

Что следует из того,
что вы уже должны знать

Или

Место и роль
динамической метеорологии

В вашей подготовке

(Динамическая метеорология. Лекция 1, часть 2)

Место динамической метеорологии в системе наук



Предметом изучения динамической метеорологии являются законы движения

- *тяжелой,*
- *стратифицированной,*
- *бароклинной*
- *газовой* оболочки
- над *вращающейся*
- Орographically *неоднородной* планетой
- под влиянием *притока энергии* от Солнца

Каждый должен знать значение этих терминов и фразы в целом!

Динамическая метеорология

- Это идеология прогноза погоды и климата
- Это база метеорологических исследований

Она нужна, чтобы у вас сформировалось физически обоснованное представление о структуре и свойствах атмосферных движений

Система уравнений гидро- и термодинамики атмосферы - теоретическая модель атмосферы

$$\rho = \frac{p}{RT} \text{ уравнение состояния}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = -\text{div}(\mathbf{U}) \text{ уравнение неразрывности}$$

$$\frac{dV}{dt} = -g - \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \mathbf{F} - \frac{1}{\rho} \text{Div}(\mathbf{F}) -$$

второй закон Ньютона в векторной форме

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{T}{p\theta} \frac{\Delta Q}{dt}, \quad \text{где} \quad \theta = T \cdot \left(\frac{1000}{P} \right)^K - \text{уравнение притока тепла}$$

Чем можно доказать, что
система уравнений
является адекватной
математической моделью
атмосферы?

Доказательство справедливости 1 :

Достигнутое качество прогноза термобарических полей (ГМЦ РФ)

Заблаговременность	Оправдываемость, %
1 сутки (барические максимумы)	90-95
2 суток (барические максимумы)	85-90
1 неделя (барические максимумы)	Около 80
1 месяц (аномалии температуры)	65-70



Доказательство справедливости 2

Воспроизводи-
мость
лабораторных
экспериментов
при расчетах
С помощью
математических
моделей



Какие важнейшие виды постановок задач о движении атмосферы вы уже должны знать?

Геострофичность - основное динамическое равновесие (оно объясняет почему из сегодняшней погоды следует завтрашняя)

$$\boxed{T}$$



$$p : \frac{\partial p}{\partial z} = -g \frac{p}{RT} \quad \leftarrow \boxed{p_\theta}$$



$$V_g : u_g = -\frac{RT}{f p} \cdot \frac{\partial p}{\partial y}; \quad v_g = \frac{RT}{f p} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}; \quad w = 0$$



