



## Контекст: Как работает модель климата?

### Ключевые слова:

моделирование, сценарии, параметры климата, сетка, физическая формула

### Введение

Еще в течение жизни одного поколения мы можем определить глобальный климат на будущие десятилетия и столетия. От того, как мы обходимся с окружающей средой сегодня, отразится на жизни наших детей и последующих поколений. По географии вы изучали карты климата, которые начерчены по классификации Тролля, Паффена, или Коппена. Но вы можете быть уверены, что карта климата ваших внуков в 2060 году явно изменится по отношению к карте вашего учебника. Люди изменяют природу со скоростью, которую мы никогда не испытывали прежде.

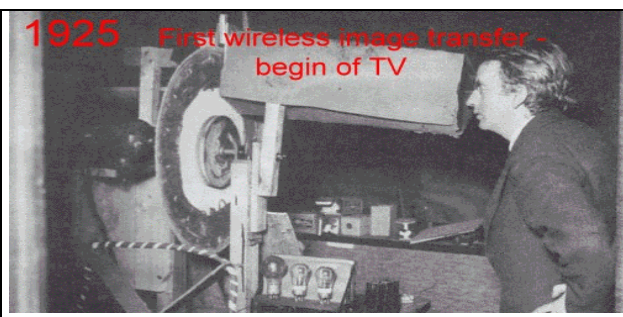
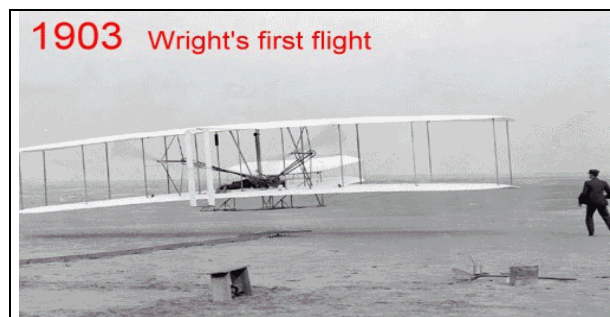
### Что такое модель климата?

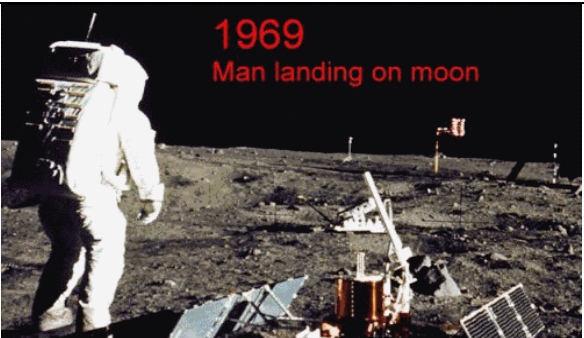
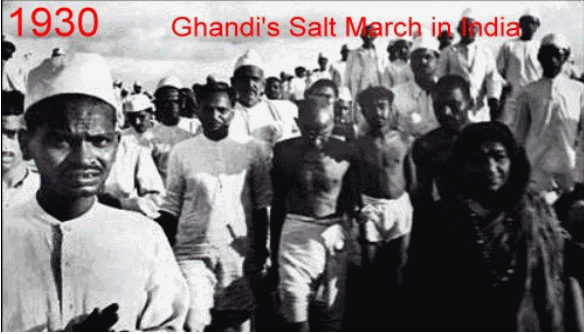
Температура и дождь, наводнения и штормы, засуха и холодные периоды до определенной степени обуславливают нашу жизнь. Нам хотелось бы знать, как мы меняем климат Земли, но не можем моделировать этого процесса в лабораторных условиях, так как система Земли слишком сложна. Правительства и граждане просят специалистов-климатологов дать оценку климату, который будет через 50 или 100 лет.

Модель климата составляется, используя компьютерную версию системы Земли, которая представляет собой физические законы и химические взаимодействия на Земле, возможно близкие к действительности. Сюда же подключаются подсистемы этой системы, образуемые по результатам лабораторных исследований и измерений в природных условиях.

