

## Моделирование климата, процессов в биосфере и гидрологии поверхности

Крупчатников В.Н.<sup>\*</sup>, В.Н. Лыкосов<sup>\*\*</sup>

(СибНИГМИ Росгидромета<sup>\*</sup>, г. Новосибирск; <sup>\*\*</sup> Институт вычислительной математики РАН, г. Москва)

[vkруп@ommfao1.sccc.ru](mailto:vkруп@ommfao1.sccc.ru)



В докладе обсуждается текущее состояние моделирования процессов на поверхности, с учетом заданного распределения растительных биомов. Степень детализации моделей позволяет использовать их в глобальных моделях климатической системы (**модель ИВМ РАН**) для оценки возможных изменений климата и биосферы поверхности суши. Для обсуждения выбраны следующие темы:

- Биосфера поверхности как динамический компонент климатической системы Земли;
- Структура экосистемы поверхности; Растительные биомы поверхности. Углеродные пулы; фенология растительного покрова. Фотосинтез и устьичное сопротивление; дыхание растений и почвы;
- Радиационные потоки в слое растительности, альbedo поверхности, потоки солнечной и длинноволновой радиации, потоки момента, явного и скрытого тепла, температура слоя растительности и оголенной поверхности, температура почвы, температура в озерах и ветландах
- Гидрология поверхности
- Биохимические потоки на поверхности; моделирование потоков CO<sub>2</sub> в слое растительности и в почве; эмиссия метана от болотных экосистем



## Atmospheric model (INM/RAS)

- Terrain-following vertical coordinate (21  $\sigma$ -levels)
- Semi-implicit formulation of integration in time
- Energy conservation finite-difference schemes ( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ )
- Convection (deep, middle, shallow; mass-flux)
- Radiation ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ; 18 spectral bands for SR and 10 spectral bands for LR)
- PBL (5  $\sigma$ -levels)



## Land surface model (ICMMG/SB RAS)

The land surface model considered in this report is an extension of this earlier model development. **The model is able to predict:**

- **terrestrial photosynthesis and respiration of CO<sub>2</sub> from land surface vegetation and**
- **methane emissions from natural wetlands.**
- With the requirement that the model is implemented globally, many surface type needed to be included.
- Proposed version of the land surface model, coupled to atmosphere model, combines a rather complete accounting for physical factors to assess the interaction of the atmosphere with the surface and availability for including in the general circulation model.



## Биосфера поверхности - динамический компонент климатической системы Земли

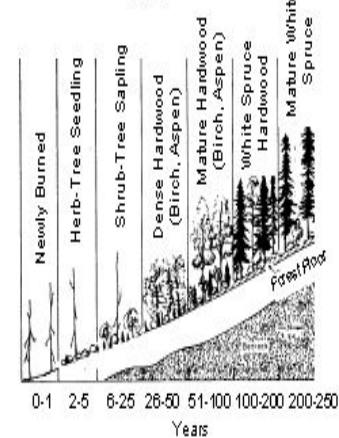
- Изменение структуры растительности как реакция на изменения климата оказывает обратное влияние на климат. Обратное влияние осуществляется через обмен энергией, влажностью, моментом, парниковыми газами и минеральным аэрозолем. Сейчас стало ясно, что при изменении структуры растительности ее распространения на поверхности меняются и потоки. Это является важным фактором изменения климата

- Примеры:

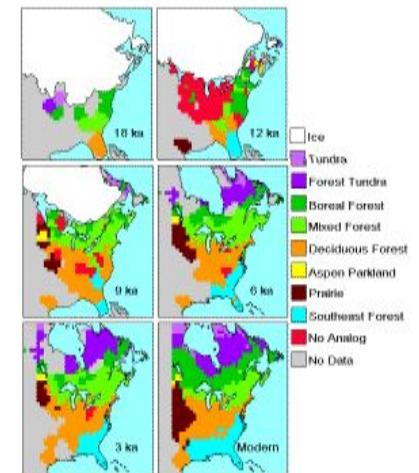
Климат и экосистема Северной Африки (Braconnot et al., 2000; Hoelzmann et al., 1998; Jolly et al., 1998; Prentice et al., 2000; Jousaume et al., 1999).

Климат и экосистема борельно-тундровой зоны (Bonan et al., 1992; Tomas, Rowntree 1992; Gallimore, Kutzbach, 1996; Foley et al., 1994)

Upland White Spruce Succession On South Slopes Near Fairbanks, Alaska Following Fire



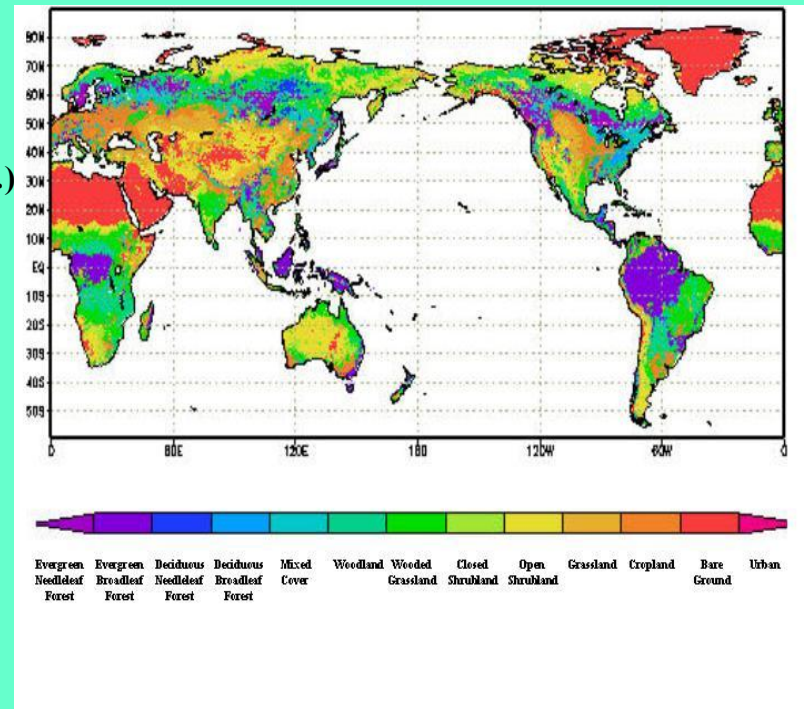
Vegetation Change Since Last Glacial Maximum





## Структура экосистемы поверхности в модели биосферы

- Типы поверхности (растительность, озера, ветланды, лед, голая поверхность) ячейки сетки
- Функциональные типы растительности (бореальный лес, тундра,...) ячейки сетки
- Углеродные и азотные пулы
- Фенология растительного покрова.
- Фотосинтез и устьичное сопротивление.
- Дыхание растений и почвы.

