

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Адольф Филиппов

Неуклонное повышение температуры воздуха и океана в последние десятилетия - глобальное потепление - определило тот факт, что проблема изменения климата стала в настоящее время важнейшей в науках о Земле. Количество работ по этой проблеме огромно. Так, в недавних монографиях М. И. Будыко /1/ и А. С. Мониной /2/ цитируется более 500 публикаций. В США новейшая информация приводится в авторитетной серии *Globa Warming* /4-9/.

Научное значение проблемы очевидно. Признание антропогенной природы потепления делает необходимой перестройку глобальных энергетических систем и экономики многих стран.

В предлагаемом докладе рассмотрены геофизические аспекты изменения климата.

Огромный поток информации о климатической системе позволяет отойти от прежнего определения климата, как среднего многолетнего режима погод региона. По современным представлениям климат – это статистический ансамбль состояний климатической системы, под которой понимается не только атмосфера, но и гидросфера и литосфера Земли /2/. В силу большой инерционности климатической системы, понятие климата имеет смысл только для временных интервалов более десятилетий.

Напомним, что климатообразующими факторами являются:

- ❖ *Лучистая энергия Солнца.* Она определяет суточные и годовые изменения метеовеличин, зональность природных комплексов и связь климата с астрономическими факторами.
- ❖ Структура подстилающей поверхности. С ней связаны микроклимат, высотная поясность, климат горных стран, океанов и полярных областей.
- ❖ Океанические течения и циркуляционные процессы в атмосфере, определяющие глобальный перенос тепла и влаги.

Мы не рассматриваем отдельно астрономические факторы, поскольку они формируют циклы большой длительности. В частности, климатический оптимум Голоцена 4 - 2,5 тысячи лет до новой эры или средневековый тёплый период 10 - 14 веков, отделённый "малым ледниковым периодом" от потепления нашего времени и т.п.

Главным источником энергии для всех процессов на Земле служит поток лучистой энергии от фотосферы Солнца /12/. За пределами атмосферы он равен 1360 Вт/кв. метр. Многочисленными измерениями у земли и со спутников не обнаружены существенные изменения этой величины, поэтому она названа "солнечной постоянной".

Спектр солнечной радиации включает область ультрафиолетового излучения от 0,20 до 0,40 мкм (7 % от общего потока), видимое излучение длиной волны 0,40 - 0,76 мкм (46 %) и инфракрасную область 0,76 - 24 мкм (47 %). Ультрафиолетовая часть спектра, хотя и определяет поведение стратосферы, озона и температуру стратосферы, в климатических изменениях существенной роли не играет. Поэтому мы рассматриваем только энергию видимого и инфракрасного излучения.

Пространственно - временное распределение лучистой энергии является главным фактором в поведении климатической системы.

Этот фактор детально исследован в теории "солнечного климата" Миланковича /11/ - модели потоков энергии на земле без учёта атмосферы. Однако, от инсоляции до температуры воздуха и земной поверхности лежит сложный путь отражения, поглощения и переизлучения радиации и циркуляции атмосферы и океана.

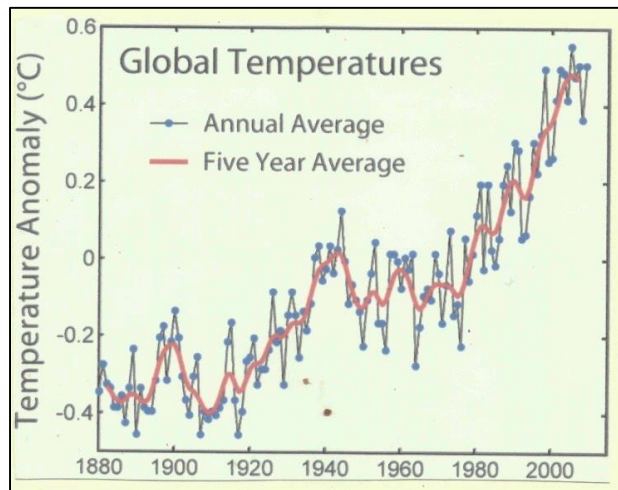
Падающий на планету поток лучистой энергии примерно на 50% отражается от облаков, 18-25 % поглощается атмосферой. Основными поглотителями энергии являются

водяной пар, углекислый газ, озон, кислород, метан, закись азота и галоуглероды. Поглощение носит селективный характер. Кислород и озон сильно поглощают ультрафиолетовую часть спектра, формируя тёплую часть атмосферы - стратосферу.

