Северный форум.
6 – 8 июня 2005г
Ханты-Мансийск.
ЮНИИ ИТ

Моделирование климата, процессов в биосфере и гидрологии поверхности

Крупчатников В.Н*., В.Н. Лыкосов**

(СибНИГМИ Росгидромета*, г. Новосибирск; ** Институт вычислительной математики РАН, г. Москва)

vkrup@ommfao1.sscc.ru

В докладе обсуждается текущее состояния 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, альбедо 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_2 в слое растительности и в почве; эмиссия метана от болотных экосистем

Atmospheric model
(INM/RAS)

- Terrain-following vertical coordinate (21 σ-levels)
- Semi-implicit formulation of integration in time
- Energy conservation finite-difference schemes (2.5°x 2.5°)
- Convection (deep, middle, shallow; mass-flux)
- Radiation (H_2O, CO_2, O_3, CH_4, N_2O, O_2; 18 spectral bands for SR and 10 spectral bands for LR)
- PBL (5 σ-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:**

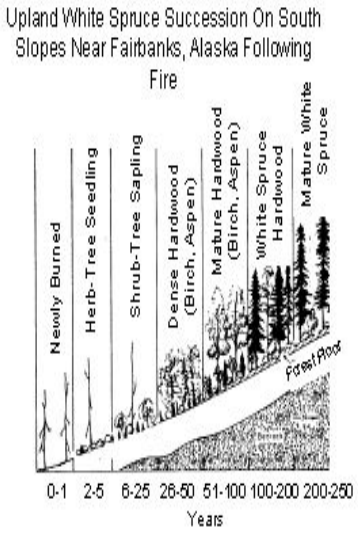
- **terrestrial photosynthesis and respiration of CO_2 from land surface vegetation and**
- **methane emissions from natural wetlands.**
- With the requirement that the model is implemented globally, many surface type needed to be included.
- Proposed version of the land surface model, coupled to atmosphere 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.

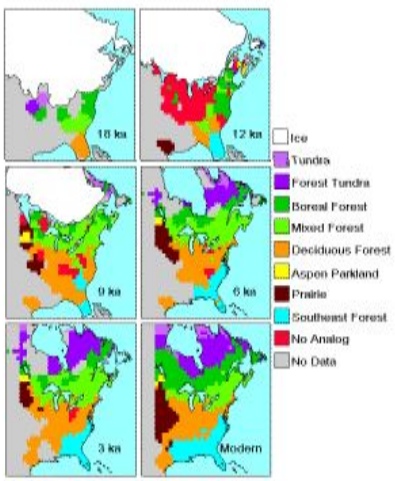
Биосфера поверхности - динамический компонент климатической системы Земли

- 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)

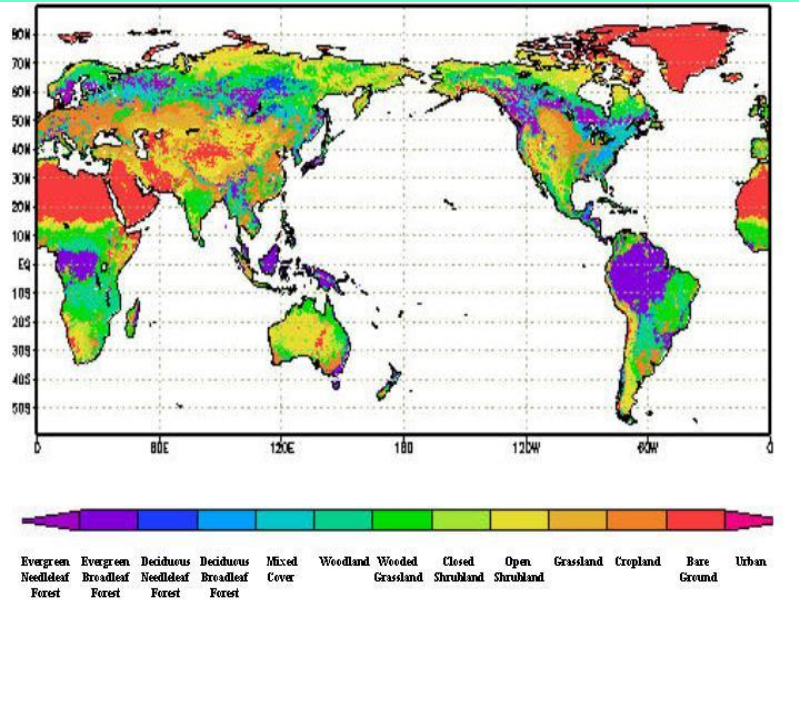




Copyright Bonan, G.B. (2002) Ecological Climatology: Concepts and Applications. Cambridge University Press, Cambridge

Структура экосистемы поверхности в модели биосферы

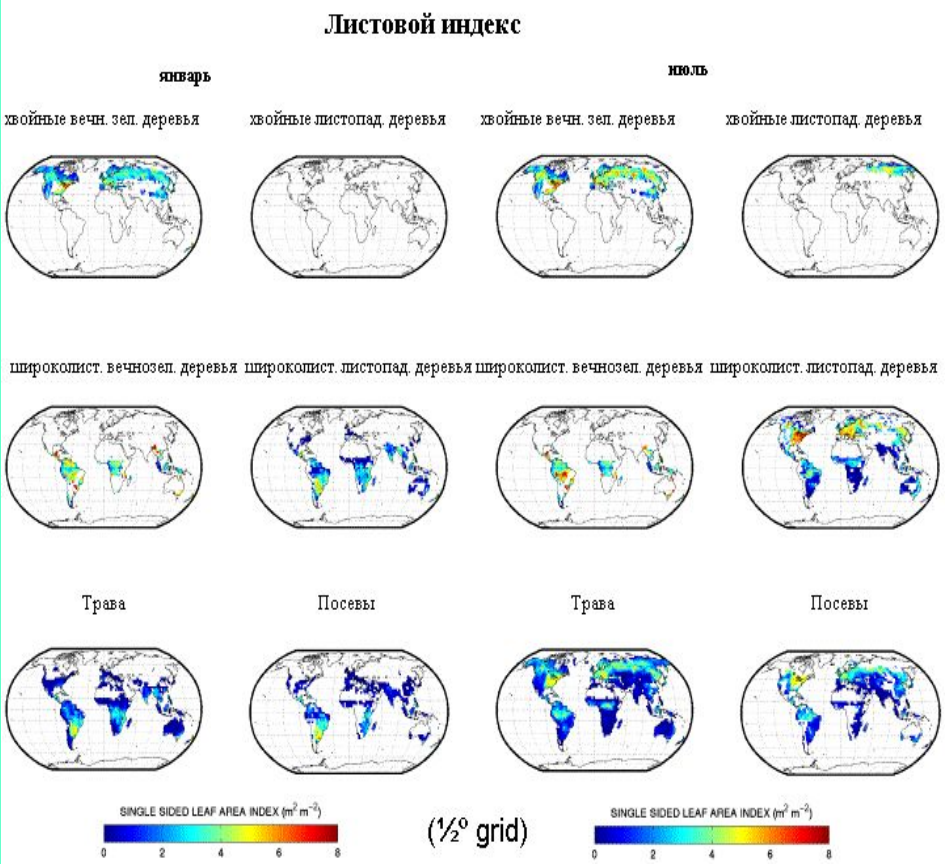
- **Типы поверхности (растительность, озера, ветланды, лед, голая поверхность) ячейки сетки**
- **Функциональные типы растительности (бореальный лес, тундра,…) ячейки сетки**
- **Углеродные и азотные пулы**
- **Фенология растительного покрова.**
- **Фотосинтез и устьичное сопротивление.**
- **Дыхание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