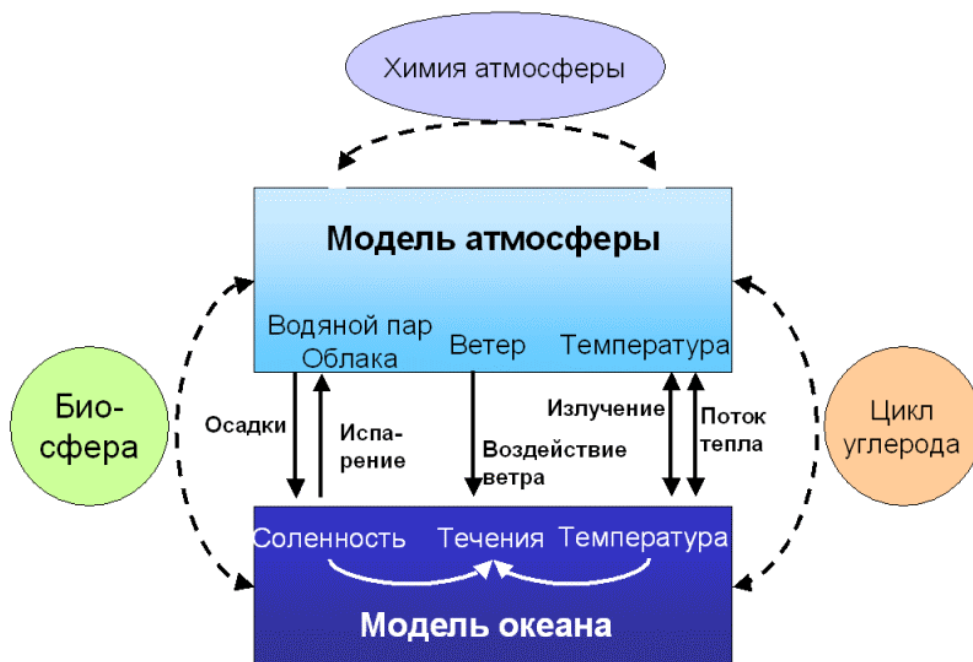


**1. 20-ое столетие за 80 секунд: чтобы быстро понять и оценить изменения климата до 2100 г., вообразите, что вы жили в 1903 году и должны предвидеть то, что случится в мире до 2001 года... Фотографии на следующей странице показывают события прошлого столетия.**









2. Схема соединения моделей океана и атмосферы, а также дополнительных моделей. Схема взята из гамбургского сервера по образованию. Щелкните и увеличьте схему (40 КБ).

Глобальная модель составляется из данных результатов нескольких моделей, изучающих различные части системы Земли (такие как круговорот углерода или атмосферная химия) и при помощи компьютера, если это возможно, модели объединяются. Функциональные возможности моделей проверяются, сопоставляя моделирование климата прошлого времени с проверенными данными настоящего.

### Что такое сценарии?

Ученые-климатологи вычисляют будущие изменения системы климата при помощи различных моделей, основанных на так называемых "сценариях". Сценарий – это оценка будущих парниковых газов и изменений эмиссии аэрозолей согласно определенным предположениям. Так как мы не знаем, как наш мир будет развиваться в политическом, общественном, технологическом и экономическом аспектах, мы должны принимать многочисленные варианты сценариев. Сценарии МГЭИК А2, А1 и В1 были описаны в части "Исследование" этого журнала.

### Факторы климата

Основанные на системе уравнений модели климата могут быть сравнимы с моделями прогноза погоды. Метеорологические параметры, такие как ветер, водяной пар, энергетический обмен и закон сохранения массы, в полной мере должны быть соединены и описаны уравнениями в пределах моделируемой системы. Однако модель климата не будет, конечно, предсказывать погоду на 22-ое марта 2067 г., основанную на данных 21-ого марта 2067 г. Она только оценит вероятность определенных типов погоды. Например, в период с 2080 по 2100 годы мы можем ожидать в определенном регионе на 40 % меньше осадков зимой, чем сегодня. Поэтому, между моделями климата и погоды есть явные различия.

Должны быть учтены и другие факторы, изменяющие энергетический баланс Земли, такие как парниковые газы и аэрозоли. С увеличением нагревания планеты, воздух может содержать больше воды. Во многих регионах испарение и осадки увеличатся. Сегодняшние модели включают как парниковые газы, ответственные за глобальное потепление (углекислый газ, метан, окись азота, CFCs и озон), так и эмиссию серных газов и атмосферное загрязнение, которые действуют как охлаждающий фактор.