Углекислый газ и водяной пар поглощают инфракрасную часть солнечного спектра и длинноволновое излучение земли и атмосферы. Суммарное поглощение этими газами особенно велико в широком диапазоне от 4 до 40 мкм. Радиация здесь поглощается почти полностью и формирует рассмотренный ниже оранжерейный эффект. Неселективным поглотителем лучистой энергии является аэрозоль вулканического и антропогенного происхождения.

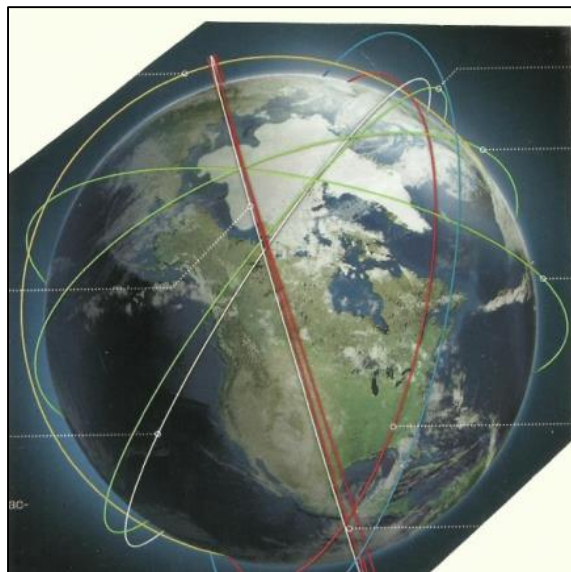
В рамках настоящего доклада наибольший интерес представляет баланс лучистой энергии в системе атмосфера-земная поверхность.

Итог преобразования лучистой энергии на земной поверхности - радиационный баланс - всегда положителен, т.е. поверхность суши и океана преимущественно получает энергию. Атмосфера же преимущественно отдаёт энергию в космос и к земле. Суммарный баланс системы положителен в низких широтах (от экватора до примерно 40 градусов широты каждого полушария) и отрицателен в более высоких широтах и в полярных областях /12/.



С точки зрения термодинамики, мы имеем глобальную тепловую машину с нагревателем в тропиках и холодильником в субполярных областях. Результатом действия этой машины служат циркуляция атмосферы и океанические течения.

Глобальное повышение температуры атмосферы и океана в последние десятилетия экспериментально подтверждается данными мировой сети метеостанций и детальной спутниковой информацией (Рис.1).



Глобальное увеличение температуры атмосферы и океана в последние десятилетия подтверждается экспериментально анализом данных мировой сети метеостанций и детальными спутниковыми измерениями. Неоспоримым подтверждением потепления служит интенсивное таяние полярных льдов и глетчеров.

Рис.1.

Несомненным доказательством потепления служит также интенсивное таяние полярных льдов и глетчеров (Рис.2).

