

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)

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 CO₂ 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 ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)
- 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 CO₂ 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

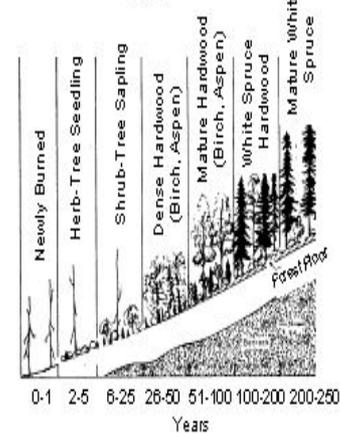
- Изменение структуры растительности как реакция на изменения климата оказывает обратное влияние на климат. Обратное влияние осуществляется через обмен энергией, влажностью, моментом, парниковыми газами и минеральным аэрозолем. Сейчас стало ясно, что при изменении структуры растительности ее распространения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

- Примеры:

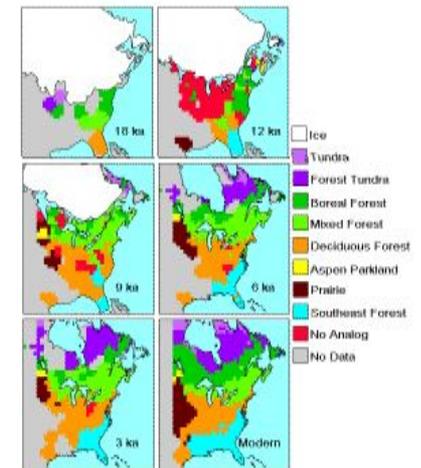
Климат и экосистема Северной Африки (Braconnot et al., 2000; Hoelzmann et al., 1998; Jolly et al., 1998; Prentice et al., 2000; Jousaume et al., 1999).

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



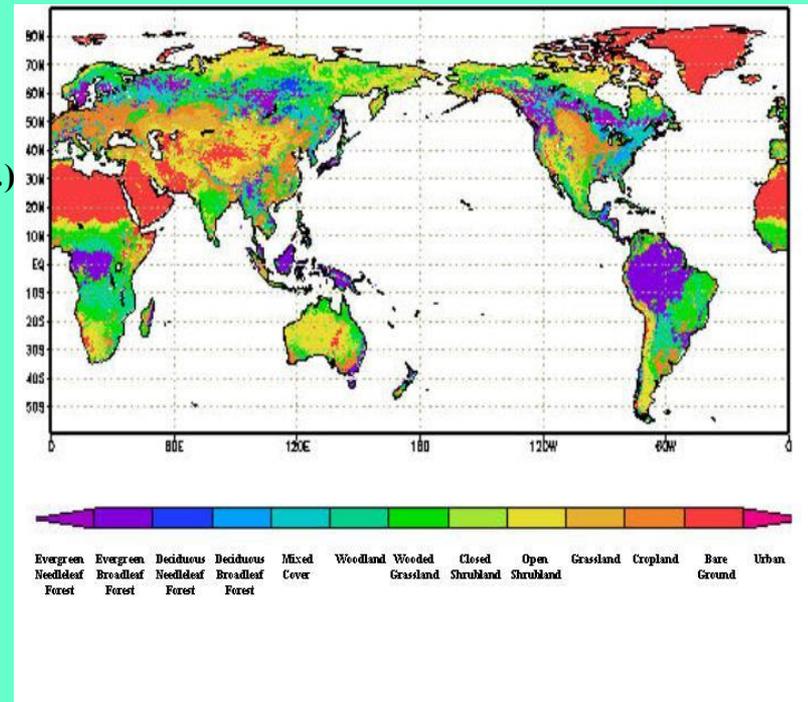
Vegetation Change Since Last Glacial Maximum





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.