Фенология растений

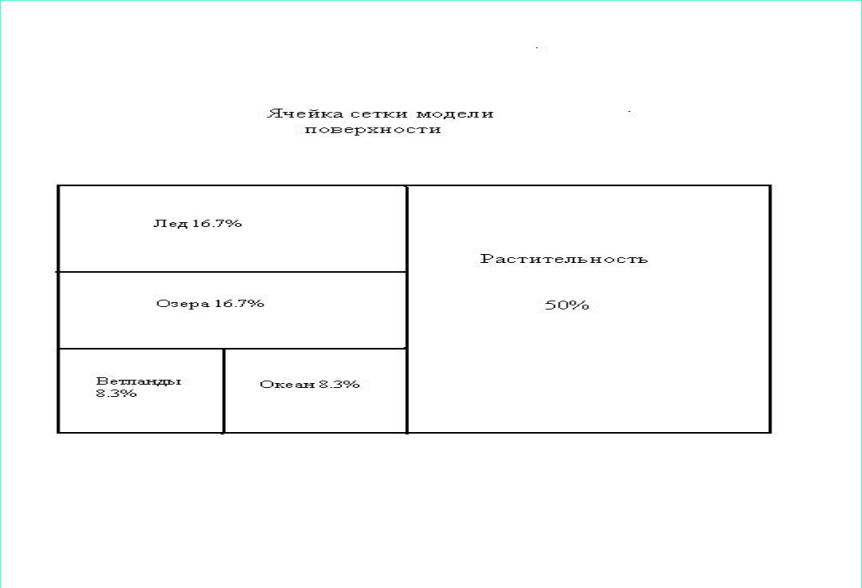
- Листовой индекс усваивается в модели ежедневно. Используются среднемесячные данные по листовому индексу из работы (Dorman, Sellers, 1989)
- Делается поправка на толщину снега, покрывающего растение
- Сезон роста определяется как период с температурой вегетации больше, чем некоторое минимальное значение,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

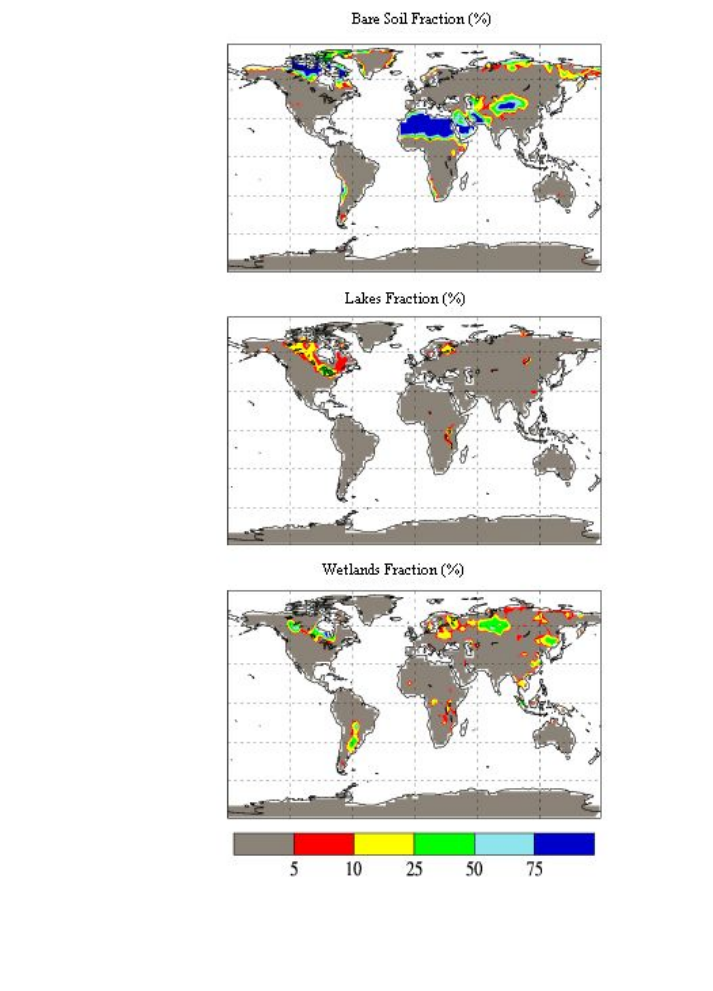
$$f_{sn} = 1 - \frac{z_{sn} - z_{bot}}{z_{top} - z_{bot}}$$



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

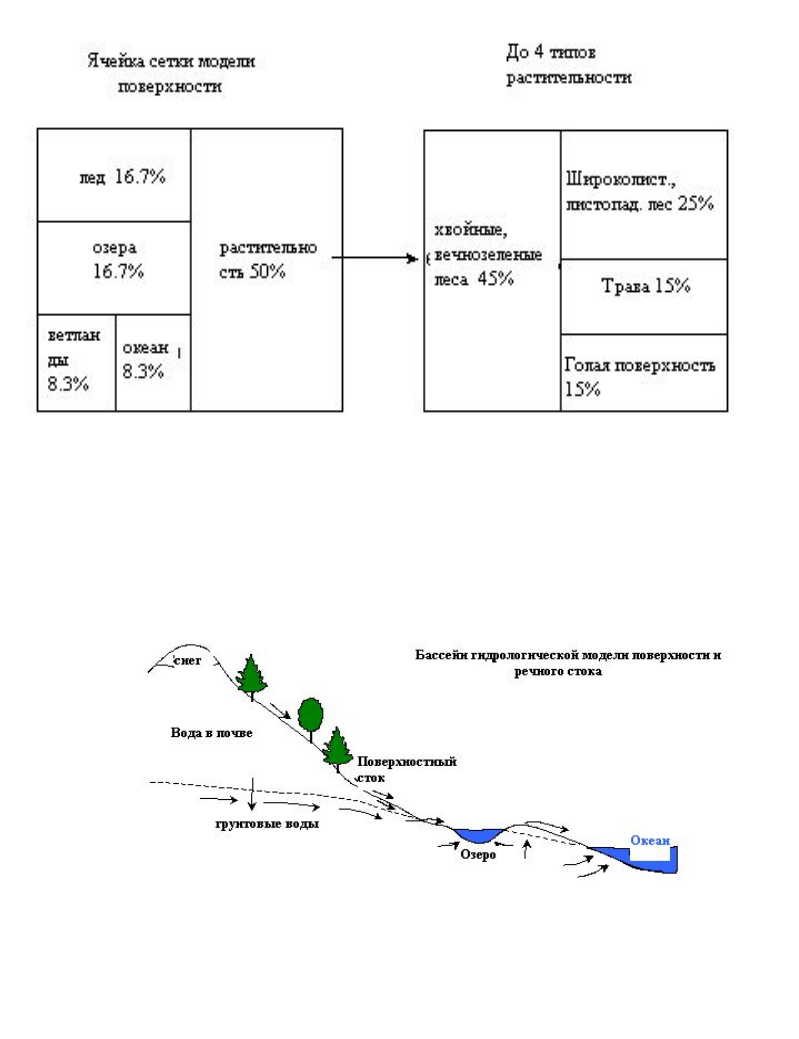
- Каждая сеточная ячейка биофизической модели ячейки сетки поверхности состоит из пяти горизонтально однородных частей:
  1. Растительность;
  2. Ветланды;
  3. Озера;
  4. Лед;
  5. Океан





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:

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

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 Tv < Tmin;

Cs- concentration CO2 on a leaf surface;

Ei - pressure of the saturation vapour inside a leaf;