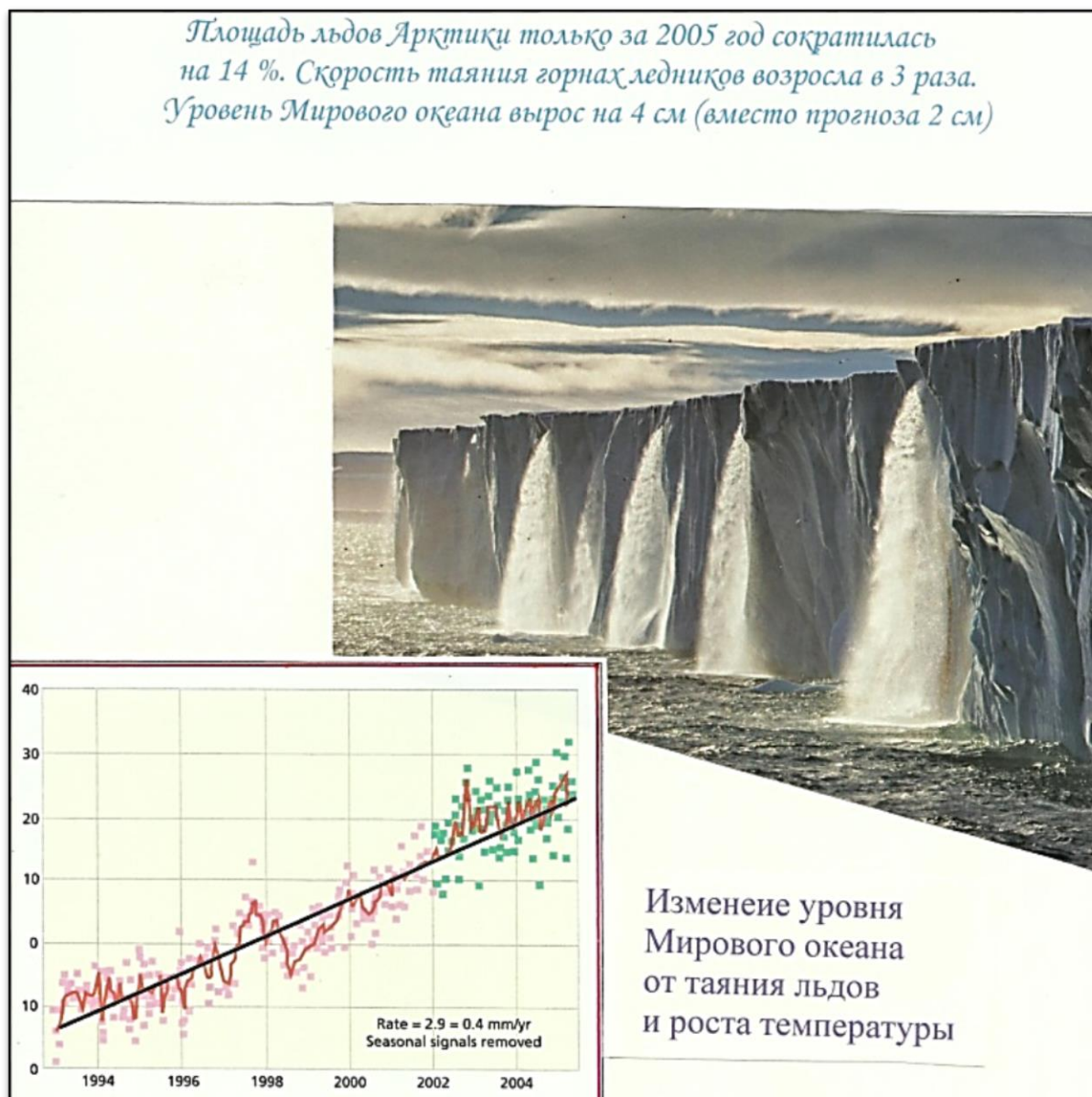


Рис. 2.

Если сам факт глобального потепления установлен однозначно, то о физическом его механизме единого мнения в научном сообществе нет. Правда, начиная с работ Аррениуса /по 7/, наиболее аргументированной является гипотеза оранжерейного эффекта лучистой энергии. Вместе с тем, есть и другие крупномасштабные процессы в атмосфере и океане, которые могут существенно влиять на климат. Примером может служить известное атлантическое течение Гольфстрим (Рис.3).