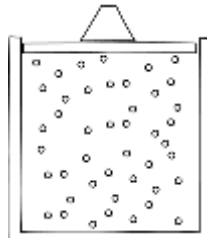


## От физики системы Земли к математике модели

Невозможно описать все физические взаимодействия, которые подробно рассматриваются в модели системы климата. Ниже вы увидите несколько из основных уравнений и законов, которые или используются в трехмерных числовых моделях или же служат для объяснения используемых уравнений. Возможно, вы знаете некоторые из них из школьной физики, другие являются более сложными. Если вы интересуетесь математикой, вы можете прочесть их в Википедии.

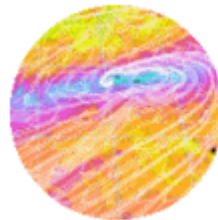
$$PV = nRT$$

$$p = \rho RT$$



### Идеальный газ

Давление связано с температурой и плотностью посредством уравнения для идеального газа, который является очень хорошей аппроксимацией для воздуха. Плотность рассчитывается, используя уравнение непрерывности. Основной принцип этого уравнения – сохранение воздушной массы.



$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \nabla \cdot \mathbb{P} + \rho \mathbf{f}$$

### Уравнения Навье-Стокса

Области ветра, например, могут быть рассчитаны, используя так называемые уравнения количества движения, которые базируются на уравнении Навье-Стокса. Но это уже сложная математика.



$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

### Закон Ньютона

Локальное изменение (ускорение/замедление) ветра в каждом пункте системы координат рассчитано как сила на единицу массы, как и в законе



$$\mathbf{a} = -2\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{v}$$

### Сила Кориолиса

Основные силы в атмосфере включают в себя: силу Кориолиса (так как во вращающейся системе координат, такой как Земля, появляется движение воздуха

Ньютона; принята во внимание также инерция адвекции (горизонтального перемещения).



$$dU = \delta Q + \delta W$$

### Первый закон термодинамики

Следующее уравнение инерции решается как типично термодинамическое уравнение. Оно основано на первом законе термодинамики и обозначает сохранение энергии.

подвергнуто ускорению), силу градиента давления и гравитации в вертикальном направлении.



water

### Уравнения о воде

Уравнения для воды уже решены. Водяной пар – наиболее значительная часть естественного парникового газа, а с увеличением водяного пара и потеплением климата, повышается вклад человеческой деятельности в глобальное потепление. Облака, то есть вода в жидкой и твердой фазе, играют важную роль не только для погоды и атмосферной динамики, но также и в балансе глобальной радиации атмосферы.

Похожие уравнения или их производные должны быть соединены в модели климата ... и многое другое. Факторы климата, которые мы изменяем (такие как парниковые газы) также должны быть включены. Об этом читаем в тексте "Простые модели".

Вы видели только несколько примеров основных уравнений. Нажмите на нижеследующее ссылку, если вы хотите узнать больше о других уравнениях климата, которые применяют разработчики моделей (уравнения также простейшие).

### Университет чтения "простейшие уравнения"



### Координатная сетка Земли

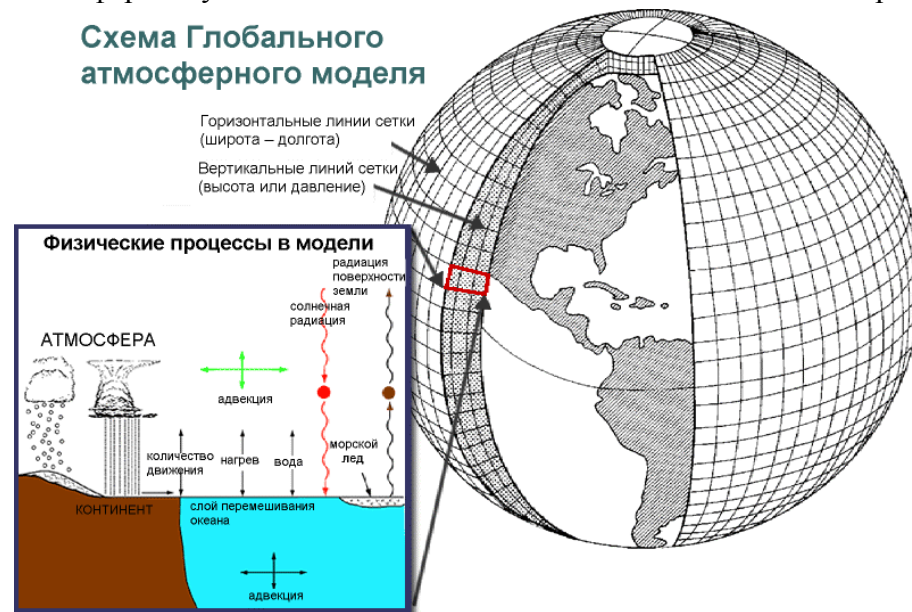
Мы знаем, что погода и физические условия на Земле различны.