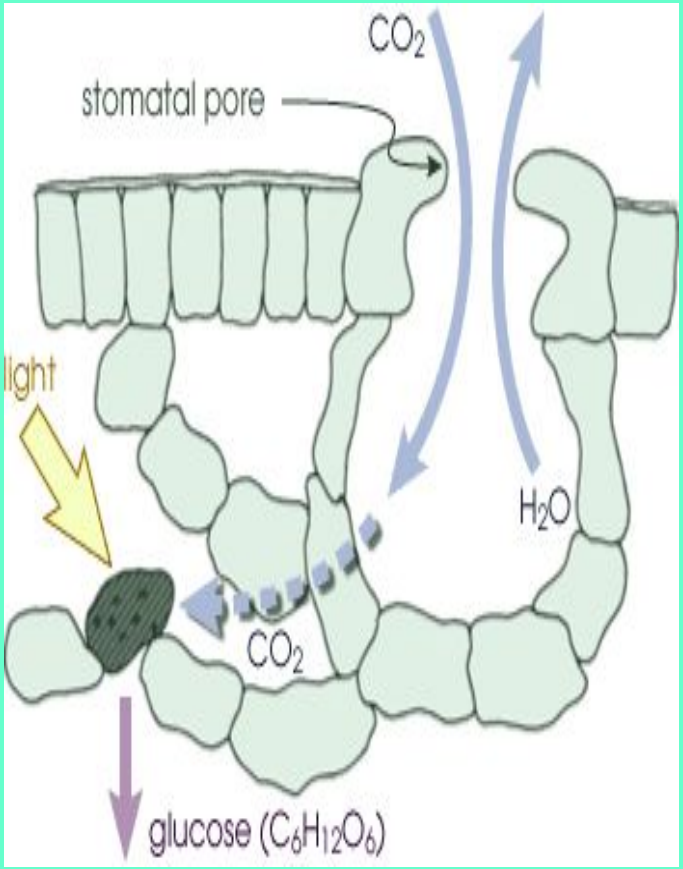
Es - pressure vapour on a leaf surface ;

B - minimal stomatal conductivity with A=0;

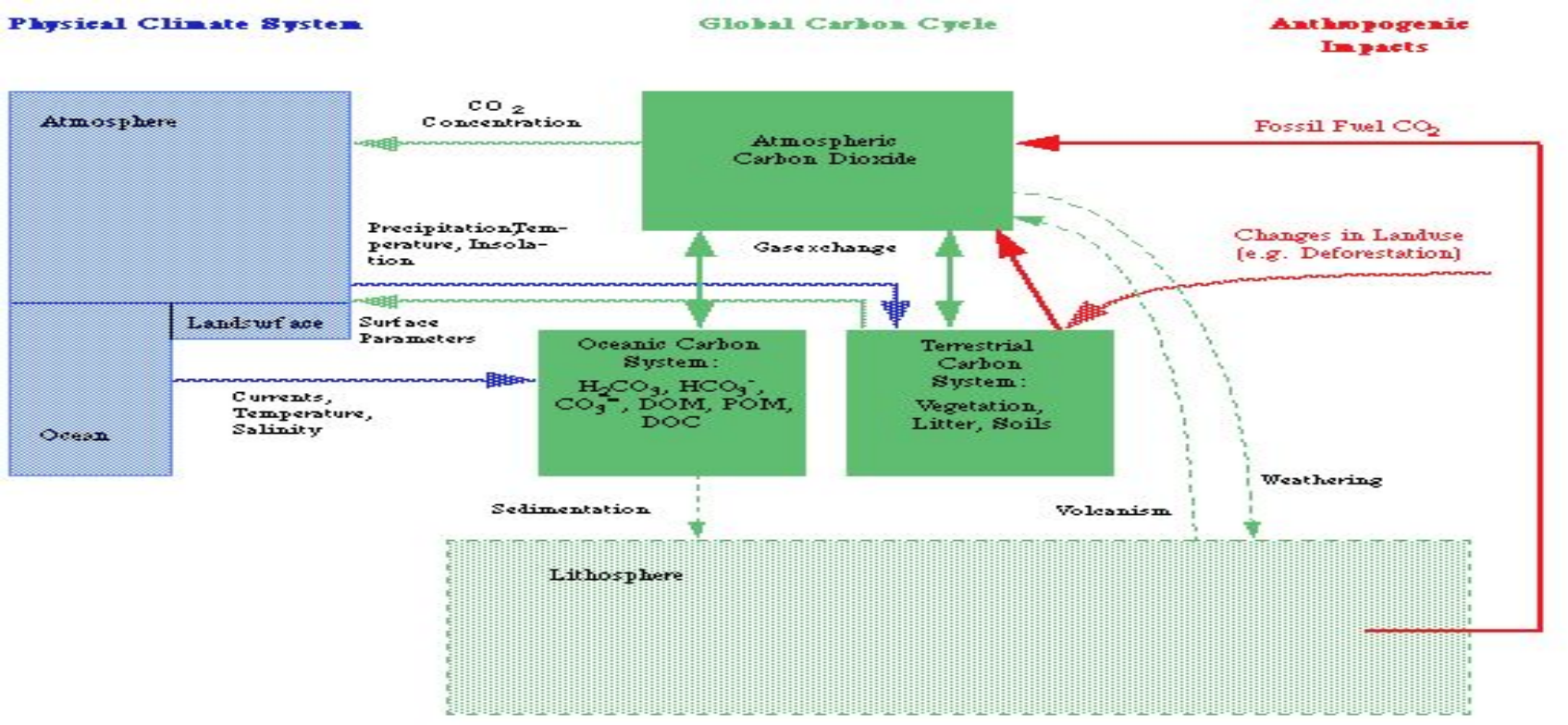
Patm – atmospheric pressure.

A = min(Wc, Wj, We)

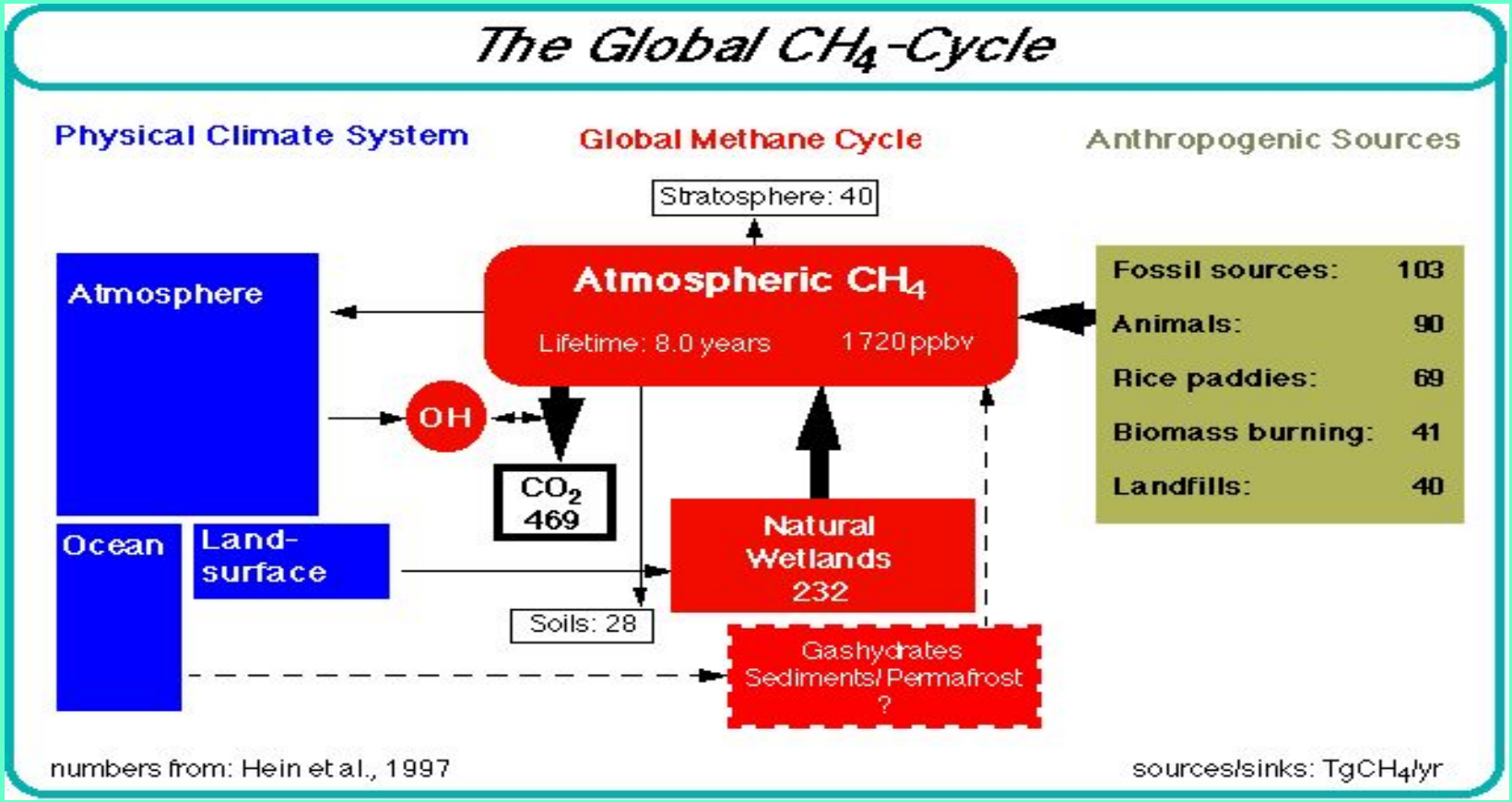
Wc, Wj, We – determined from model by Farquhar et al. (1980) and Collatz et al. (1992)