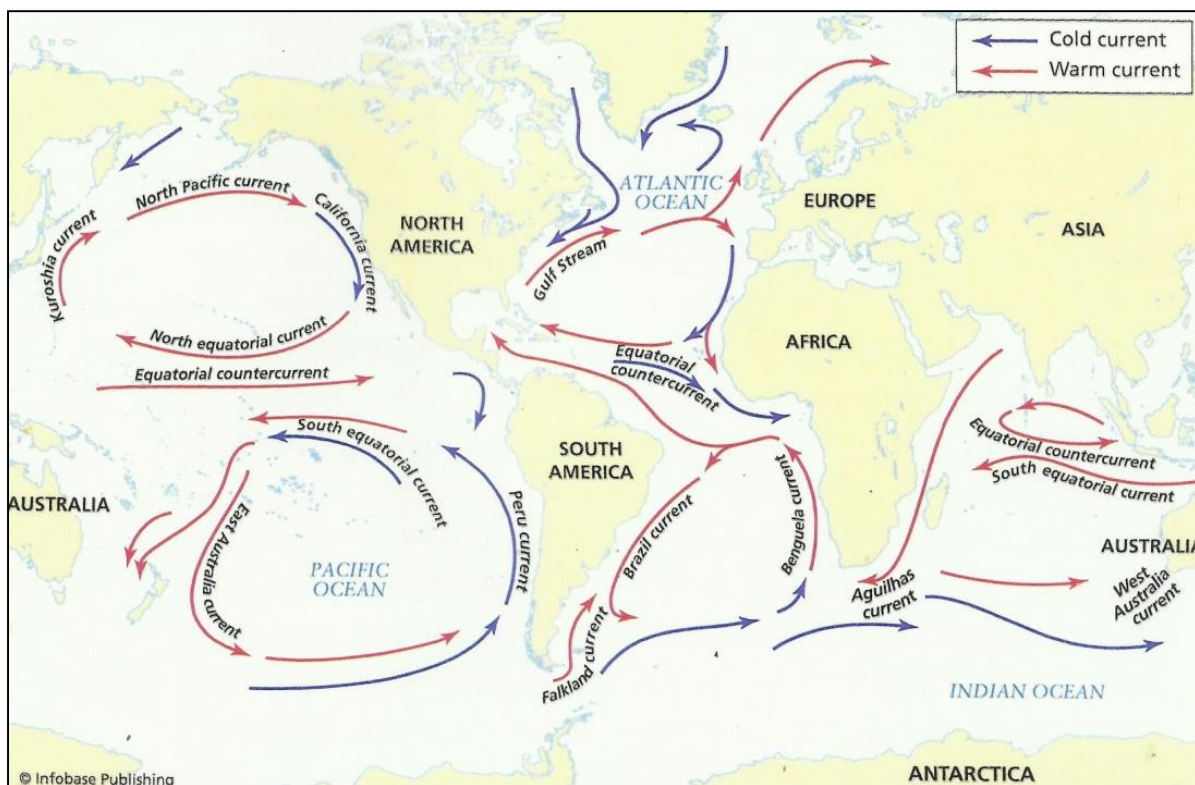


Рис. 3.

Современная океанология под Гольфстримом понимает обширную систему тёплых течений в центральной и северной частях Атлантики от Флориды до Скандинавского полуострова, Баренцева моря и Ледовитого океана /13/. Оно возникает при нагоне избыточного количества воды в Карибское море тропическими пассатами. Вначале это тёплое Флоридское течение, выходящее в Атлантический океан через пролив между Кубой и Флоридой. Возле Багамских островов течение соединяется с Антильским и движется вдоль берегов Северной Америки. На широте Северной Каролины Гольфстрим поворачивает в океан. Здесь его расход воды в 20 раз превышает все реки мира, а тепловая мощность составляет $1,4 \cdot 10^{15}$ в степени 15 Ватт, что в 700 раз превышает энергию всех электростанций мира. На расстоянии около 1500 км Гольфстрим сталкивается с холодным Лабрадорским течением и далее пересекает океан, двигаясь к северной Европе. Тепловое влияние Гольфстрима на климат Европы огромно. Достаточно сказать, что средние температуры воздуха зимой в Англии, Норвегии, Дании равны минус 8 - 12 градусов по Цельсию, а на той же широте в Якутии морозы достигают 40 и ниже градусов. По прогнозам климатологов, подъём уровня и опреснение океана может изменить траекторию Гольфстрима, что приведёт к похолоданию в Европе. Примером другого крупномасштабного термодинамического процесса служит южная осцилляция - тёплое течение Эль-Ниньо (и холодное Ла-Ниньо) в Тихом океане (Рис.4).