$$A_T = -\left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$



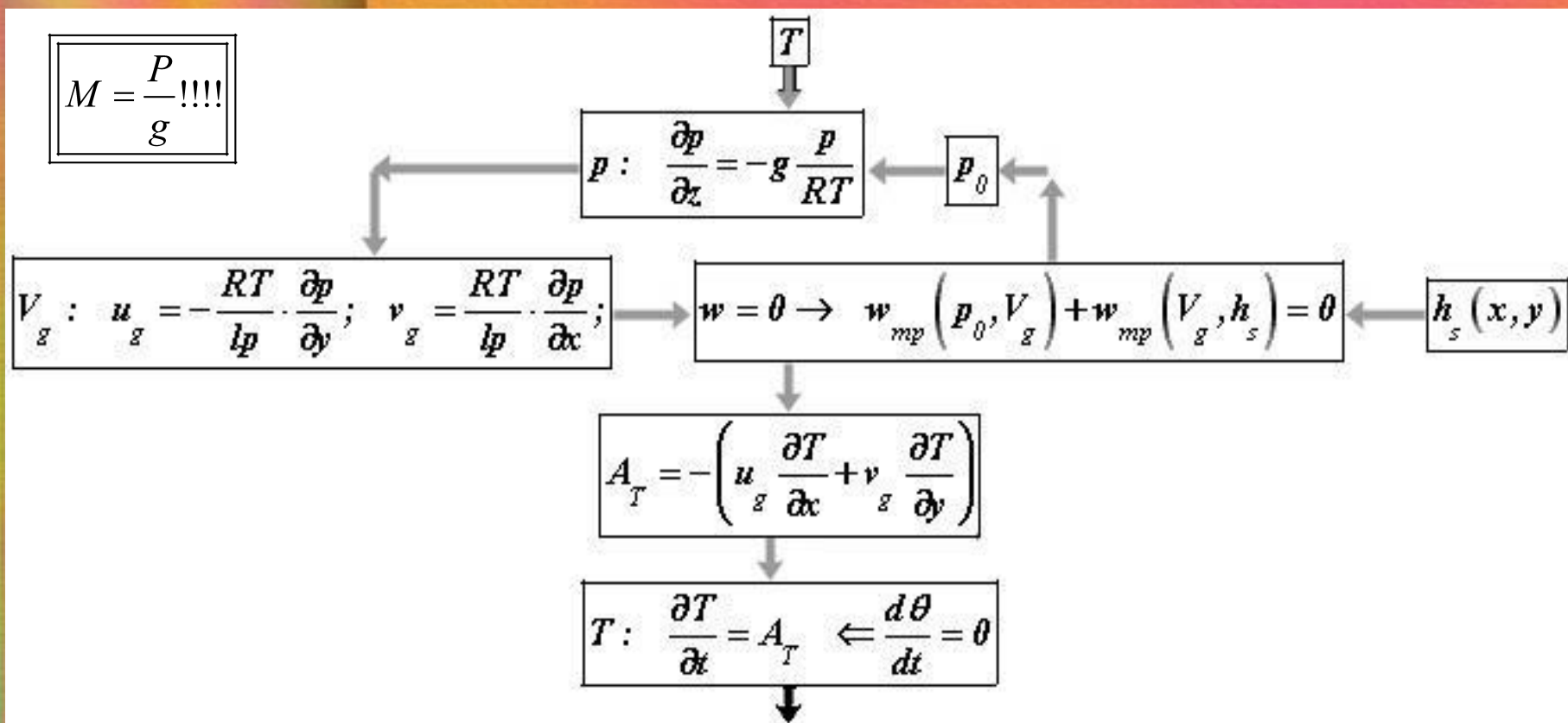
$$T : \frac{\partial T}{\partial t} = A_T \quad \leftarrow \frac{d\theta}{dt} = 0$$

Схема формирования изменений метеорологических полей в геострофическом приближении над плоской поверхностью земли без трения



Влияние трения в пограничном слое на динамику атмосферы

(Независимость уравнения для приземного давления)



. Схема формирования изменений метеорологических полей в геострофическом приближении с учетом влияния трения и орографии на изменение приземного давления

Агеострофичность, как причина формирования вертикальных скоростей :



$$U_g = \begin{Bmatrix} u_g \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{\rho \cdot l} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{1}{\rho \cdot l} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \end{Bmatrix}$$

$$U_s = U_g + U_a = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_g - \left(\frac{\partial v_g}{\partial t} + u_g \frac{\partial v_g}{\partial x} + v_g \frac{\partial v_g}{\partial y} \right) \\ v_g + \left(\frac{\partial u_g}{\partial t} + u_g \frac{\partial u_g}{\partial x} + v_g \frac{\partial u_g}{\partial y} \right) \end{Bmatrix}$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\nabla \cdot U_s = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{l} \frac{dv_g}{dt} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{l} \frac{du_g}{dt} \right) = \frac{1}{(l + \Omega_g)} \frac{d\Omega_g}{dt}$$