Биохимические потоки. CO2.



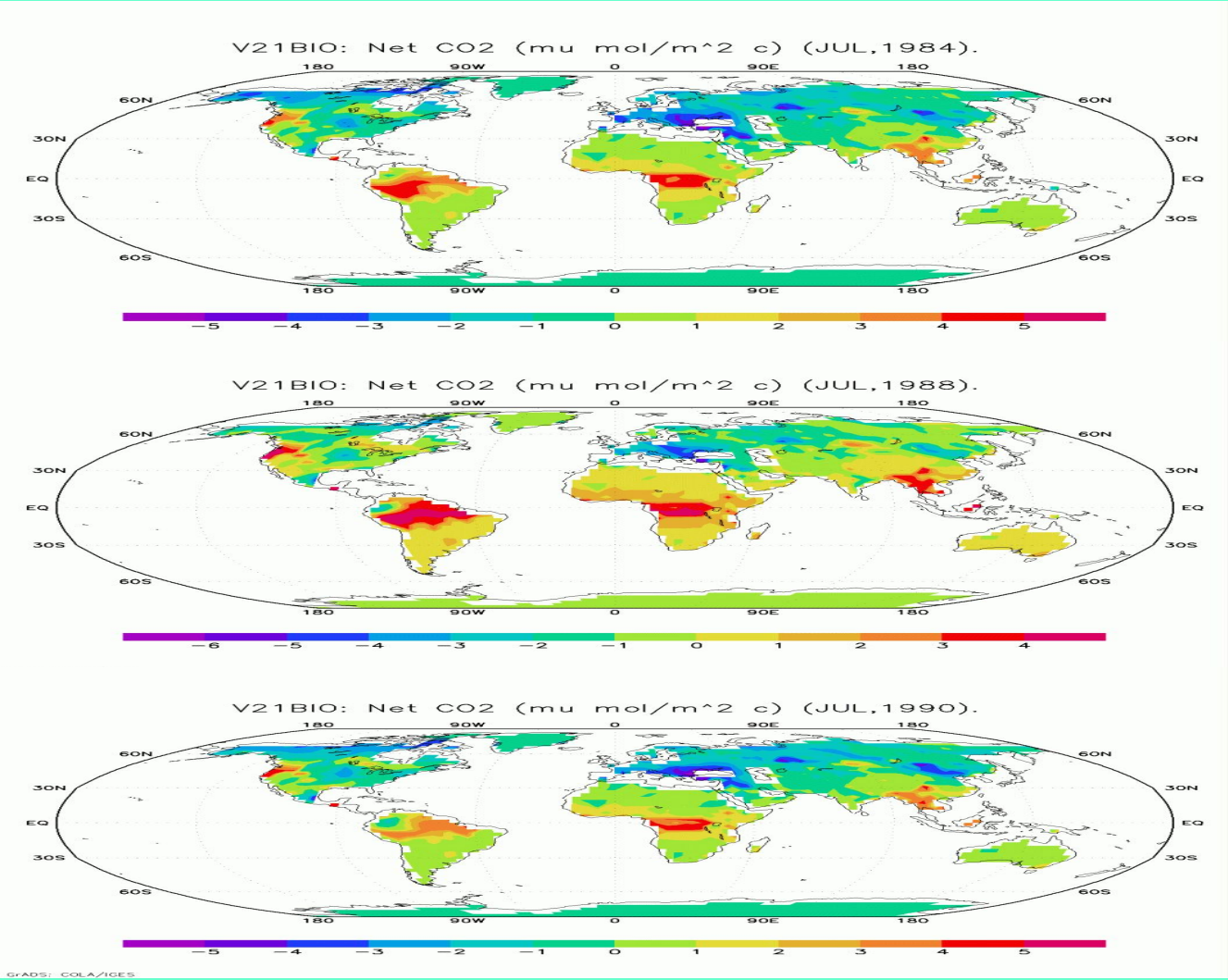
Биохимические потоки. CH4



Что прогнозирует модель биосферы поверхности земли:

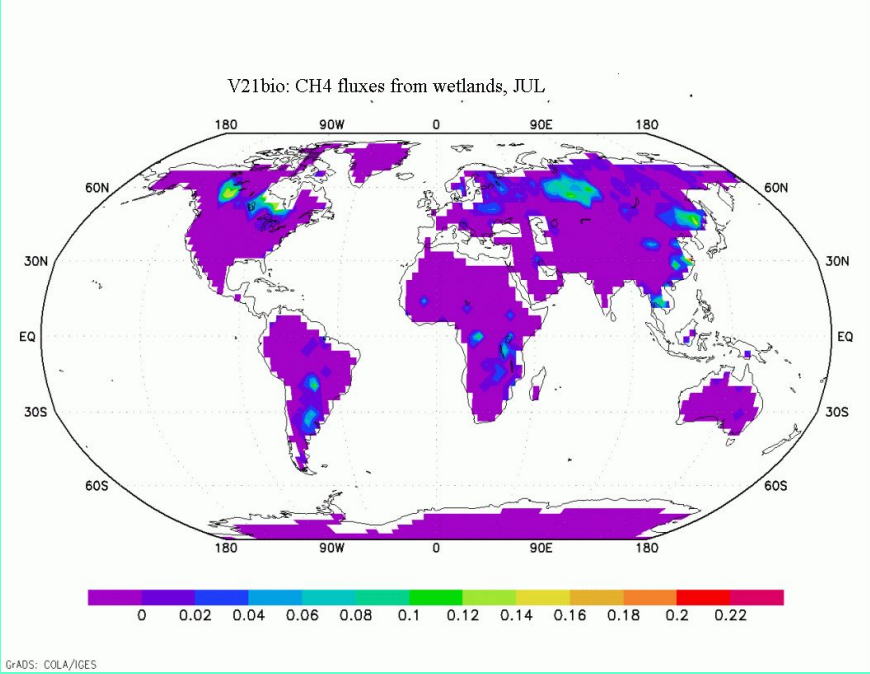
- **Vegetation composition, structure**
- **Radiative fluxes**
- **Momentum and energy fluxes**
- **Vegetation and ground temperature**
- **Soil and lake temperature**
- **Surface hydrology (snow, runoff, soil water, canopy water etc.)**
- **CO_2 emissions from terrestrial vegetation**
- **CH_4 emissions from natural wetlands**
- **Soil –biogenic emission of NO_x etc.**