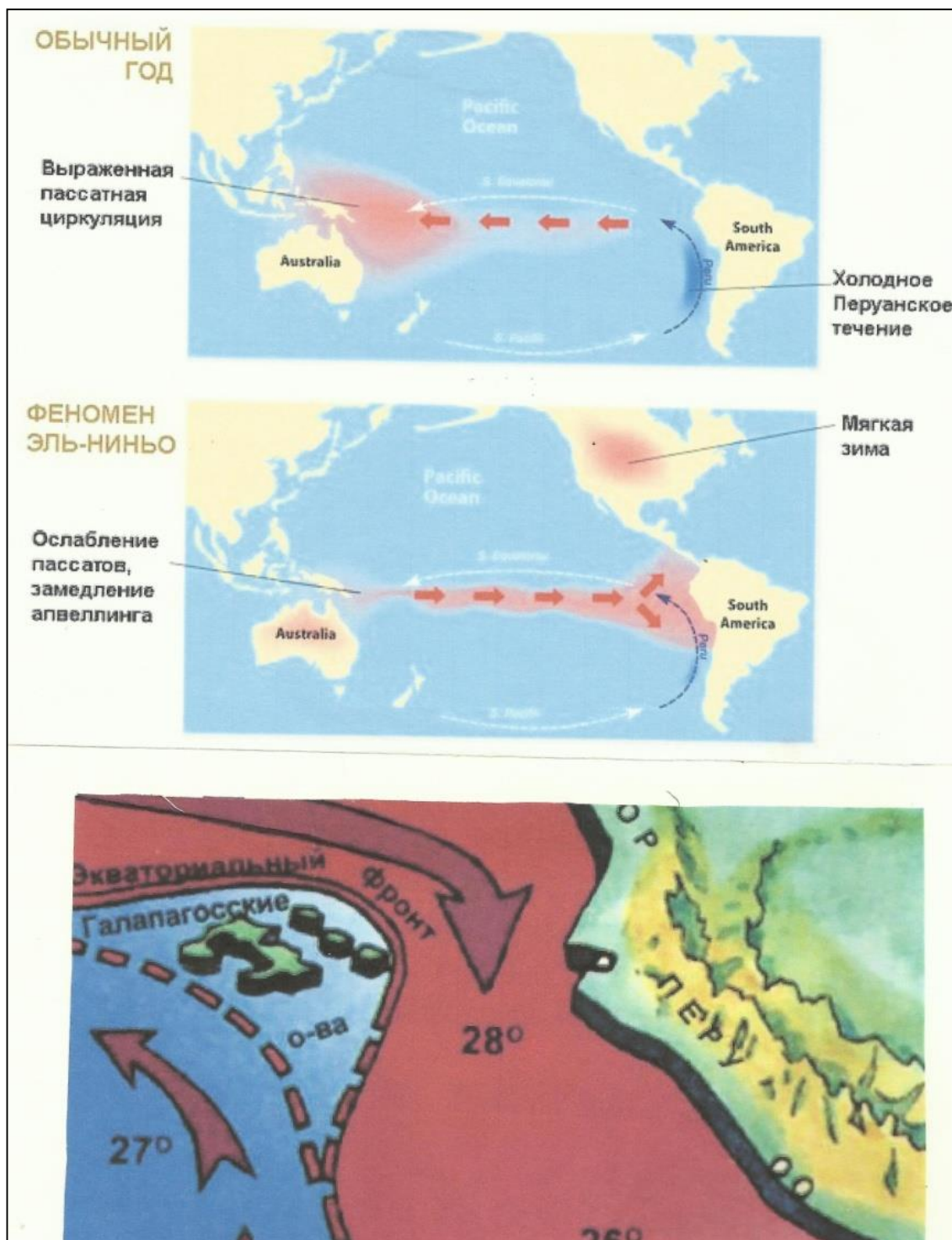


Рис.4

При обычном режиме тёплые поверхностные воды океана переносятся и удерживаются восточным пассатом. В западной части Тихого океана возникает огромный резервуар тёплой воды с толщиной слоя до 200 метров. Нагон воды создаёт уровень океана у Индонезии на 60 метров выше, чем у Южной Америки. Это приводит к появлению мощного тёплого течения Эль-Ниньо к Южной Америке. По неизвестной пока причине такой процесс повторяется через 2-7 лет и сопровождается тёплыми зимами в Северной Америке [2].

Мировой Океан по огромным тепловым запасам и системе течений может рассматриваться как фактор изменения климата. Однако, в настоящее время физически

наиболее обоснованной является гипотеза оранжевого эффекта, связанного с избирательным поглощением теплового излучения земной поверхности, так называемыми парниковыми газами (Рис.5).