Погода в наших широтах – нарушение и восстановление геоэстрофического баланса

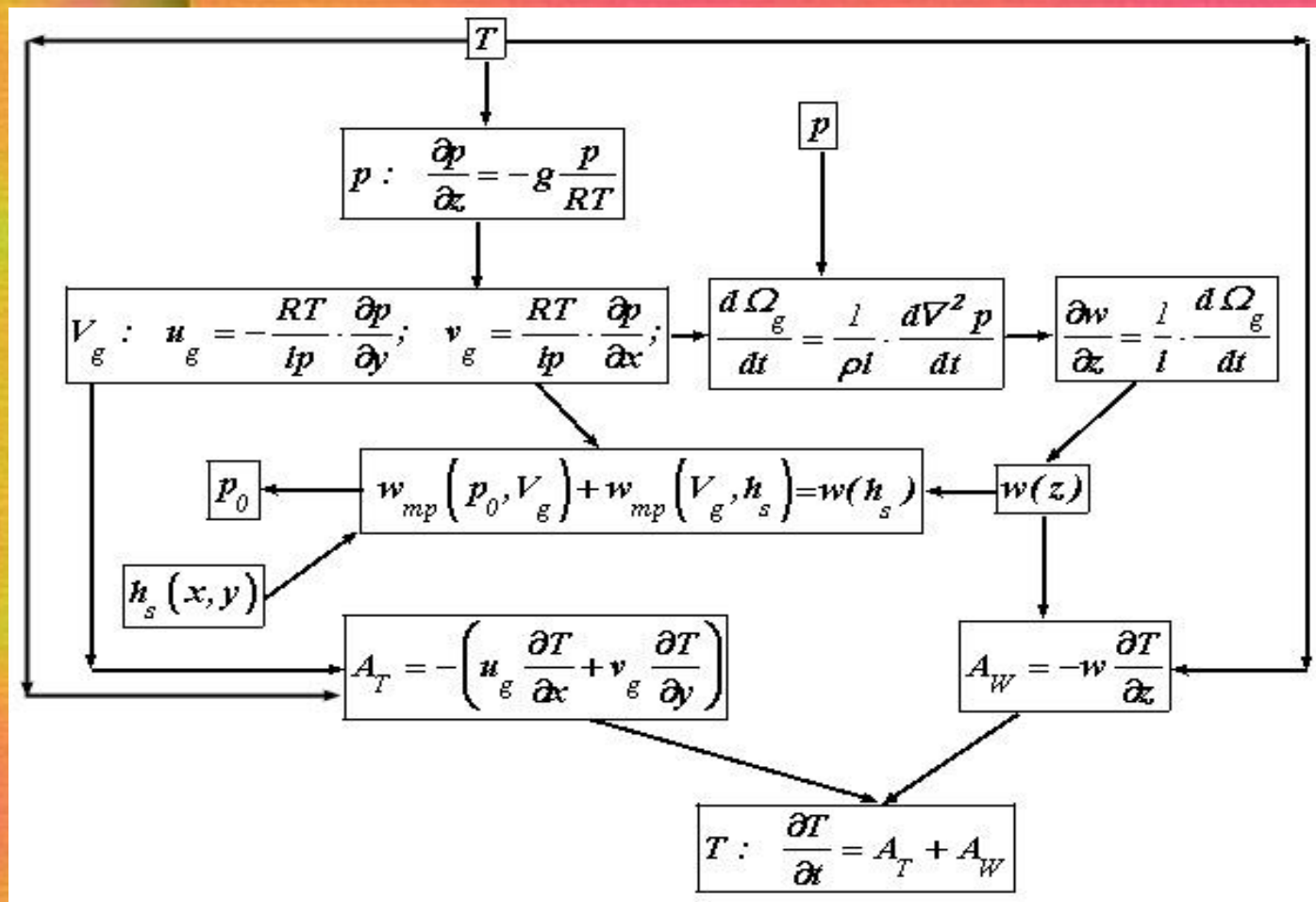