В тропиках воздействие солнечных лучей и температура намного выше, чем на северном полюсе. Испарение и осадки там могут быть более сильными, так как теплый воздух содержит больше воды, чем холодный. Но даже для той же самой широты, климат может



6. Физическая карта Гималаев и бассейна Восточ

значительно меняться в зависимости от свойств земной поверхности. И атмосферные условия полностью отличаются от Шанхайского региона

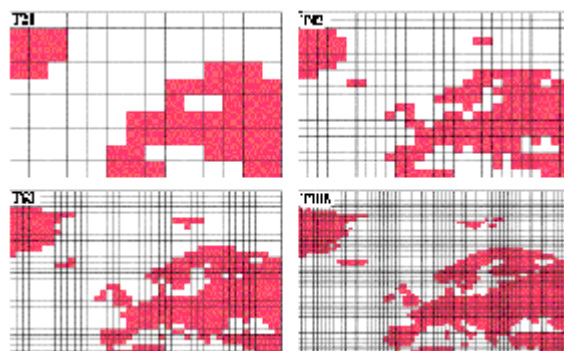


#### 7. Сетка и параметры глобальной модели атмосферы © NOAA.

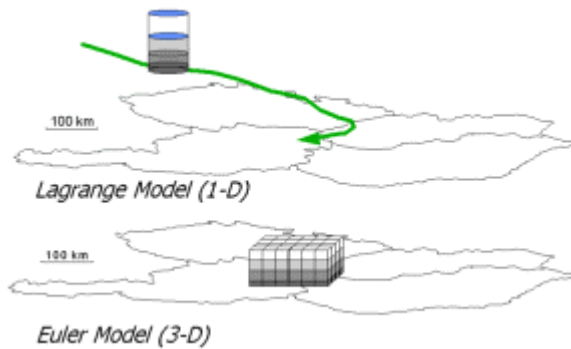
Мы знаем также, что газы и частицы, в результате человеческой деятельности, эмитируют в воздух гораздо больше из плотно населенных регионов Европы, Северной Америки и Азии, чем с поверхности океана. Мы не можем поместить Землю в модель, как пирог в духовку. Мы должны расчертить воздух и океаны по горизонтали и вертикали и определить свойства атмосферы (ветер, температура, и т.д.) и океанов в небольших ячейках полученной сетки.

Типичные глобальные модели сегодня имеют горизонтальное разрешение размером 250 км и вертикальное разрешение – 1 км, более новые версии имеют меньшие размеры. Горизонтальное разрешение типичной океанской модели – 125-250 км и вертикальное – 200-400 м. В вертикальном разрешении атмосфера, например, раздроблена приблизительно на 20 слоев, достигающих высоты около 30 км.

Слои в океанских моделях уходят до глубины 5000 м, то есть до морского дна. Мелкомасштабные физические процессы, которые меньше размера ячеек сетки, не могут быть решены. Их воздействие на масштабные процессы оценивается и включается в модель при определении параметров. В атмосфере это имеет место, особенно, при формировании облаков, в океане – при мелкомасштабных водоворотах и процессах конвекции.



8. Европа в сетках различного масштаба.  
© Гамбургер Билдунгсервер.