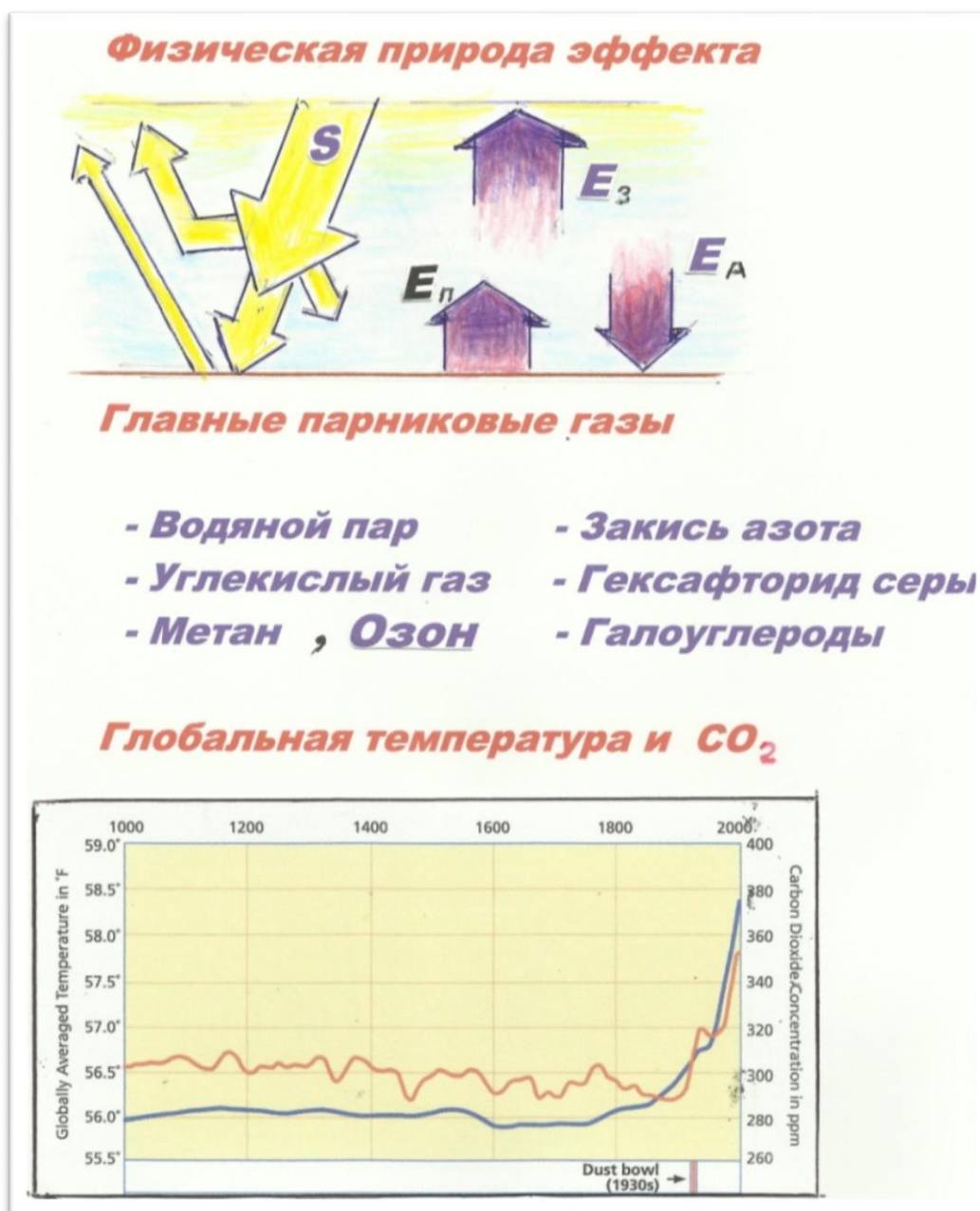


Рис.5.

Суть явления состоит в том, что атмосфера Земли в значительной мере прозрачна для солнечного излучения. Оно нагревает поверхность суши и океана и формирует тепловое излучение, которое поглощается газовыми компонентами воздуха - водяным паром, углекислым газом, метаном, закисью азота, гексафторидом серы, галоуглеродами. Их вклад в поглощение тепловой радиации различен. Экспериментально установлена высокая корреляция глобальной температуры с концентрацией углекислого газа. Другие газы могут поглощать радиацию гораздо сильнее. Например, поглощательная способность метана в 20 раз больше чем у углекислого газа, а гексафторид серы (возникающий в электронной промышленности) поглощает инфракрасное излучение в 24 тысячи сильнее углекислого газа и т.п. Однако, концентрация этих газов в атмосфере пренебрежимо мала и при

современном уровне промышленного производства заметной роли в глобальном потеплении они не играют. Поэтому большинство экспериментов и математических моделей изменения климата основаны на анализе парникового эффекта углекислого газа антропогенной природы.