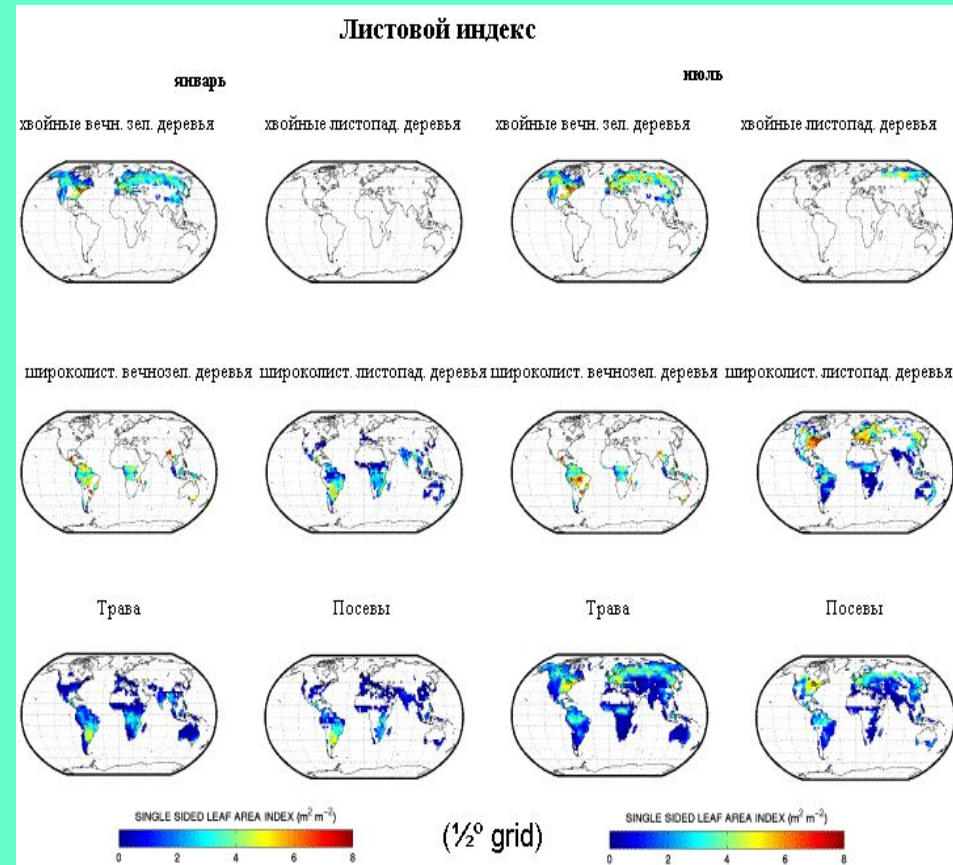




# Фенология растений

- Листовой индекс усваивается в модели ежедневно. Используются среднемесячные данные по листовому индексу из работы (Dorman, Sellers, 1989)
- Делается поправка на толщину снега, покрывающего растение
- Сезон роста определяется как период с температурой вегетации больше, чем некоторое минимальное значение,  $T_{min}$ .

$$f_{sn} = 1 - \frac{Z_{sn} - Z_{bot}}{Z_{top} - Z_{bot}}$$



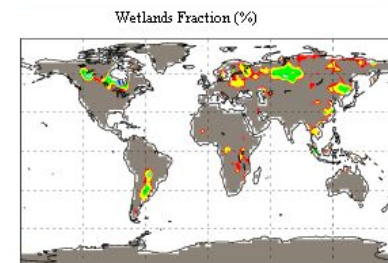
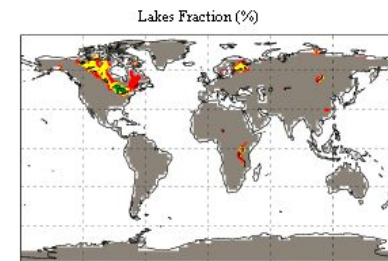
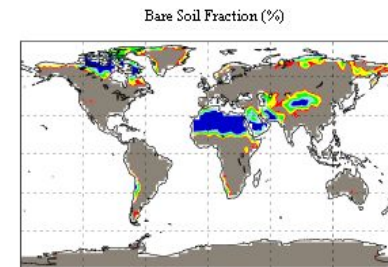


## Типы поверхности (растительность, озера, ветланды, лед, голая поверхность)

- Каждая сеточная ячейка биофизической модели **ячейки сетки** поверхности состоит из пяти горизонтально однородных частей:
  1. Растительность;
  2. Ветланды;
  3. Озера;
  4. Лед;
  5. Океан

Ячейка сетки модели  
поверхности

Лед 16.7%	Растительность 50%	
Озера 16.7%		
Ветланды 8.3%		







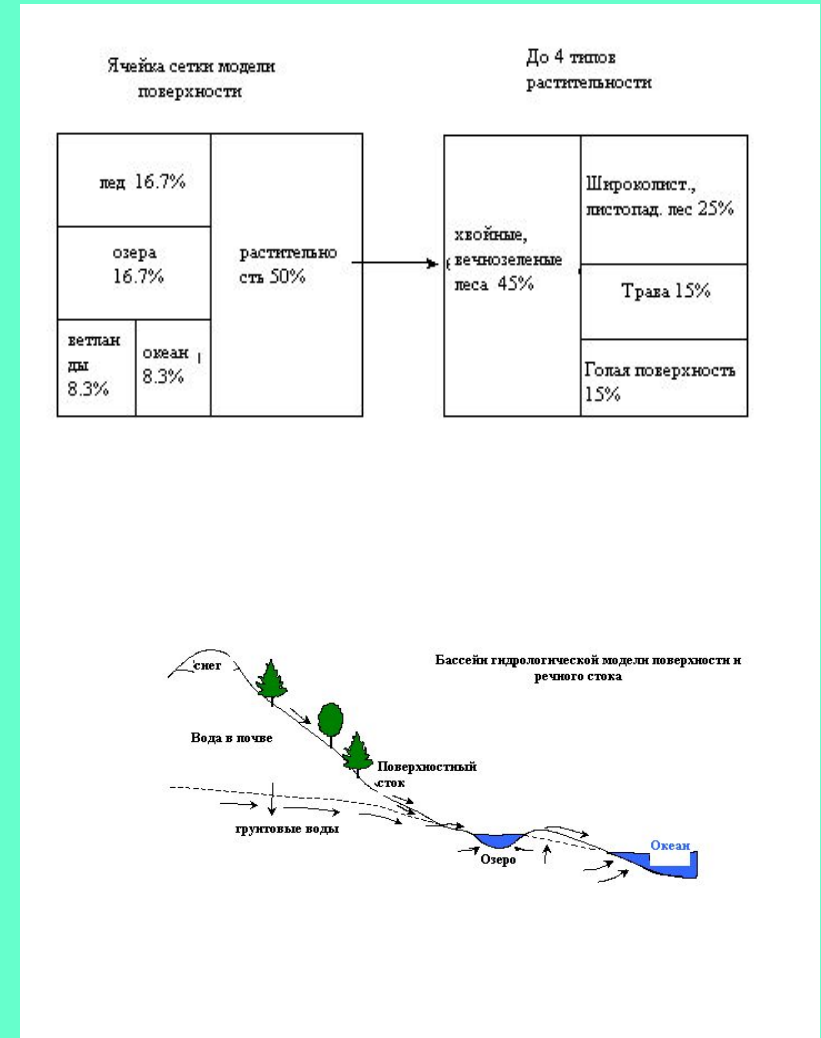
# Типы растительности и Гидрология поверхности и речной сток

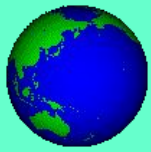
Пример ячейки сетки, занятой хвойным лесом, широколиственным лесом, травой и голой поверхностью

Гидрология поверхности – уравнение водного баланса поверхности и почвы:

$$\frac{\partial W_{can}}{\partial t} + \frac{\partial W_{sn}}{\partial t} + \sum_i \theta_i \frac{\partial z_i}{\partial t} = (q_{prc} - E_v - E_g - q_{surunoff} - q_{drng}) t$$

Гидрология речного стока – распределенные модели ландшафтного типа (TOPMODEL, TOPOG, MPATH, MODFLOW ).