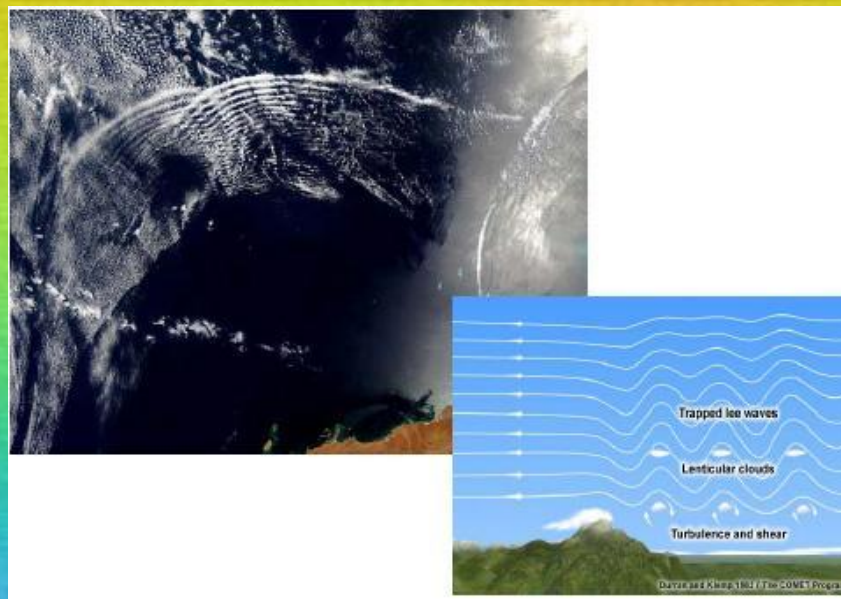
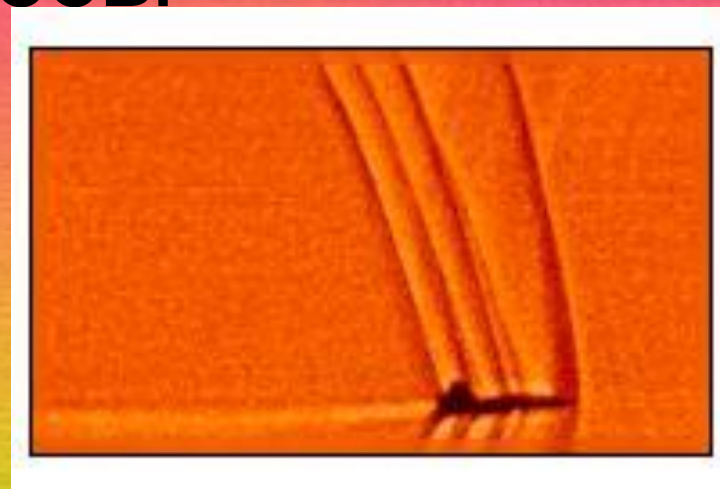