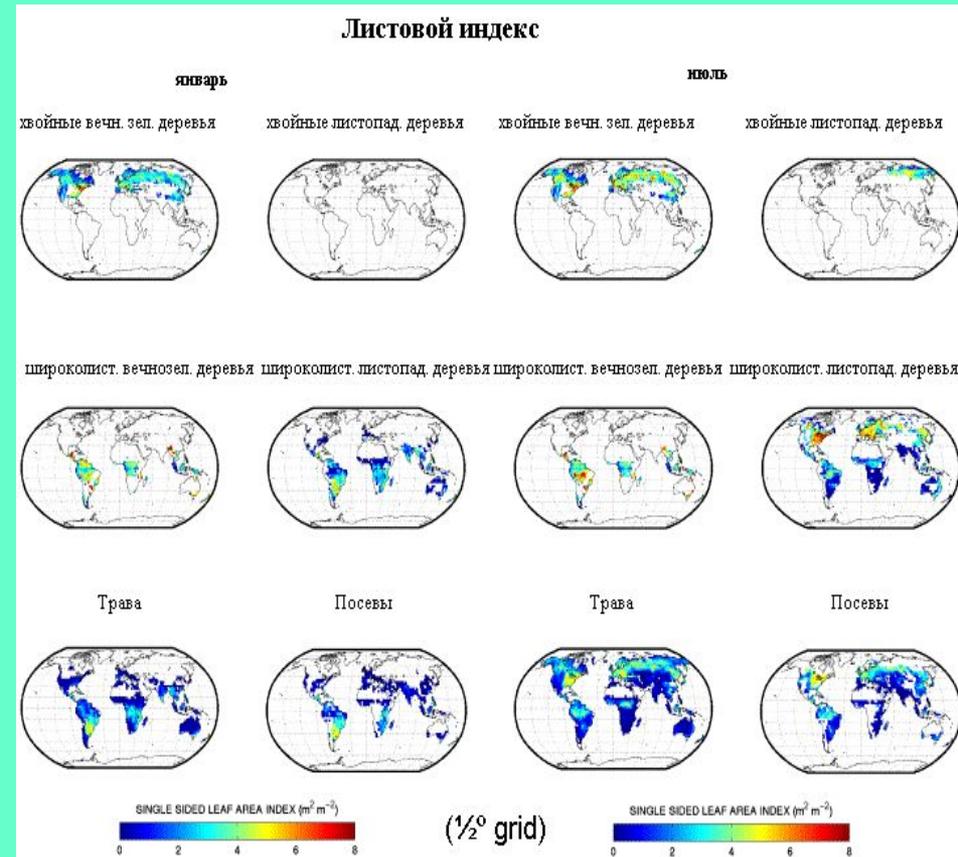




Фенология растений

- 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} .

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





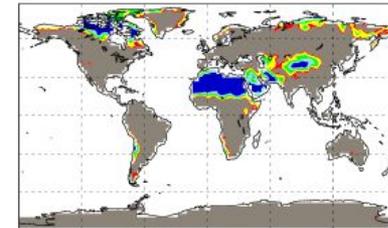
Типы поверхности (растительность, озера, ветланды, лед, голая поверхность)

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

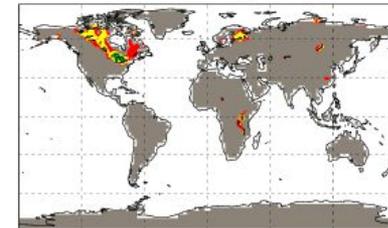
Ячейка сетки модели
поверхности

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

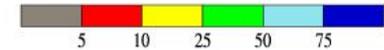
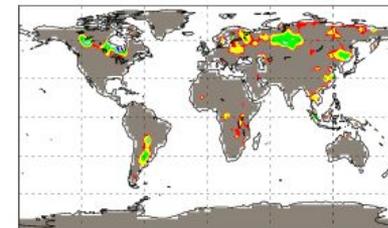
Bare Soil Fraction (%)



Lakes Fraction (%)



Wetlands Fraction (%)