## Фотосинтез и устьичное сопротивление

$$g_s = m \frac{A}{C_s} \frac{e_s}{e_i} P_{atm} + b$$

M – empirical parameter;

A – speed of leaf photosynthesis,  $A=0$ , when  $T_v < T_{min}$ ;

$C_s$  - concentration  $CO_2$  on a leaf surface;

$E_i$  - pressure of the saturation vapour inside a leaf;

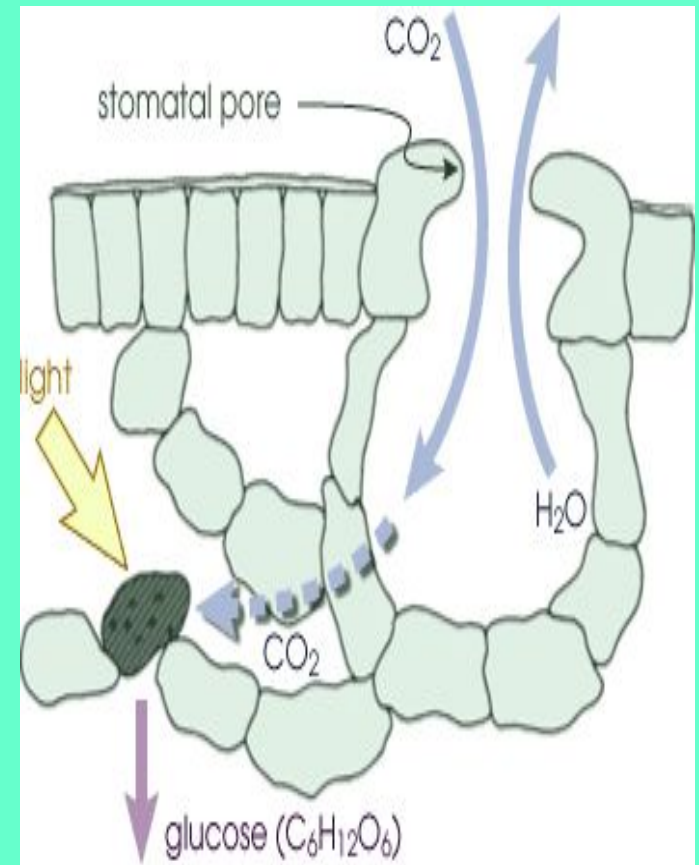
$E_s$  - pressure vapour on a leaf surface ;

B - minimal stomatal conductivity with  $A=0$ ;

$P_{atm}$  – atmospheric pressure.

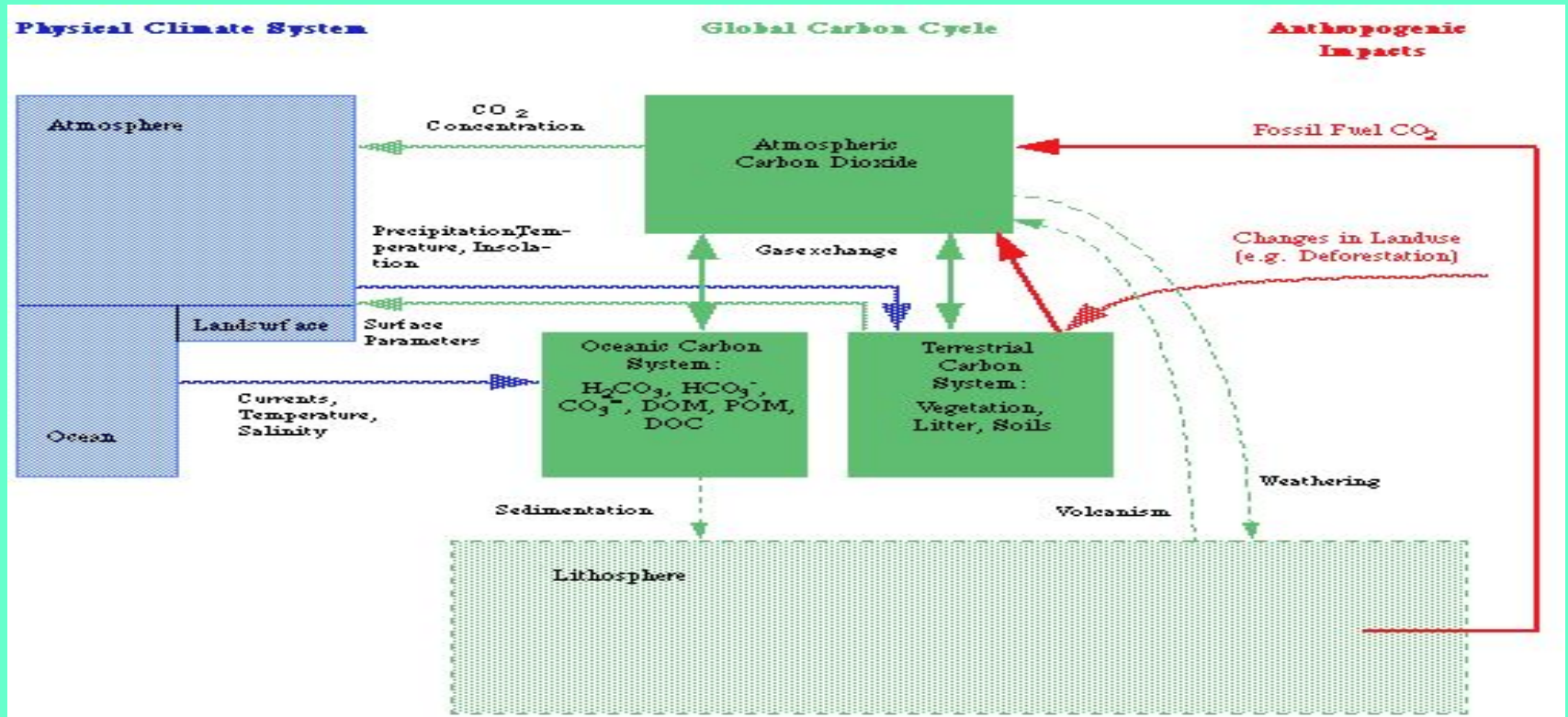
**$A = \min(W_c, W_j, W_e)$**

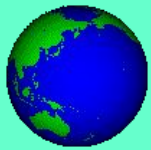
$W_c, W_j, W_e$  – determined from model by Farquhar et al. (1980) and Collatz et al. (1992)