Схема формирования изменений метеорологических полей в квазигеоэстрофическом приближении

Почему этого мало: волновые процессы



Полные уравнения описывают все важнейшие движения атмосферы во всех широтах

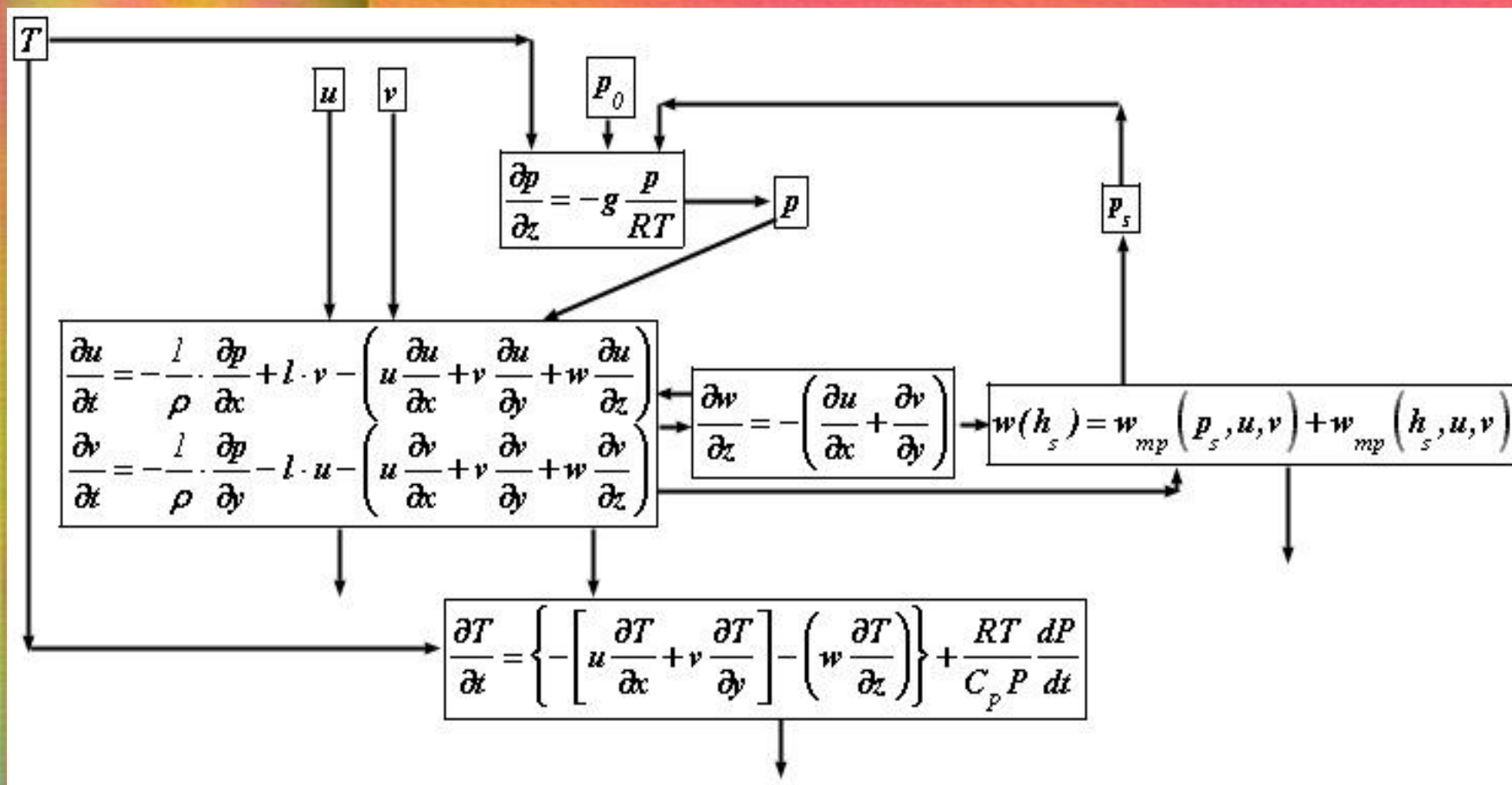
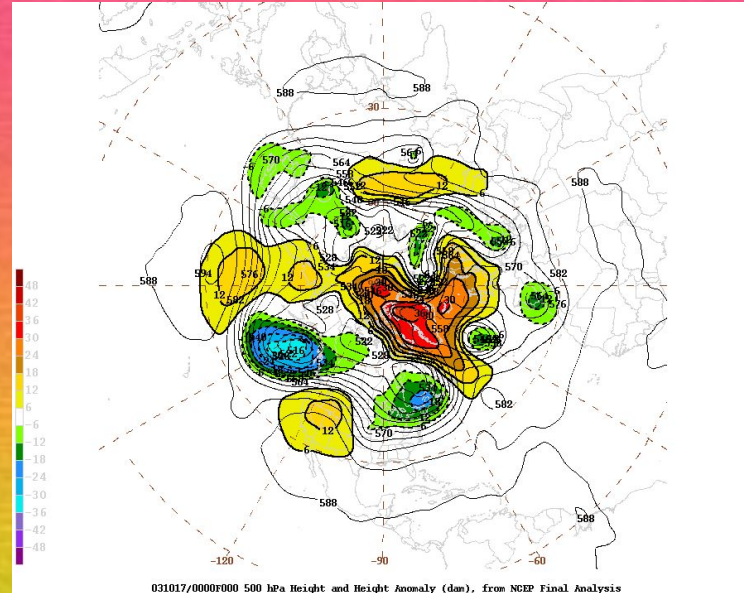
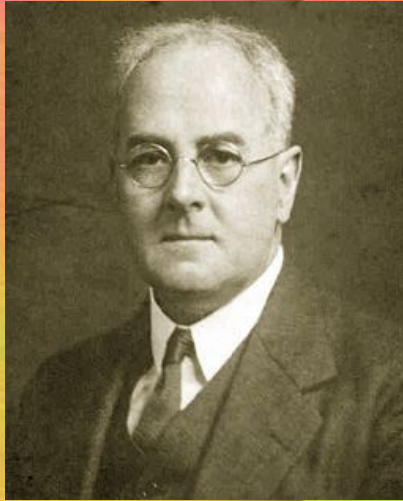