Оппоненты гипотезы парникового эффекта углекислоты приводят данные об изменении климата прошлых эпох до возникновения человека. Не останавливаясь на обсуждении всех точек зрения, отметим, что в геологическом прошлом длительные климатические вариации могли быть связаны с периодами активной вулканической деятельности, с возникновением и таянием ледников, с дрейфом континентов, изменением параметров орбиты Земли и т.д. По принятой классификации, мы рассматриваем так называемые современные колебания климата - процессы длительностью нескольких тысяч и сотен лет, в которых роль геологических факторов, вероятно, невелика. Наиболее достоверным индикатором климата в последние тысячелетия является дендрохронологическая реставрация "Тропа Мафусаила" по годовым кольцам прироста остистых сосен в Калифорнии (Рис.6).

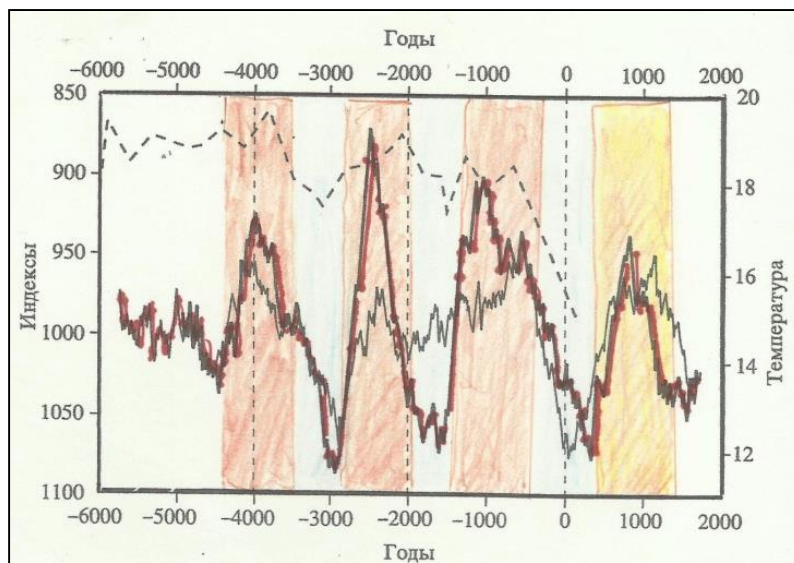


Рис.6 .

Она отражает колебания климата за период Среднего и Позднего Голоцена (6000 лет до н.э.). Выявлены циклы с периодами от 70 до 800 и 1300-1900 лет. Статистически значимым является цикл 1600 -летнего колебания, со Средневекового теплого времени (10-15 века) до Малого Ледникового Периода (15-19 века) и современного Глобального Потепления. Автором на основе автокорреляционного анализа

выявлен 55-60-летний цикл в изменениях глобальной

температуры в последнем столетии. Любопытно, что такой же период имеют колебания центра масс системы Солнце-Юпитер-Сатурн /2/.

Методом познания климата будущего служит математическое моделирование. Все существующие модели основаны на фундаментальных законах сохранения вещества и энергии. Главным инструментом моделей служит уравнение классической гидромеханики в форме Навье Стокса или Рейнольдса для описания общей циркуляции атмосферы и океана. По /10/ "в идеале следует построить теорию чувствительности климатической системы к малым внешним воздействиям". Для этого используется, в частности, модель NCAR Национального центра атмосферных исследований США. Сейчас изучается адекватность более 20 моделей климата, различающихся набором исходных и учётом многих факторов климата - от главного радиационного и циркуляционного до углеродного цикла и антропогенного воздействия (Рис. 7).