## Биохимические потоки. CO<sub>2</sub>.





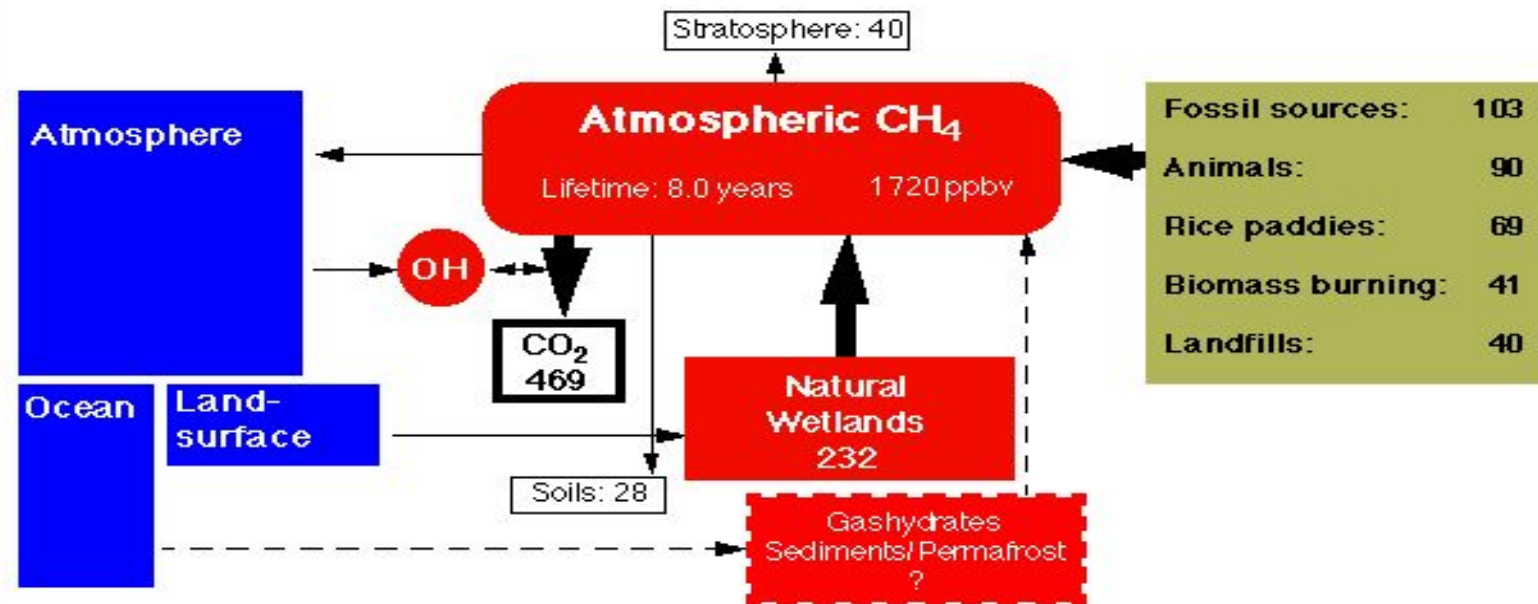
## Биохимические потоки. CH<sub>4</sub>

### *The Global CH<sub>4</sub>-Cycle*

Physical Climate System

Global Methane Cycle

Anthropogenic Sources



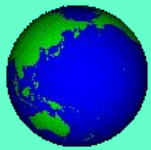
numbers from: Hein et al., 1997

sources/sinks: TgCH<sub>4</sub>/yr

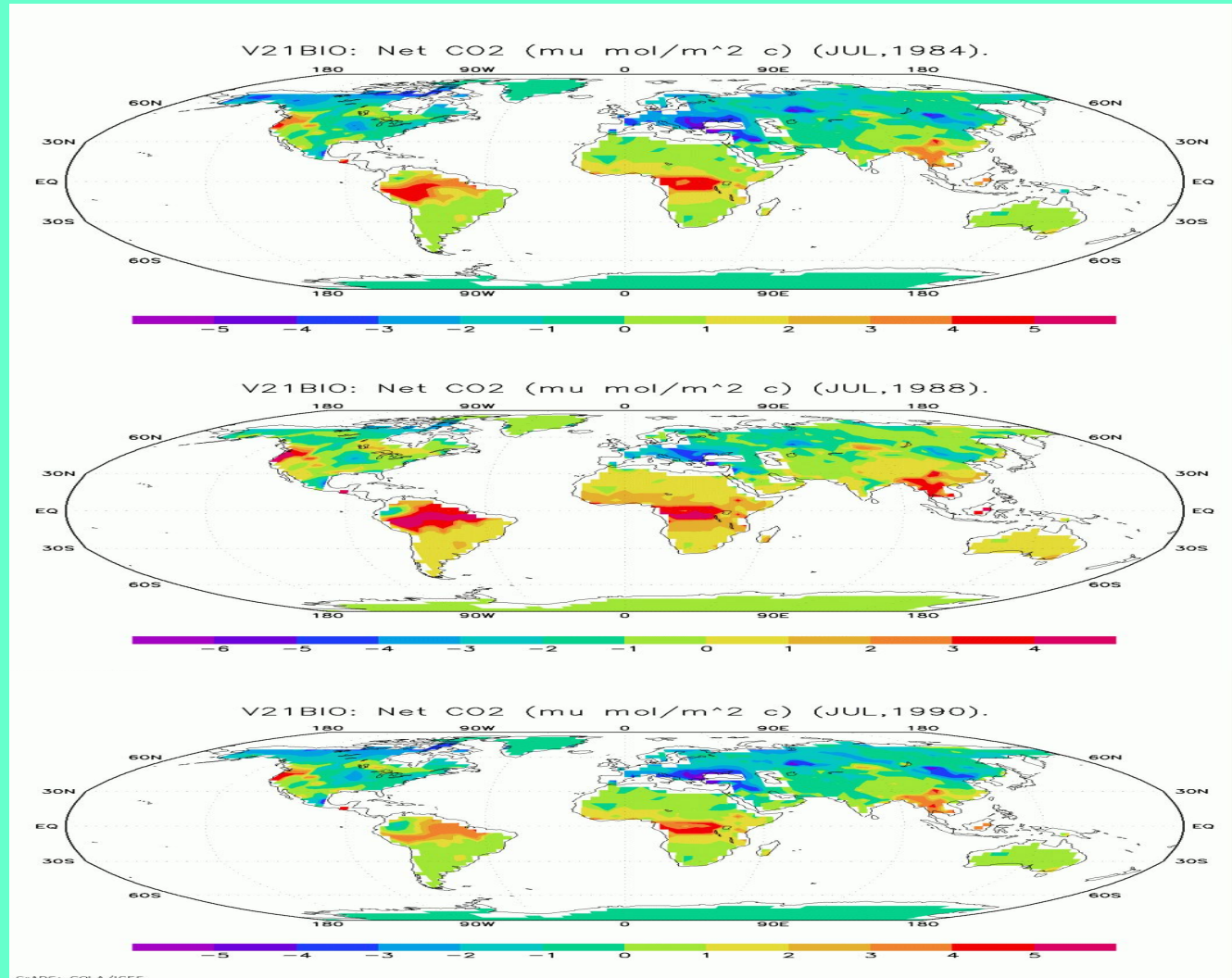


## Что прогнозирует модель биосферы поверхности земли:

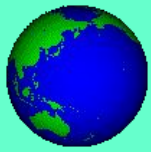
- **Vegetation composition, structure**
- **Radiative fluxes**
- **Momentum and energy fluxes**
- **Vegetation and ground temperature**
- **Soil and lake temperature**
- **Surface hydrology (snow, runoff, soil water, canopy water etc.)**
- **CO<sub>2</sub> emissions from terrestrial vegetation**
- **CH<sub>4</sub> emissions from natural wetlands**
- **Soil –biogenic emission of NO<sub>x</sub> etc.**