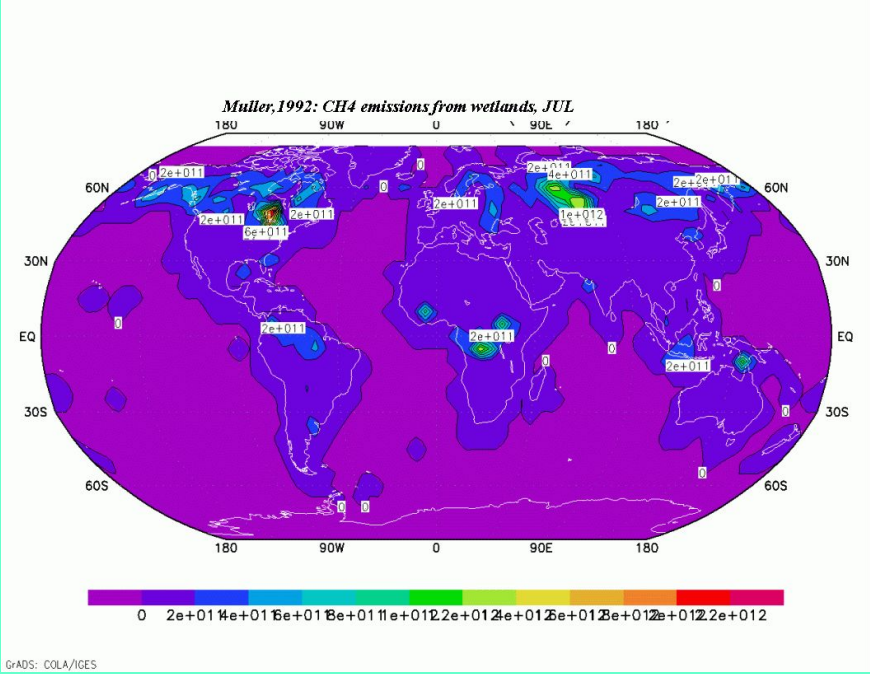
Глобальные потоки CO2 (mmol CO2/m^2 c)



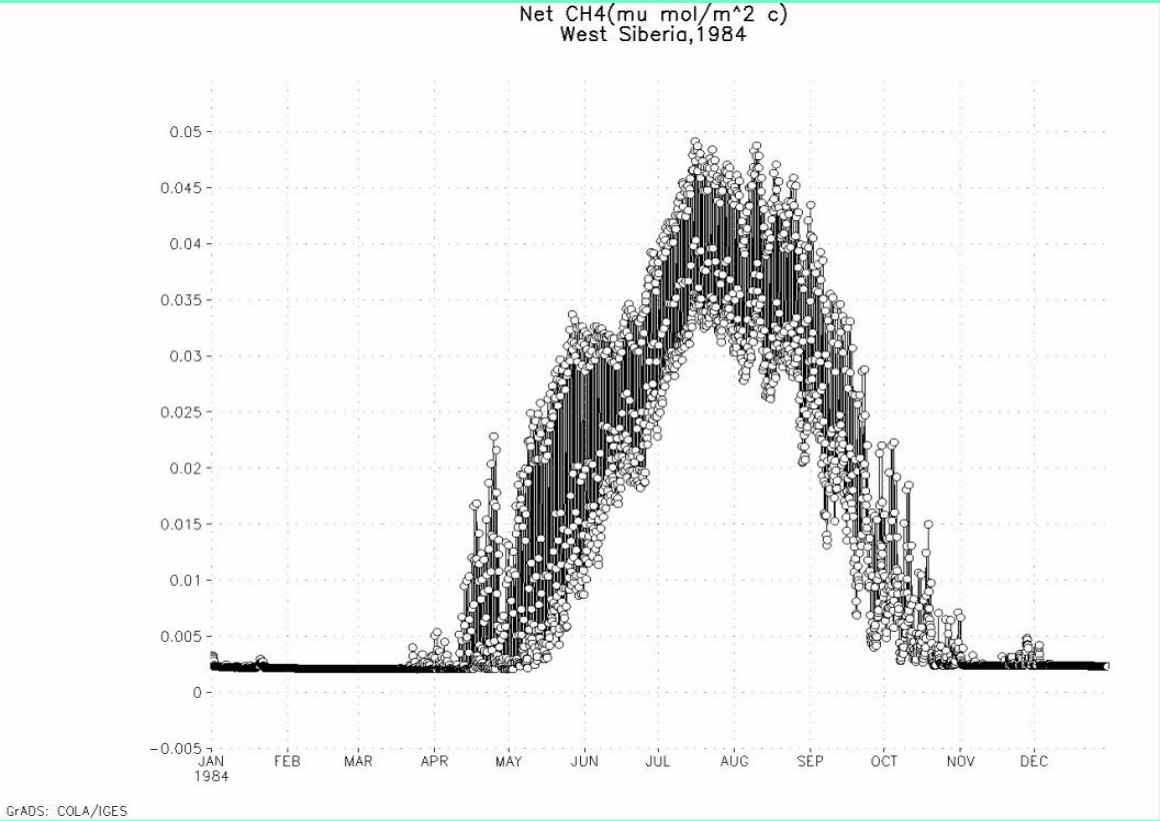
Biochemical fluxes (coupled framework)
CH4

coupled simulation against observations (Muller,1992)

