при помощи биосферной математической модели «Гея» сделали прогноз последствий применения мощных ядерных зарядов. Они показали, что при суммарной мощности ядерных взрывов в 10 000 мегатонн солнечный поток у поверхности Земли сократится в 400 раз, возникнет глобальная ядерная ночь. Время самоочищения атмосферы составит приблизительно 3-4 месяца. В отдельных районах Земли похолодание может достигнуть 30-50 градусов! Правда, применение десяти тысяч ядерных боеприпасов по одной мегатонне каждая – достаточно проблематичный сценарий. Но проверять не хотелось бы.

Синергетика Гольфстрима и других потоков

Резкое похолодание зимы 2021-го года заставило исследователей обратить внимание на крайнюю неустойчивость системы ветров и океанских течений Земли. Основные течения представлены на схеме рис.27.



Рис.26. Циркуляция океанских течений, красные – теплые, синие – холодные воды, https://www.kp.ru/daily/27245.5/4374098/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

Важнейшая особенность циркуляции воздуха и воды на Земле (и других планетах) – синергетический характер их возникновения. Наиболее известное из таких течений – Гольфстрим. Он называется «грелка Европы», потому что переносит тепло от экватора к Северной Америке и Европе. Течение возникает самопроизвольно. Нельзя найти каких-либо насосов или других машин, которые перекачивают воду в Атлантике, на протяжении нескольких тысяч километров. Существуют и иные течения, в частности, Куро-сио в Тихом океане и т.д.. Существуют и воздушные синергетические структуры: сезонные ветра, циклоны, антициклоны, ураганы, пассаты, ячейки, струйные течения и множество других.

Подробное описание процессов возникновения циркуляции воды и воздуха на поверхности Земли, требует отдельной книги. Отметим лишь, что они возникают синергетически, то есть самопроизвольно, катастрофично и непредсказуемо. Одной из научных сенсаций последних лет послужила теория возможной остановки Гольфстрима и последующего охлаждения северных областей Европы и Америки. Согласно этой теории в ближайшие 500 лет может произойти формирование нового ледникового периода, https://www.kp.ru/daily/27245.5/4374098/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com .

Заключение

Тема «Климатические катастрофы» использовалась ранее автором для проведения самостоятельных занятий студентов ряда вузов Екатеринбурга: УрФУ, ЕАСИ и УрТИСИ, реализуемых как в аудиторном, так и в удаленном (для заочников) форматах. Ряд особенностей предлагаемой методики подробно отражен в статье автора: «Sachkov, I., Kuanishev, V., Turygina, V., Ford, V., & Matkovskaya, A. (2019). Methods of introducing scientific achievements over the last seven years into the physics course. CEUR Workshop Proceedings, 2562, 185-191».

Текст предыдущей редакции удаленного занятия по настоящей теме можно найти в файле <https://www.dropbox.com/s/om5mms6rw0kcfs3/k1.docx?dl=0>, в котором отражены научные данные по состоянию на 2019 год. В настоящей брошюре представлены новые сведения о климатических катастрофах, полученные в основном в последние два года. Более давние материалы скорректированы. По мнению автора, бурное развитие науки, в частности физики, требует регулярной корректировки учебных материалов.

Контрольные вопросы

Автор предлагает читателю вернуться к тексту и освежить восприятие, поискав ответы на следующие вопросы.

1. Во сколько раз средняя абсолютная температура на поверхности Венеры отличается от температуры Земли?
2. В чем особенности климата Марса?
3. Назовите три примера синергетических процессов.
4. В какой период времени происходило Валдайское оледенение?
5. Во сколько раз отличается альbedo поверхности, покрытой сажой, от снеговой?
6. Почему звук самовозбуждения аудио-системы (например, свист) возникает на определенной частоте?
7. Что такое явление прецессии?
8. Какие из перечисленных газов являются парниковыми: кислород, углекислый газ, водяные пары, азот? Почему?
9. Как образуется метан-гидрат?
10. Из каких частиц состоит солнечный ветер?
11. Что такое супервулкан? Чем он отличается от обычного вулкана?
12. В каком океане течет Гольфстрим?

Сведения об авторе

Автор настоящей брошюры – Сачков Игорь Николаевич, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры «Анализа систем» Уральского Федерального Университета. Автор более 150 научных работ.