## Глобальные потоки CO<sub>2</sub> (mmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> c)





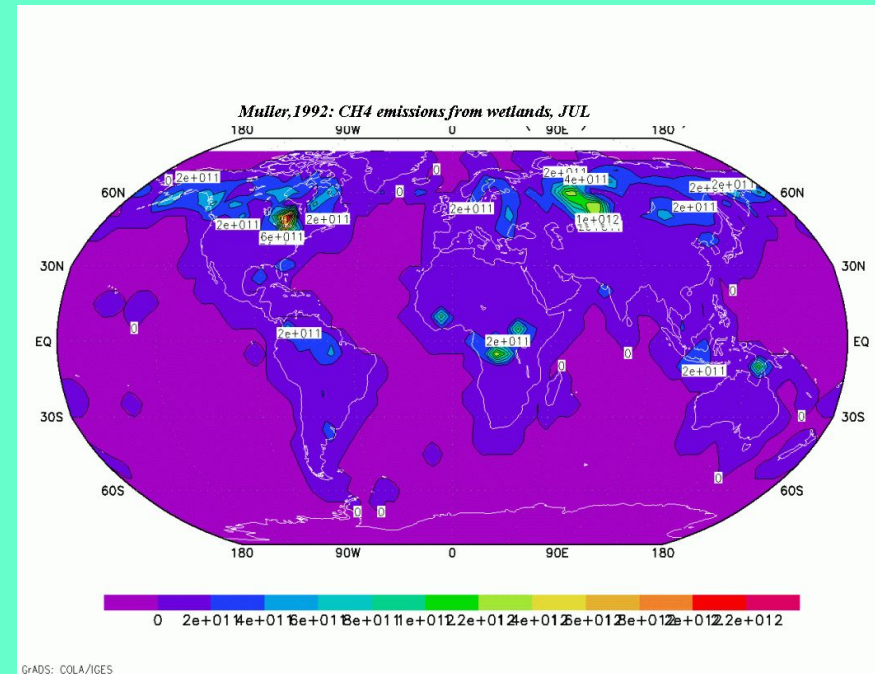
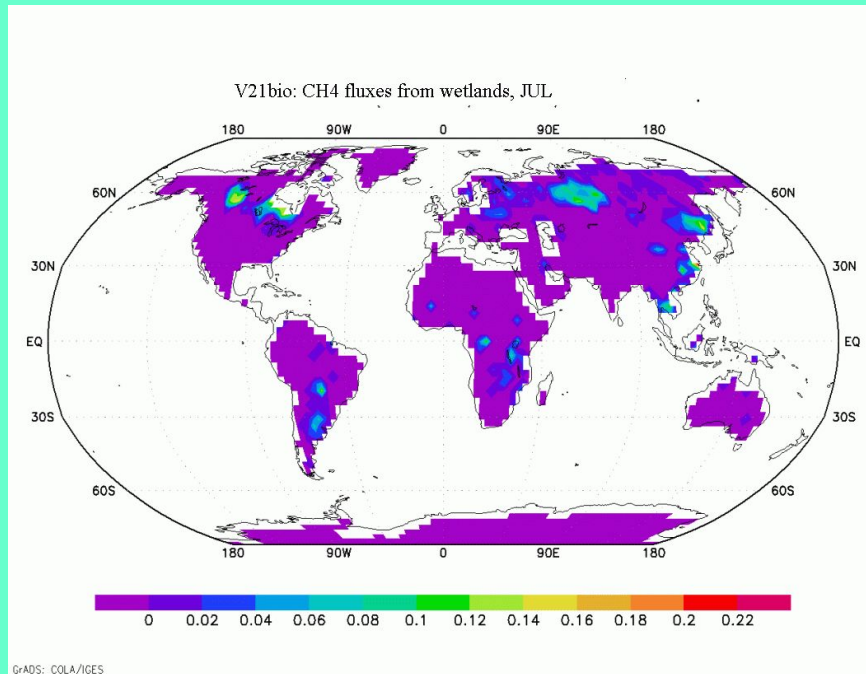


## Biochemical fluxes (coupled framework) CH<sub>4</sub>

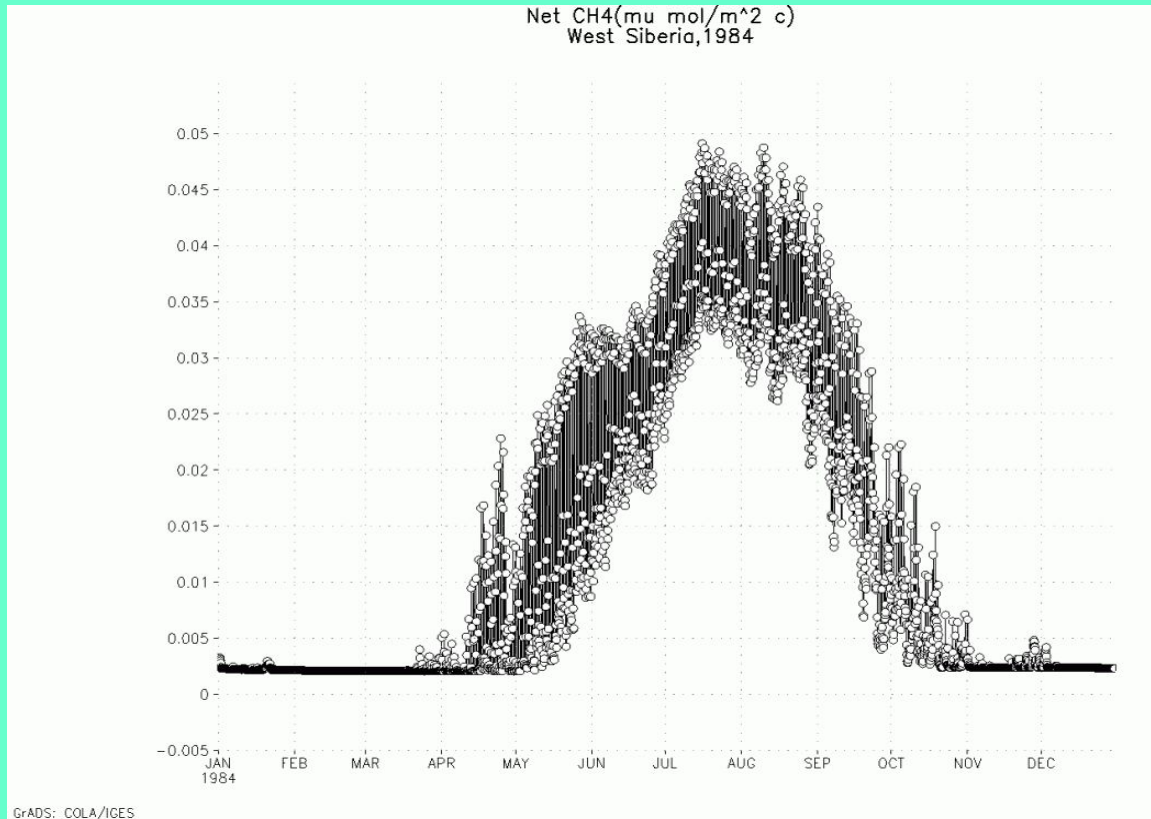
coupled simulation

against

observations (Muller, 1992)