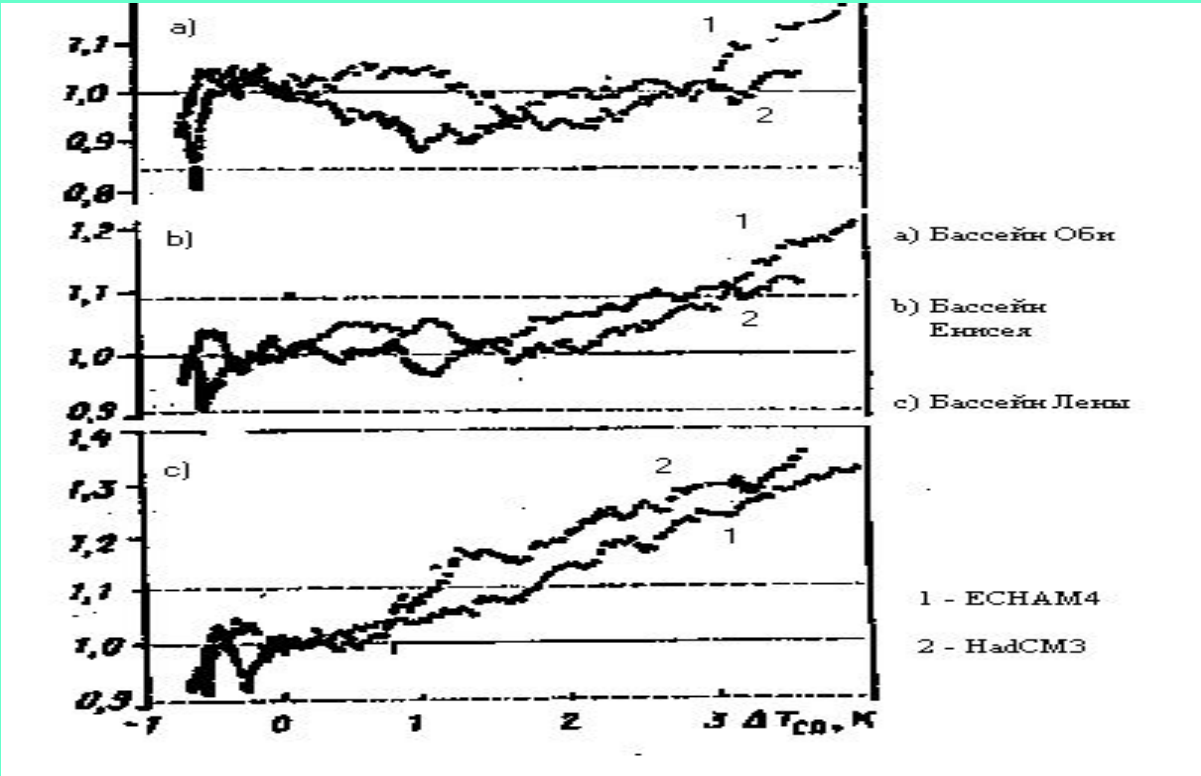




CH4 emissions from natural wetlands (coupled framework)
West Siberia



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

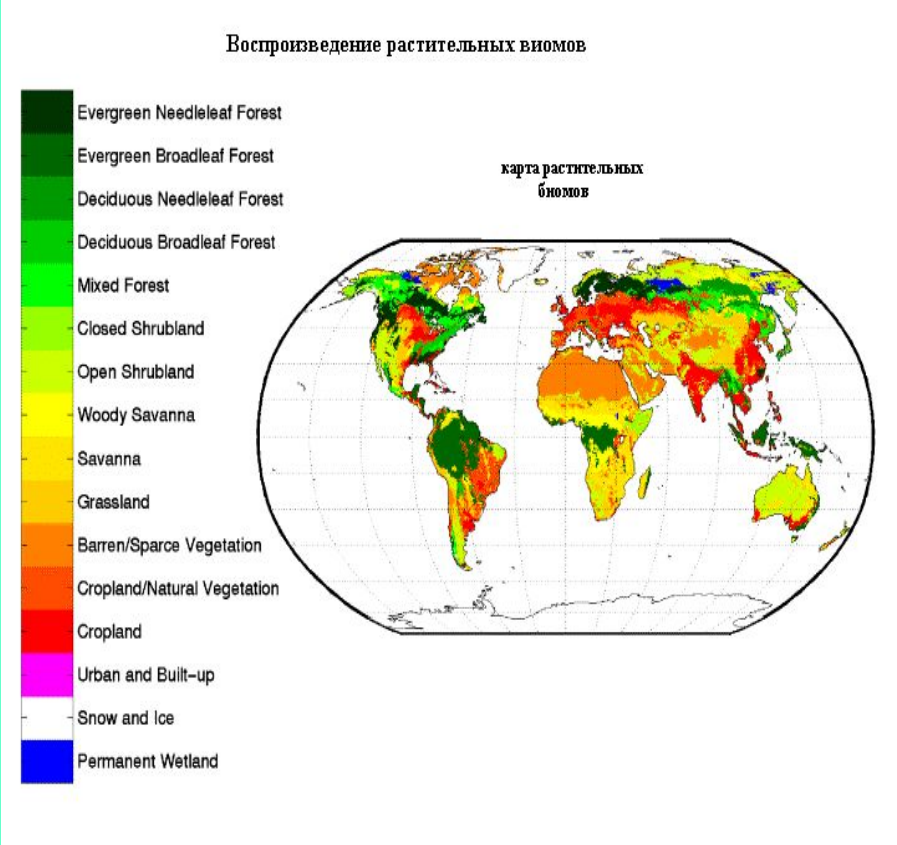
Три типа процессов:

- ***Мгновенные процессы*** **(биофизические и биохимические) – мгновенный обмен энергией, влагой, CO_2, CH_4 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**



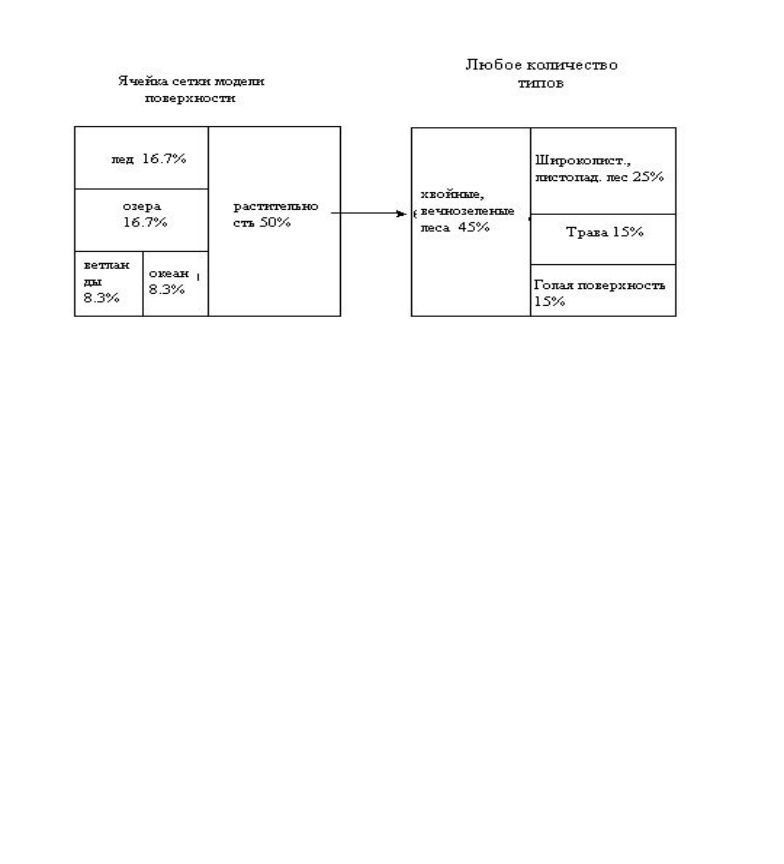
Воспроизведение растительного покрова

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; τ_v , τ_f - характерные временные масштабы этих процессов; f - потенциальный вид деревьев, v – часть ячейки, занимаемой данным видом деревьев**