Схема формирования изменений метеорологических полей при использовании полной системы уравнений динамики атмосферы

Пройдено: От Ричардсона до суперкомпьютеров



Компьютер [ENIAC](#) Компьютер ENIAC, построенный в [1946](#) году, при весе 27 тонн и энергопотреблении 150 кВт, обеспечивал производительность в 300 флопс

[IBM 709](#) IBM 709 ([1958](#) год) – 5 мегафлопс

[Cray-1](#) Cray-1 ([1974](#) год) – 160 мегафлопс

[Cray Y-MP](#) Cray Y-MP ([1988](#) год) – 2,3 гигафлопс

[ASCI Red](#) ASCI Red ([1993](#) год) – 1 терафлопс

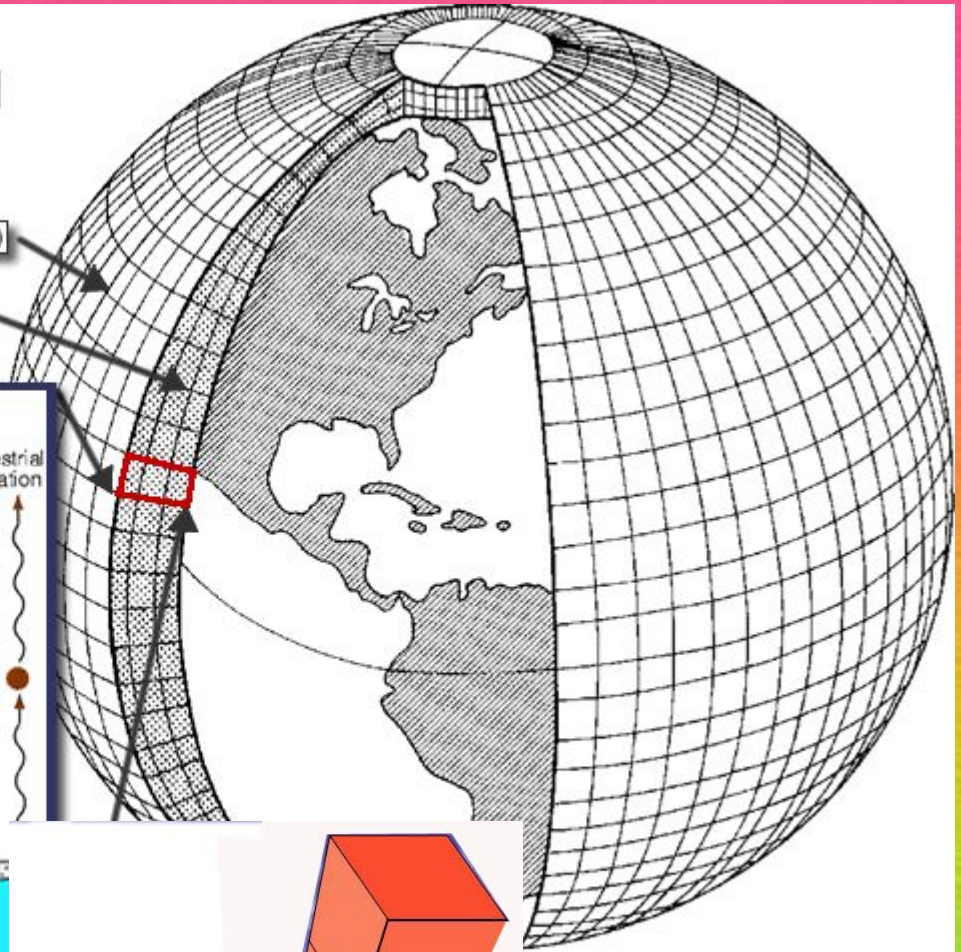
[Blue Gene/L](#) Blue Gene/L ([2006](#) год) – 280,6 терафлопс