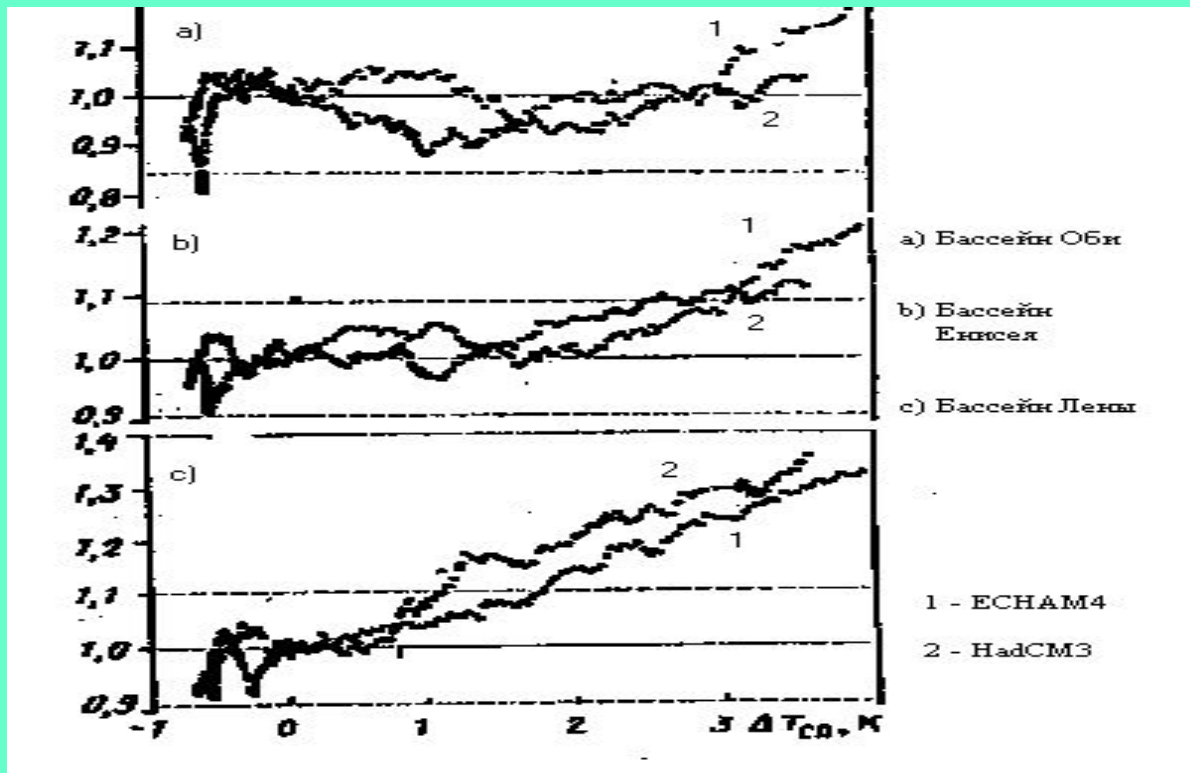


CH4 emissions from natural wetlands (coupled framework)  
West Siberia





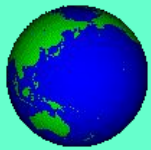
ECHAM4 and HadCM3 climate models  
Effect on river discharge of increasing surface temperature





## Глобальная модель динамики растительности. Цели

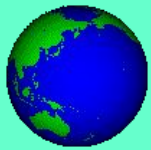
- Глобальная модель динамики вегетации (МДВ) предназначена для описания долгопериодного взаимодействия климата и растительного покрова поверхности.
- Модель динамики вегетации используется совместно с моделью КС. Распределение и структура растительности в значительной степени контролируют биофизические процессы взаимодействия в модели КС.



## Глобальная модель динамики растительности. Описание

**Три типа процессов:**

- ***Мгновенные процессы*** (биофизические и биохимические) – мгновенный обмен энергией, влагой, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и т.д.
- ***Быстрые процессы*** – ежедневное появление и отмирание листвы
- ***Медленные процессы*** – межгодовая изменчивость в распределении и структуре растительности

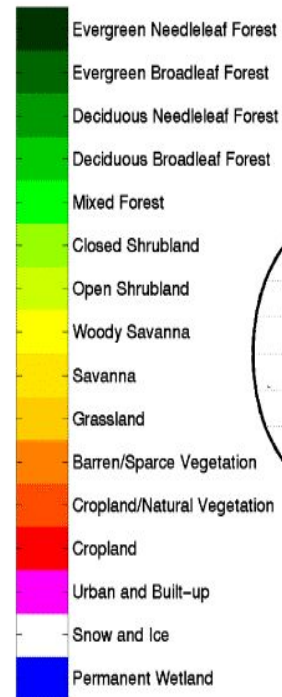


# Растительные биомы. Функциональные типы растительности

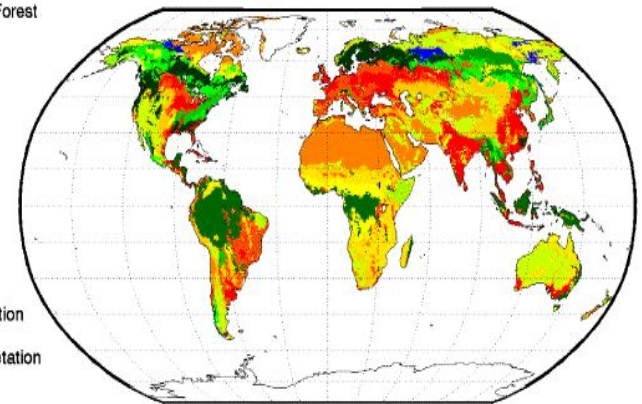
Структура биомов определяется:

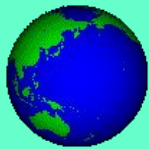
- Параметрами физиологии растений
- Оптическими свойствами кроны
- Листовым индексом