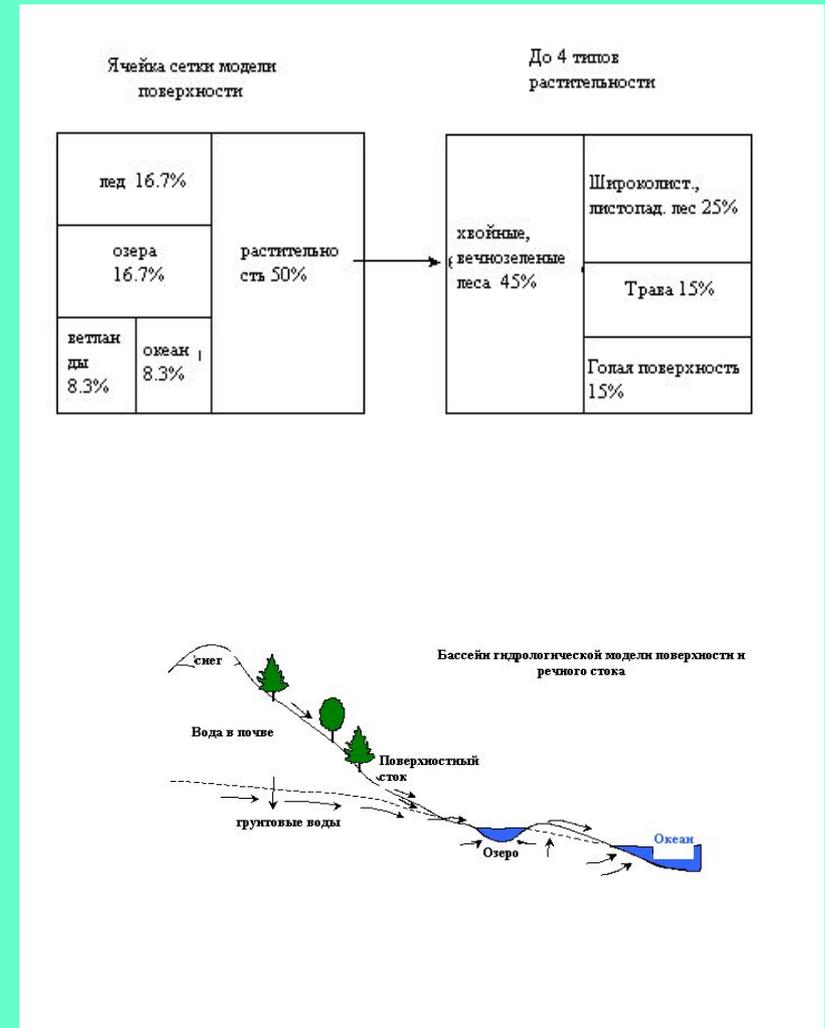
Типы растительности и Гидрология поверхности и речной сток

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 $T_v < T_{min}$;

C_s – concentration CO_2 on a leaf surface;

e_i – pressure of the saturation vapour inside a leaf;

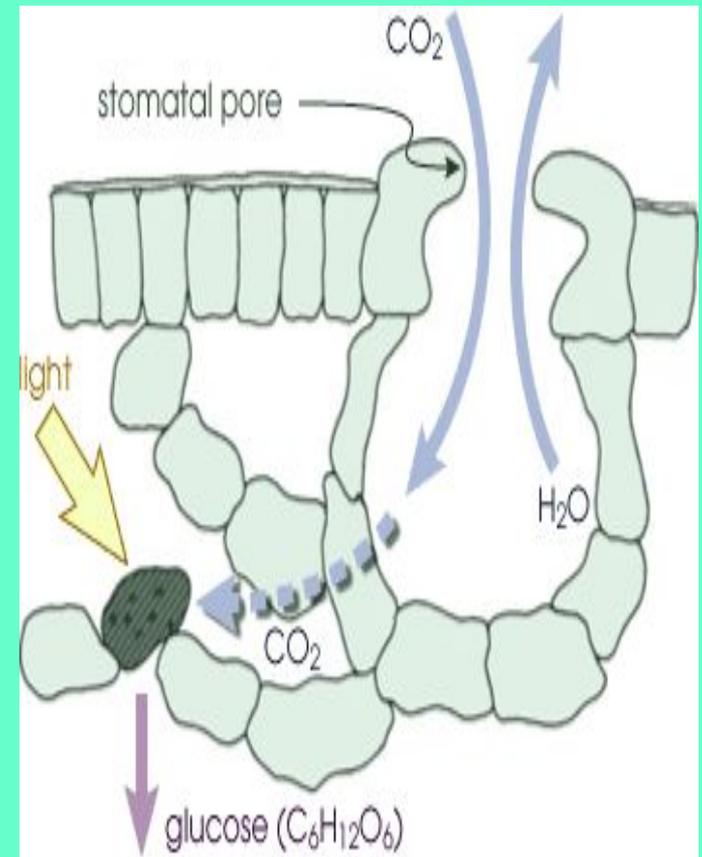
e_s – pressure vapour on a leaf surface ;

b – minimal stomatal conductivity with $A=0$;

P_{atm} – atmospheric pressure.