В 1971 году окончил физико-технический факультет УПИ, г. Свердловск. Первая научная работа опубликована в 1968 году. В 1980-м году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную методам исследования магнитных структур с помощью ядерного гамма-резонанса и методам обработки экспериментальных данных с помощью ЭВМ. В 2000-м году защитил докторскую диссертацию, в которой создал новый подход для описания процессов, происходящих в неоднородных материалах, основанный на использовании FEM-технологий.

Автор более десяти учебных пособий, в частности неоднократно переизданной книги «Электромагнетизм: эффекты, история, парадигма», издательство УРСС, г. Москва.

Научные работы последних пяти лет посвящены исследованию различных синергетических процессов.

Литература

Наиболее интересные, с точки зрения автора, ссылки на литературу по теме «Климатические катастрофы» были приведены в тексте. Ниже представлена дополнительная литература, отражающая напряженные дискуссии исследователей.

[1]. Клименко В.В. Глобальные изменения климата: Что ждет Россию? <https://polit.ru/article/2005/01/12/klim/>

[2]. Шац М.М. Современное изменение климата севера РФ. Тенденции и последствия. <https://www.geoinfo.ru/product/shac-mark-mihajlovich/sovremennoe-izmenenie-klimata-severa-rf-tendencii-i-posledstviya-35141.shtml>

[3]. Будет горячо. Адская жара, массовые вымирания и леса в огне: чего ждать от глобального потепления. <https://lenta.ru/articles/2020/02/09/hot/>

[4]. «Нас хотят одурачить!». Александр Городницкий – о природных катастрофах

<https://aif.ru/society/ecology/nas-hotyat-odurachit-aleksandr-gorodnickiy-o-prirodnih-katastrafah>
[utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com](https://aif.ru/society/ecology/nas-hotyat-odurachit-aleksandr-gorodnickiy-o-prirodnih-katastrafah)

[5]. Ю. Латынина. Что такое «хоккейная клюшка». История самого крупного научного фейка XX столетия

<https://novayagazeta.ru/articles/2020/01/06/83362-tserkov-globalnogo-potepleniya>

[6]. Черноскульский против Латыниной. Почему заговор климатологов – это миф. Часть 1

<https://zen.yandex.ru/media/nplus1/pochemu-zagovor-klimatologov-eto-mif-chast-1-5e3bdeebdbce524af1353fb3>

[7]. Как менялся климат Земли. <https://www.gismeteo.ru/news/weather/kak-menyalsya-klimat-zemli/>

[8]. Земля имела атмосферу Марса – и поэтому не станет Венерой

https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fnaked-science.ru%2Farticle%2Fsci%2Fzemlya-imela-atmosferu-marsa-i-poetomu-ne-stanet-veneroj&promo=navbar&utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

[9]. Угроза – внутри Земли: раскрыта тайна Ямальского кратера

https://life.ru/p/1382574?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

[10]. Гигантские бассейны метана обнаружены под дном океана

<https://zen.yandex.ru/media/geologika/gigantskie-basseiny-metana-obnarujeny-pod-dnom-okeana-5d6e86171e8e3f00ac7b0332>

[11]. НАСА: изменение климата происходит из-за отклонения Земли от орбиты вращения вокруг Солнца.

<https://zen.yandex.ru/media/id/5b8bc803163eff00ab6b1b62/nasa-izmenenie-klimata->

proishodit-izza-otkloneniia-zemli-ot-orbity-vrasceniia-vokrug-solnca-5dad5d8398930900ad053b0e

[12]. С. Васильев. Древнее глобальное потепление связано с изменениями орбиты Земли.

https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fnaked-science.ru%2Farticle%2Fastronomy%2Fdrevnee-globalnoe-poteplenie&promo=navbar&utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

[13]. Подтверждена необычная причина разгрома Наполеона.

<https://lenta.ru/news/2019/09/18/tambora/>

[14]. Америка замерзает. И обвиняет Россию в тайном применении климатического оружия. <https://www.kp.ru/daily/27243/4371142/>

[15]. Феномен городского острова тепла. http://zvt.abok.ru/articles/240/Fenomen_gorodskogo_ostrova_teplo