Воспроизведение растительных биомов



карта растительных биомов





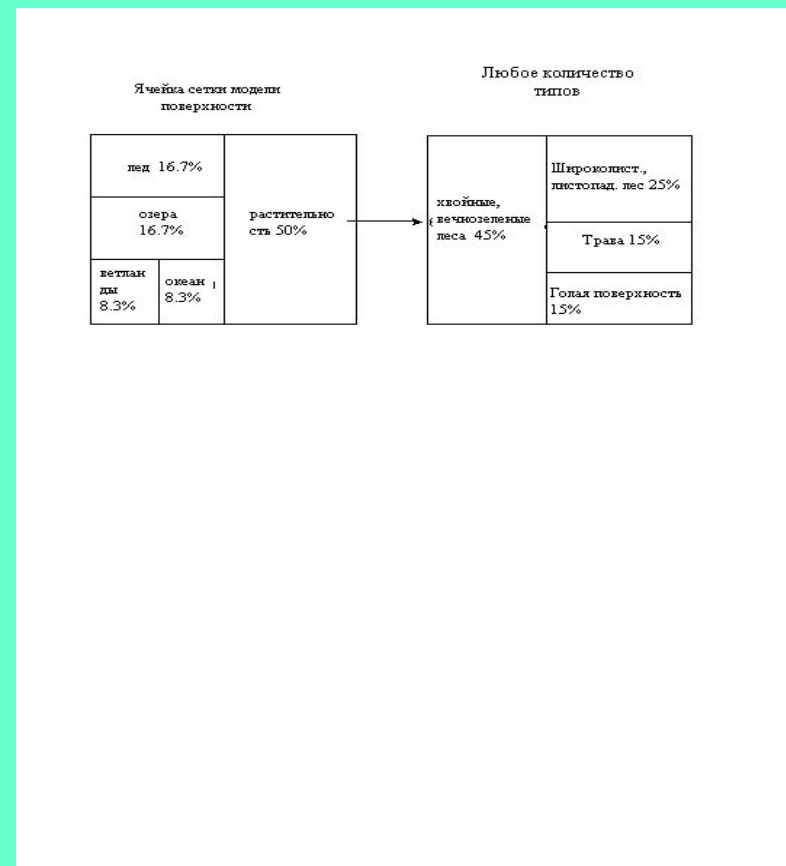
# Воспроизведение растительного покрова

## Простые модели

- Явно описывают процессы (появление, рост, отмирание), которые ведут к изменению структуры растительности при изменении климата; деревья конкурируют между собой за ресурсы (ФАР, вода, питательные вещества)
- Изменения в распределении функциональных типов растительности (ФТР) описываются неявно в результате изменения NPP и биомассы ФТР;  $\tau_v$ ,  $\tau_f$  - характерные временные масштабы этих процессов;  $f$  - потенциальный вид деревьев,  $v$  - часть ячейки, занимаемой данным видом деревьев

$$\frac{df}{dt} = \frac{1}{\tau_f} (f^* - f)$$

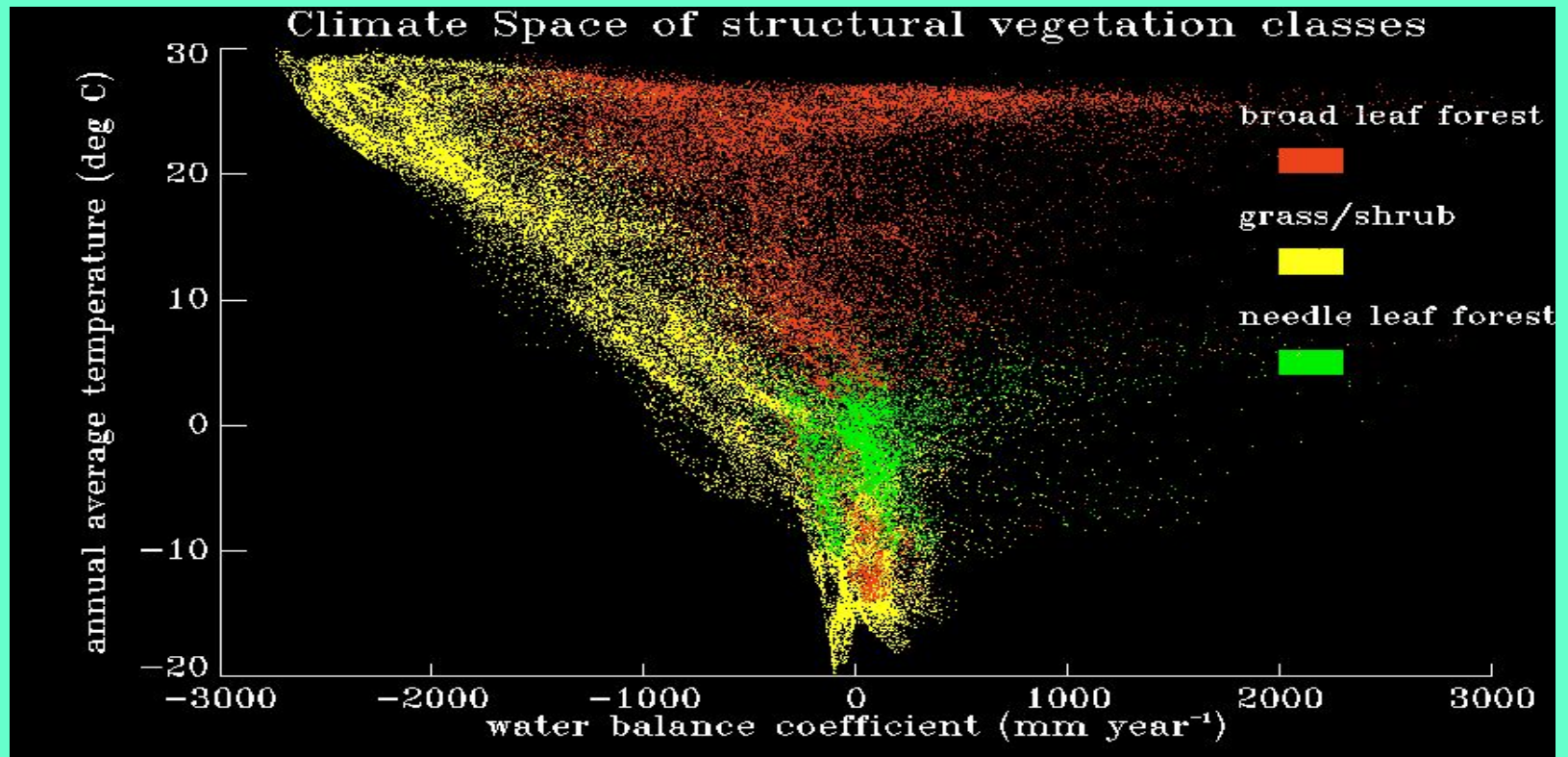
$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\tau_v} (v^* - v)$$