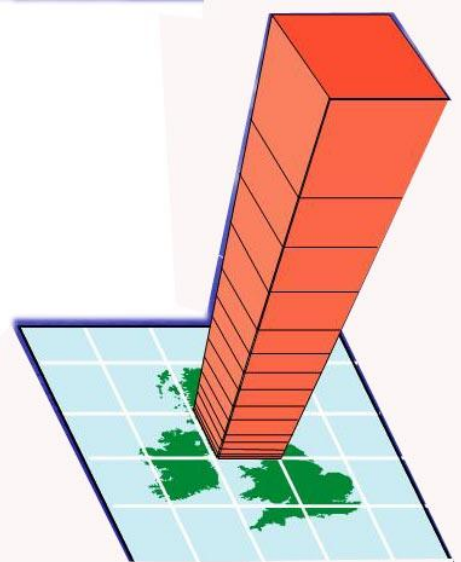
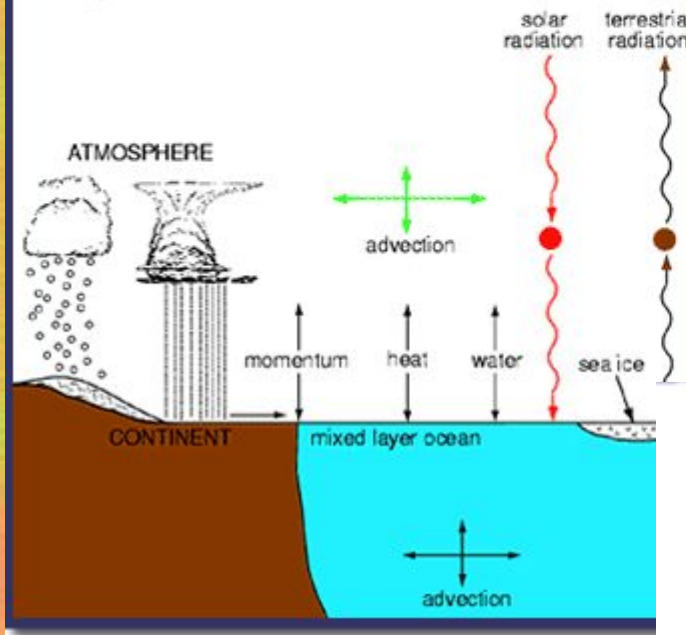
Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (latitude - longitude)