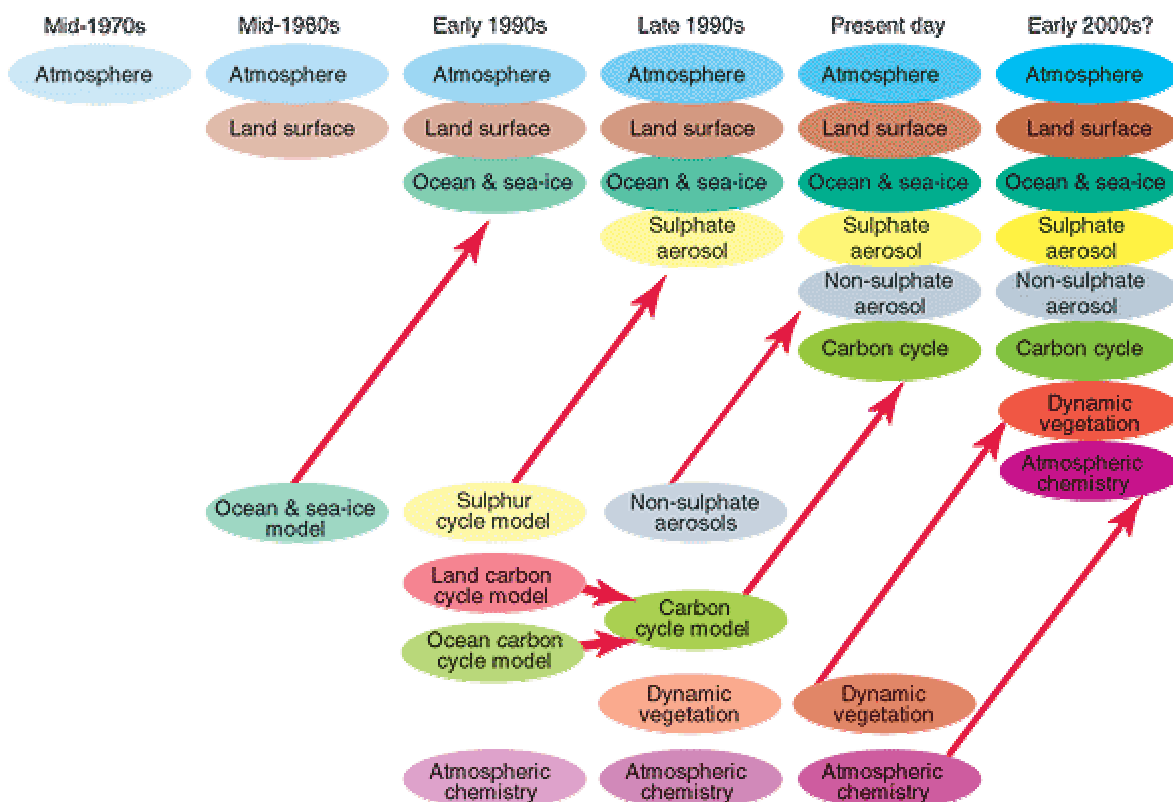


**9. Модели Лагранжа и Эйлера. © Вернер Винивартер.**

Уравнения построены так, чтобы моделировать динамику в точках сетки. Если моделируется атмосферная химия, реакции часто имеют место в определенное время в ячейке воздуха. Хотя установленные сеточные модели принимают во внимание горизонтальное движение, может быть, также удобно моделировать реакции в перемещающейся ячейке воздуха. Мы называем такие модели моделями Лагранжа, в отличие от неподвижной сетки в моделях Эйлера. Но модели Лагранжа не применимы для моделирования климата.

Качество результатов таких моделей в моделировании будущего климата зависит также от разрешения сетки. Чем мельче сетка, тем лучше. Это в свою очередь зависит и от мощности компьютера. Самые мощные компьютеры в мире используются для моделирования климата, и к счастью их возможности увеличиваются. Так, более детальные вычисления могут быть выполнены для каждого будущего сообщения МГЭИК.

**The Development of Climate models, Past, Present and Future**



**10. Модель развития климата за прошедшие 25 лет показывает, как различные компоненты сначала развиваются отдельно и позже соединяются во всесторонние модели климата. © IPCC TAR 2001г. Техническое резюме, Бокс 3, Рис. 1.**

**Автор: Элмар Ухерек, Институт Химии Макса Планка, Майнц.**

© ACCENT 2006 | [www.accent-network.org](http://www.accent-network.org)

---