## Фазовое климатическое пространство МДВ

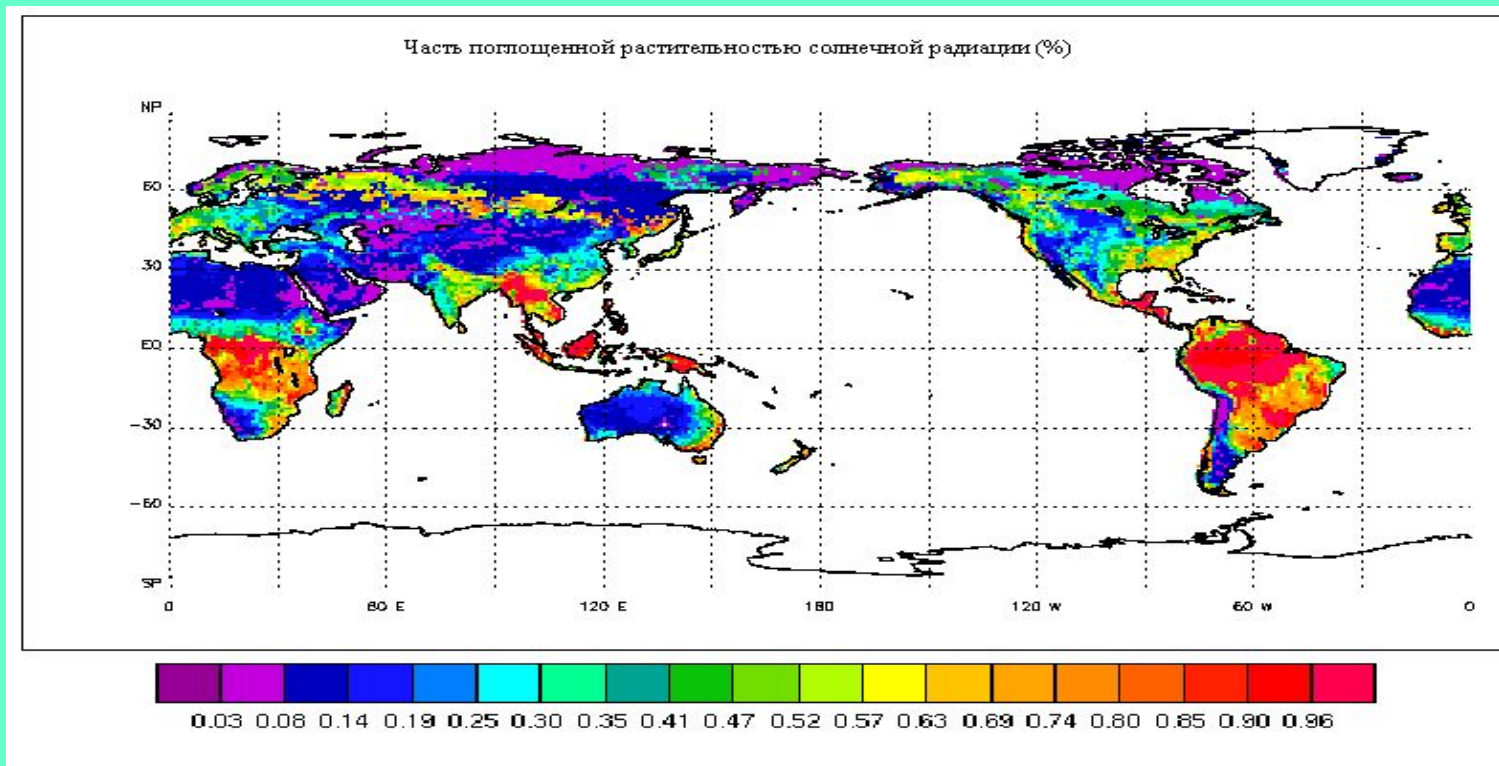
- В координатах среднегодовой температуры(С) и коэффициента водного баланса (мм/год)



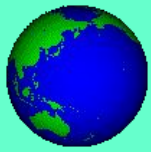


## Часть солнечной радиации поглощенной кроной растительности (%)

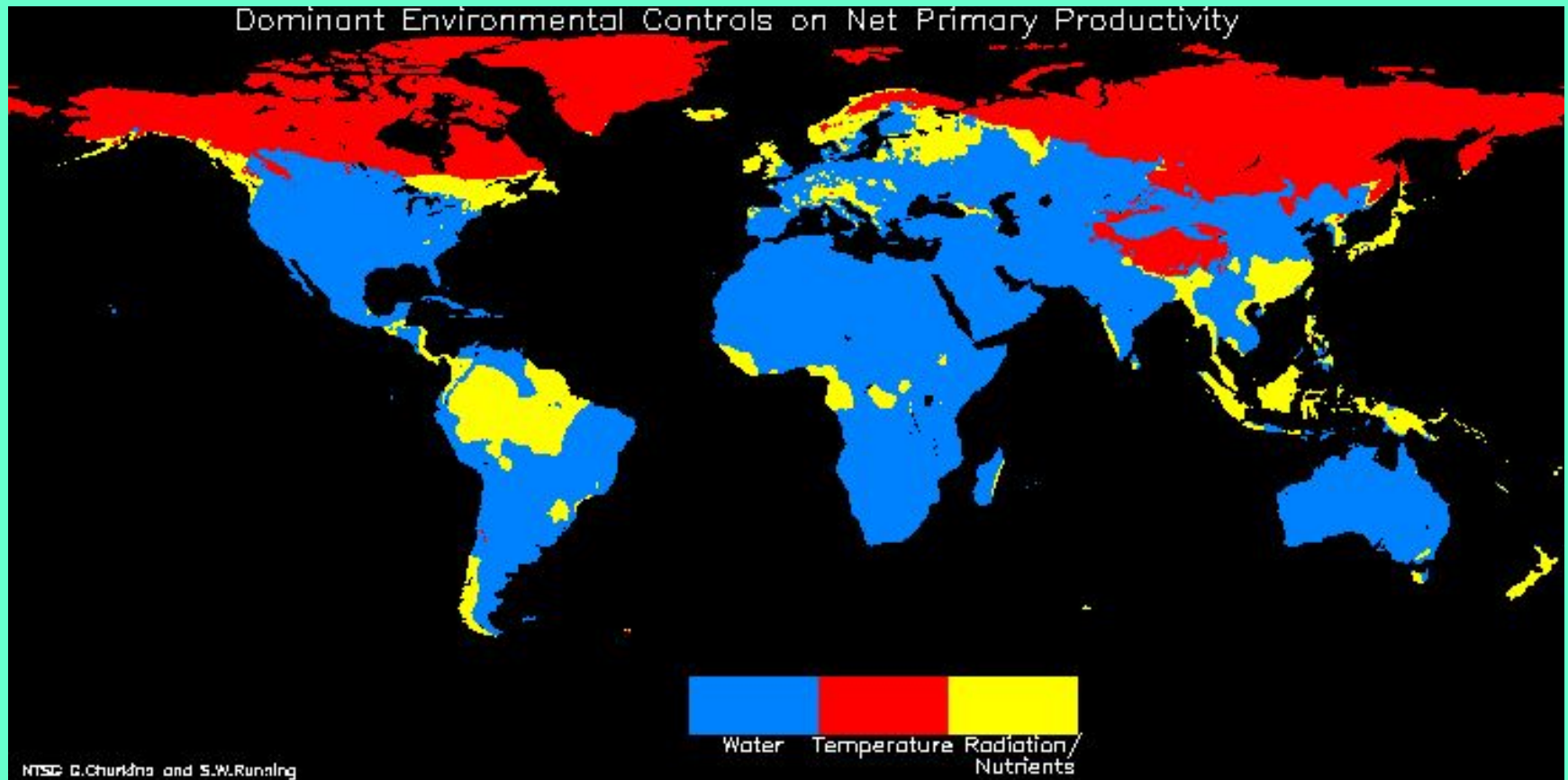
- Важнейший ресурс, получаемый растениями в результате конкуренции



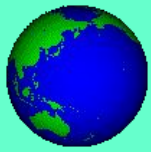




## Процессы, контролирующие образование NPP







# Динамика вегетации: 1998 – 2078 гг (сценарий NCAR – LSM&DGVM )