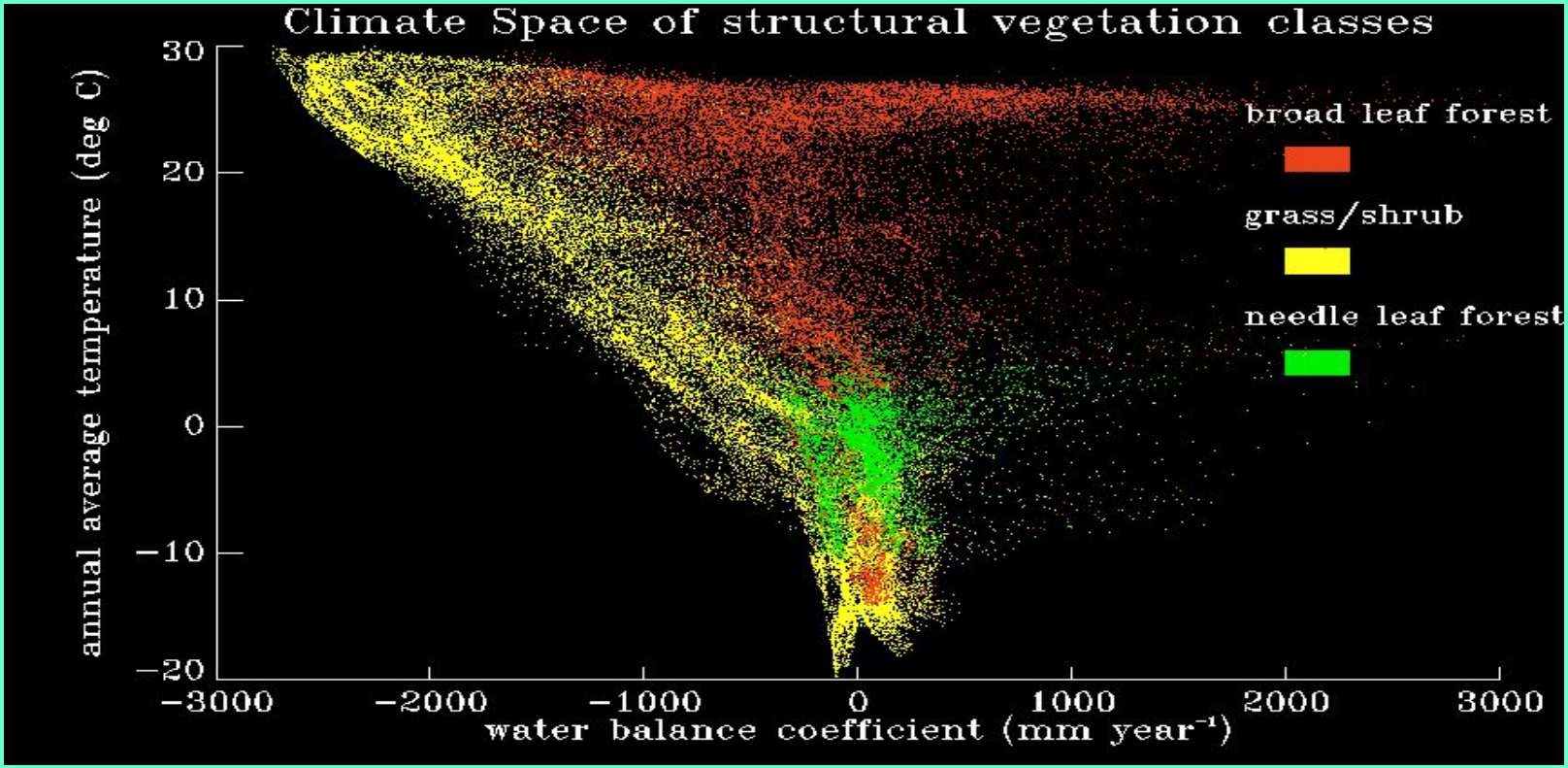
$$\frac{df}{dt} = \frac{1}{\tau_f}(f^* - f)$$