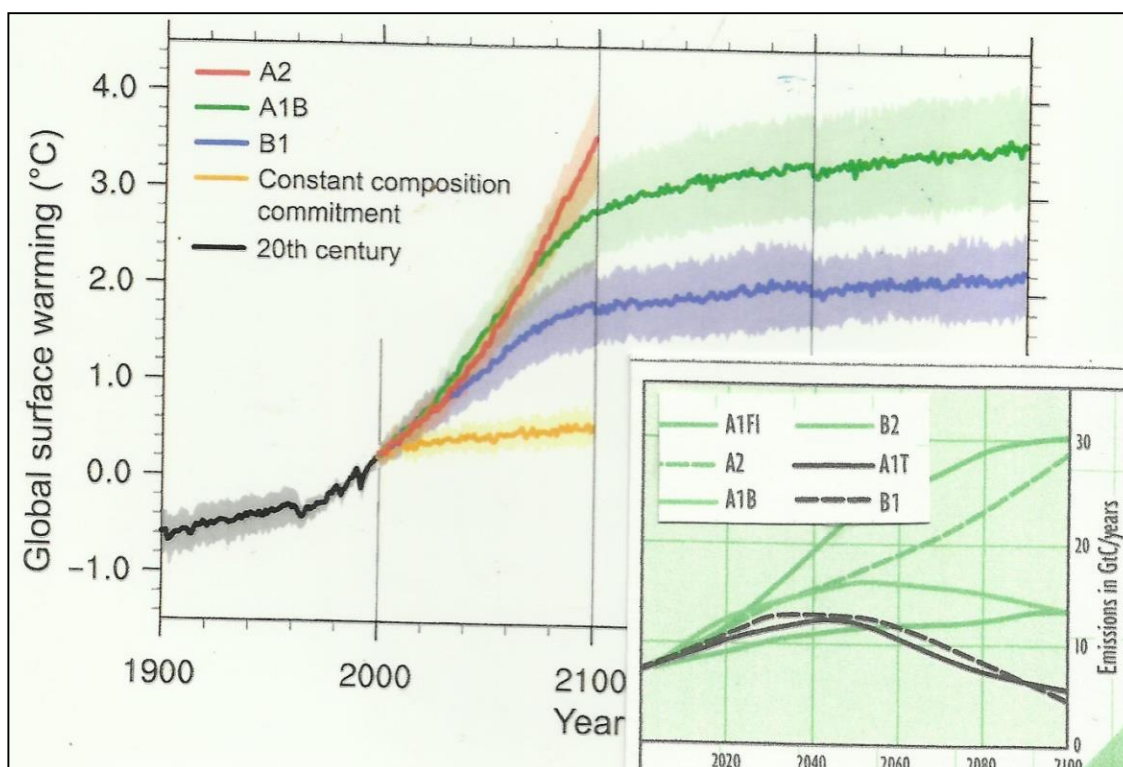


Рис.7.

Сравнение моделей в рамках Международного проекта AMIP-2 (Complied Model Intercomparison Project) показало, что многие из них хорошо воспроизводят закономерности климатических изменений. К их числу относится численная модель Института Вычислительной математики РАН /10/.

Во всех моделях при различных сценариях антропогенных факторов прогнозируется неуклонный рост глобальной температуры в 21 столетии от 0.5 до 2-3 градусов Цельсия.

В заключение подчеркнём, что математическое моделирование климата представляет собой чрезвычайно сложную задачу, связанную с разработкой физической теории, с новейшими методами математики и с совершенствованием технической и экспериментальной базы. Нужно согласиться с мнением /9/ в том, что современные модели климата относятся к классу высоких технологий, а их результаты имеют государственное значение.

Источники

1. Будыко М. И. Изменение климата. Л. Гидрометеиздат 1974, 279 с.
2. Монин А. С., Сонечкин Д. М. Колебания климата, 2005, М. Наука, 191 с.
3. Википедия. Глобальное потепление. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. Akcher D and Pierrehumbert. The Warming Papers. (The scientific foundation for the Climate Change Forecast), 2010.
5. Desonie D. Climate (Cause and Effects of Climate Change), 2008.
6. Tomas R. K. Global Climate Impacts in the United States. Cambridge University Press, 2009
7. Julie Kerr Casper Climate Systems. Interactive Forces of Global Warming. Global Warming. Cambridge University Press, 2010.
8. Julie Kerr Casper. Global Warming Cycles. Ice Ages and Glacial Retreat. Global Warming. Cambridge University Press, 2009.
9. Dow K., Downing T. E. Atlas Climate Change. University California Press, 2006.

10. Дымников В. П., Лыкосов В. Н., Володин Е. М. Моделирование климата и его изменений. Вестник АН РАН, 2012, т. 82, н. 3, с. 227-236.
11. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л. 1939, с. 207 (пер. с немецкого).
12. Филиппов А. Х. Физика атмосферы. Сиб. ин-т Управления, Иркутск 2006, 147 с.
13. Википедия. Гольфстрим. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>