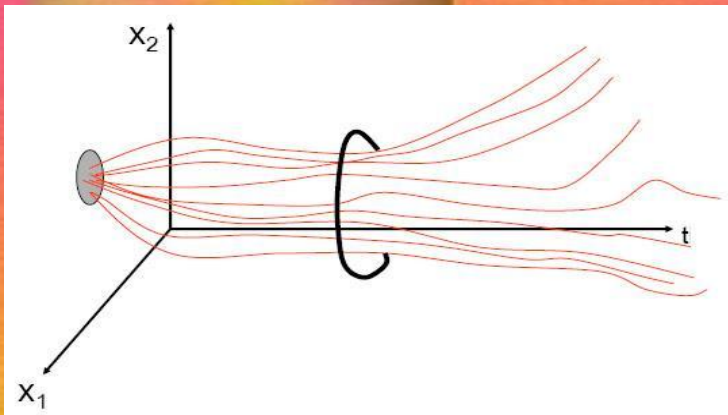
Vertical Grid (height or pressure)



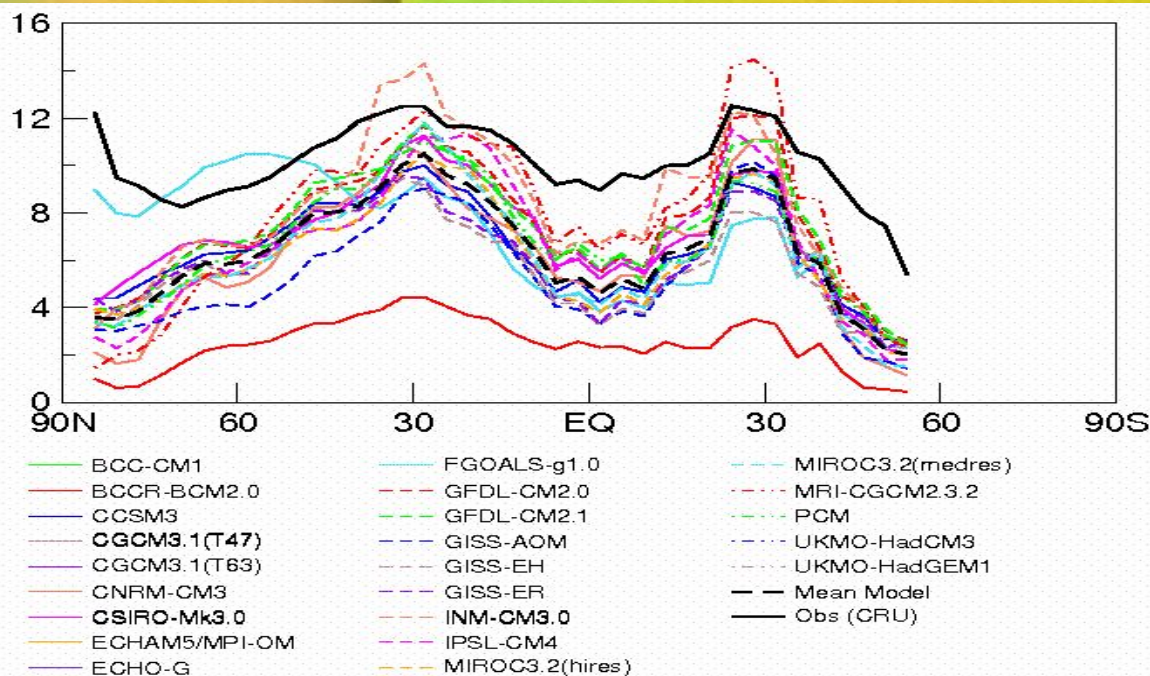
Physical Processes in a Model



Сегодня: Предсказуемость и ОЦА



Данные наблюдений не могут точно идентифицировать текущую динамическую «траекторию»
Необходимо научиться предсказывать «Русла». Это требует понять Общую циркуляцию атмосферы



Сравнение моделей по данным 4ого отчета IPCC

Завтра: Через изучение детерминистического хаоса к теории