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



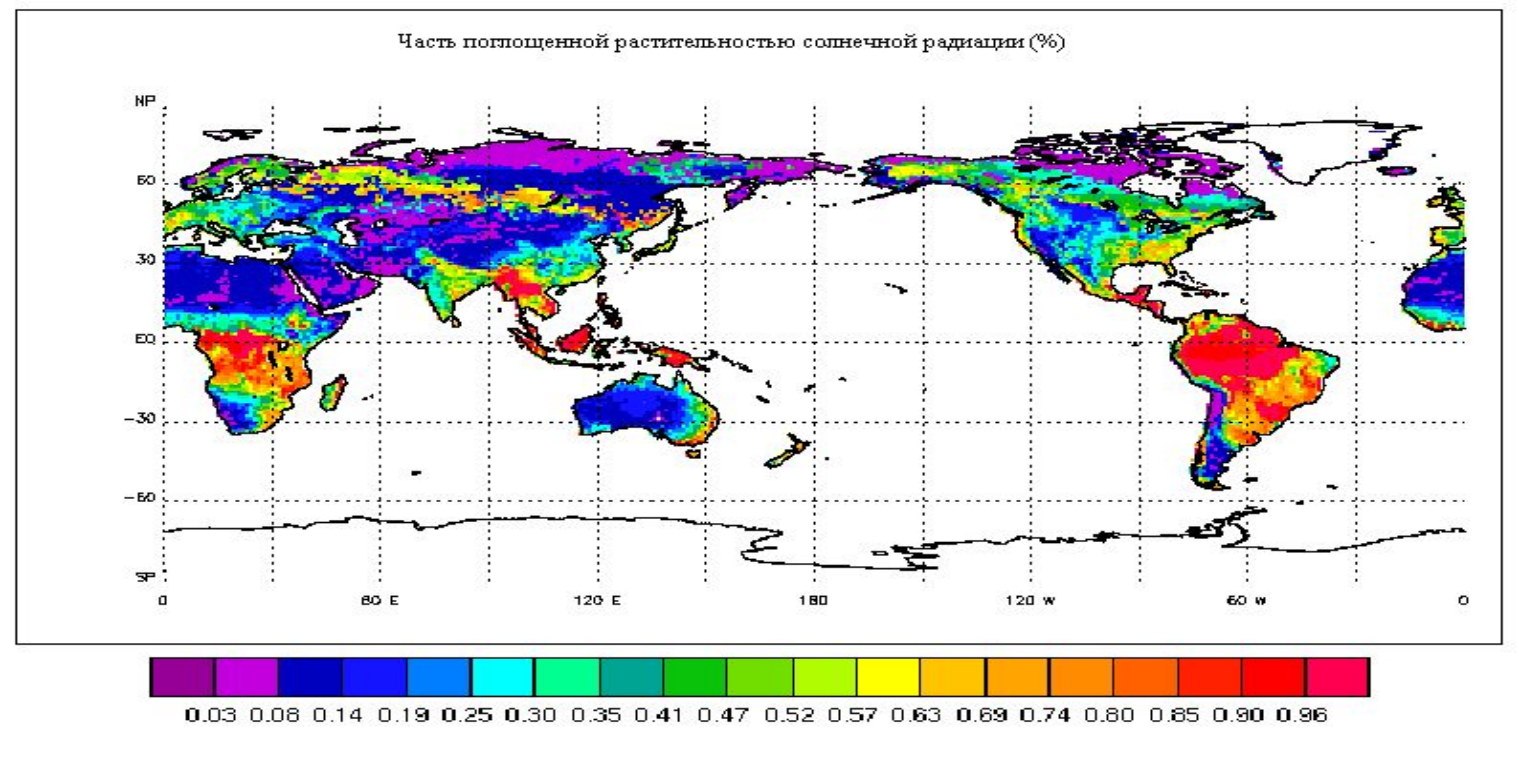
Фазовое климатическое пространство МДВ

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

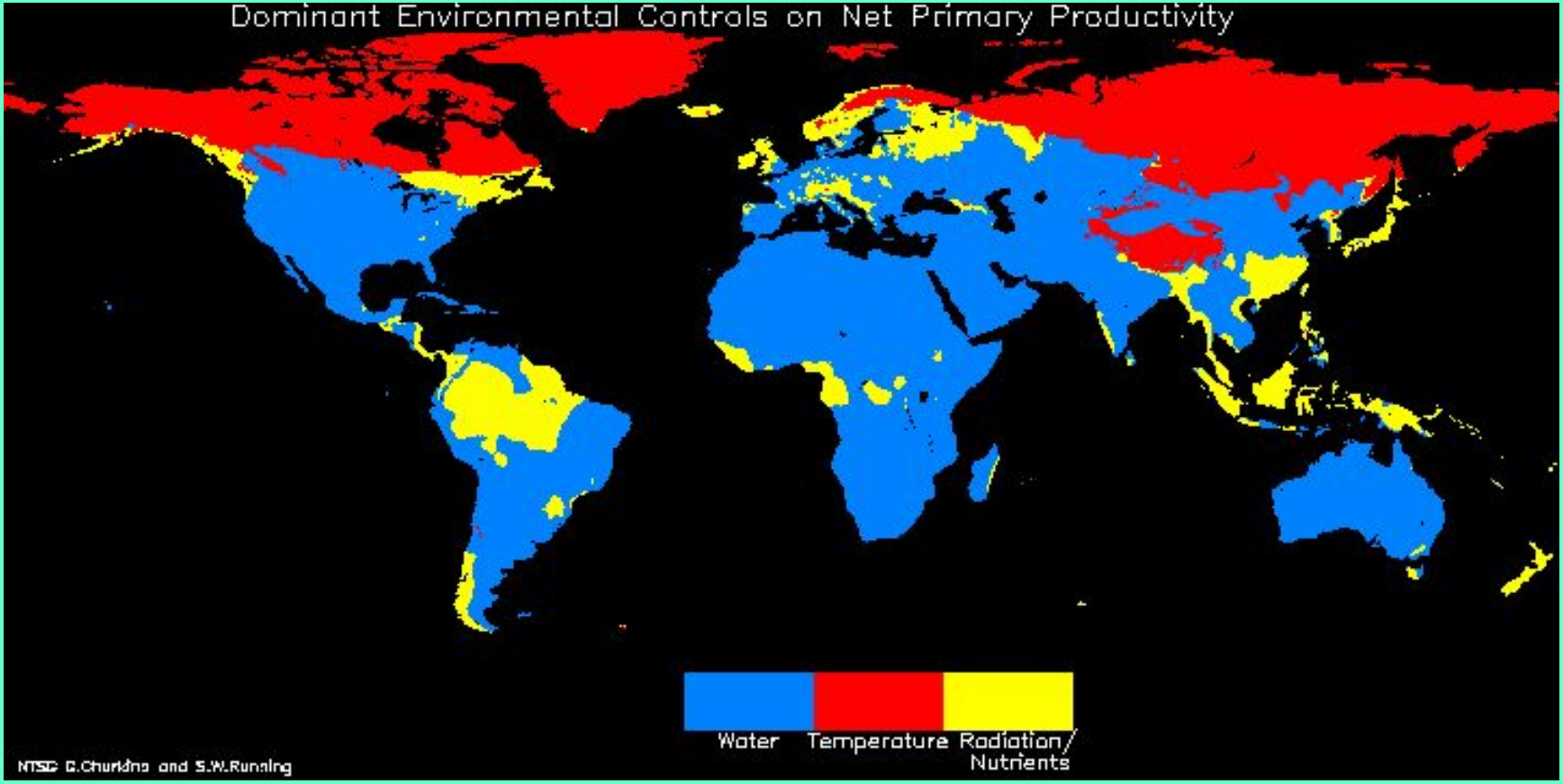
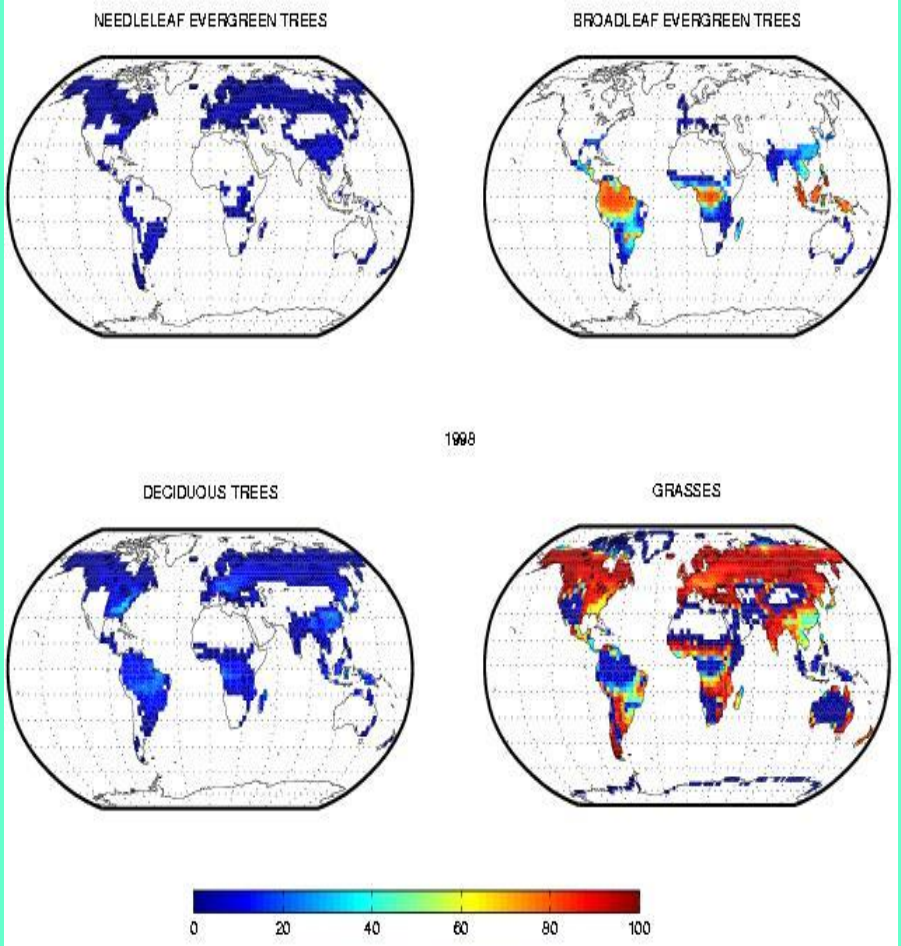
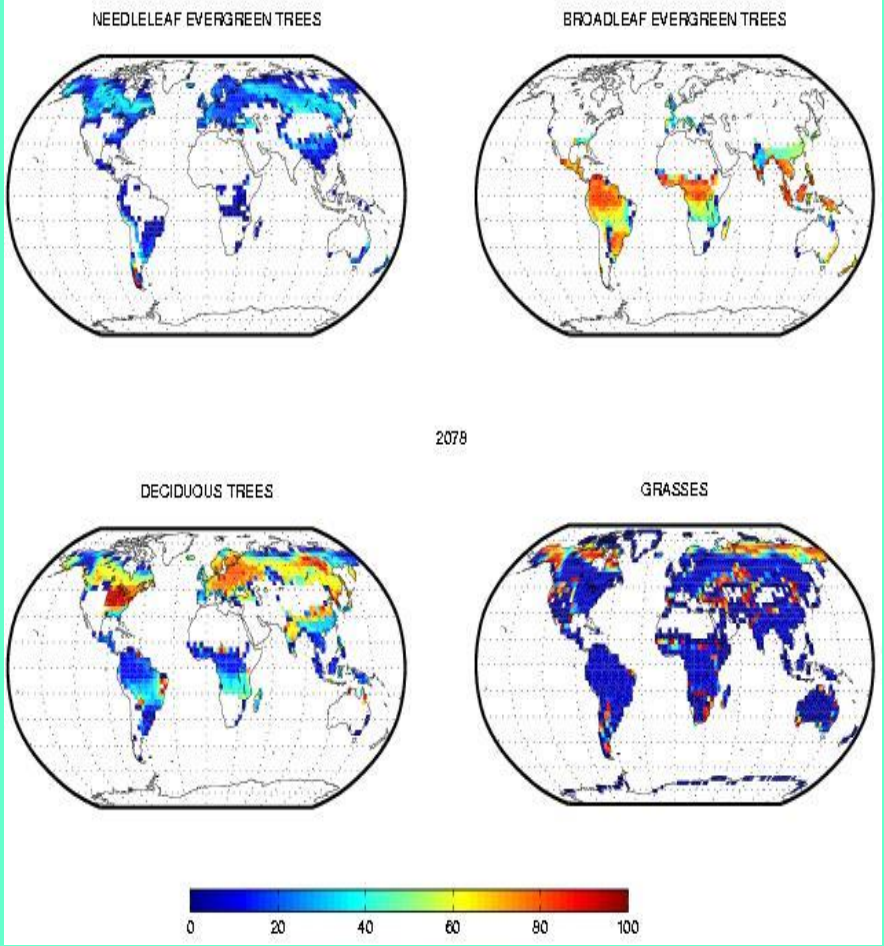


Часть солнечной радиации поглощенной кроной растительности (%)

- Важнейший ресурс, получаемый растениями в результате конкуренции



Процессы, контролирующие образование NPP



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