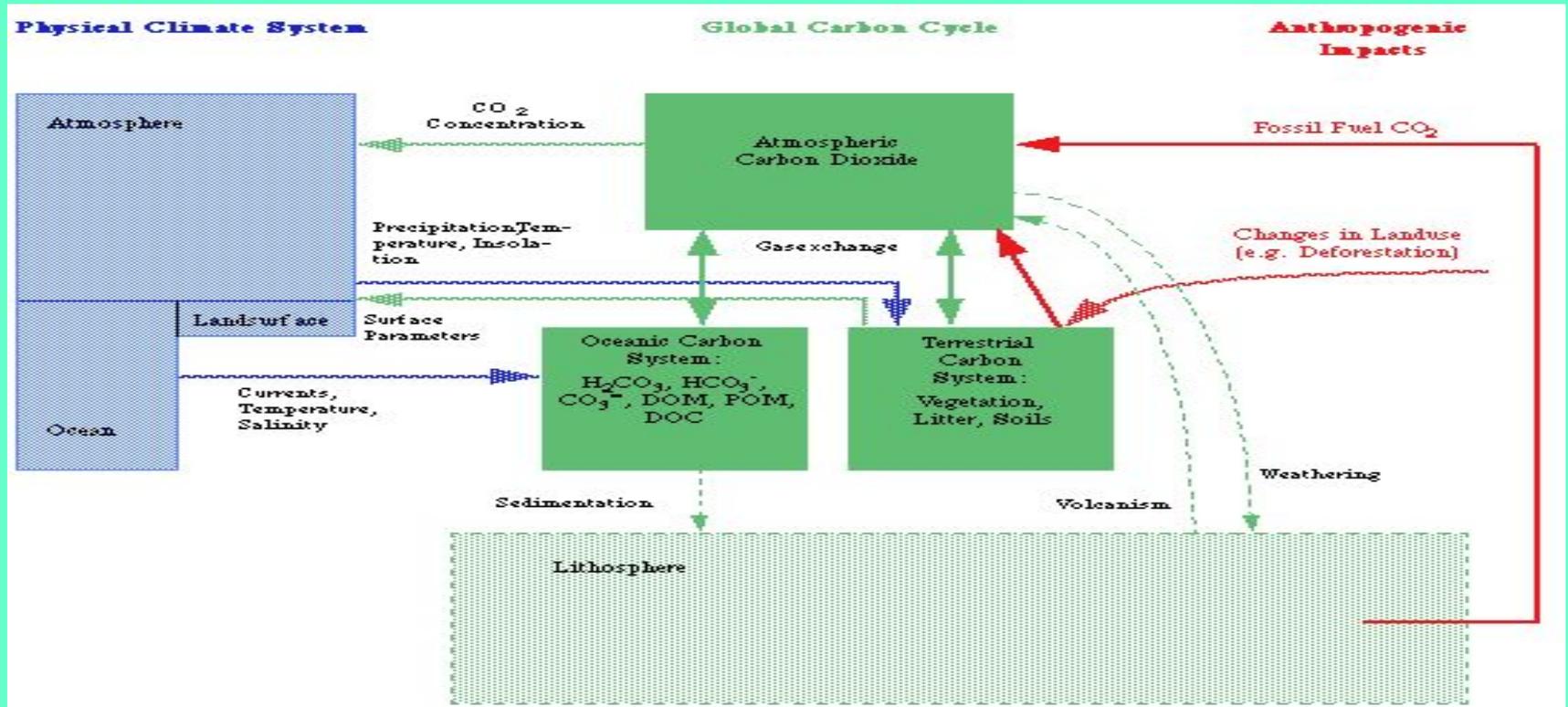
$A = \min(W_c, W_j, W_e)$

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





Биохимические потоки. CO₂.





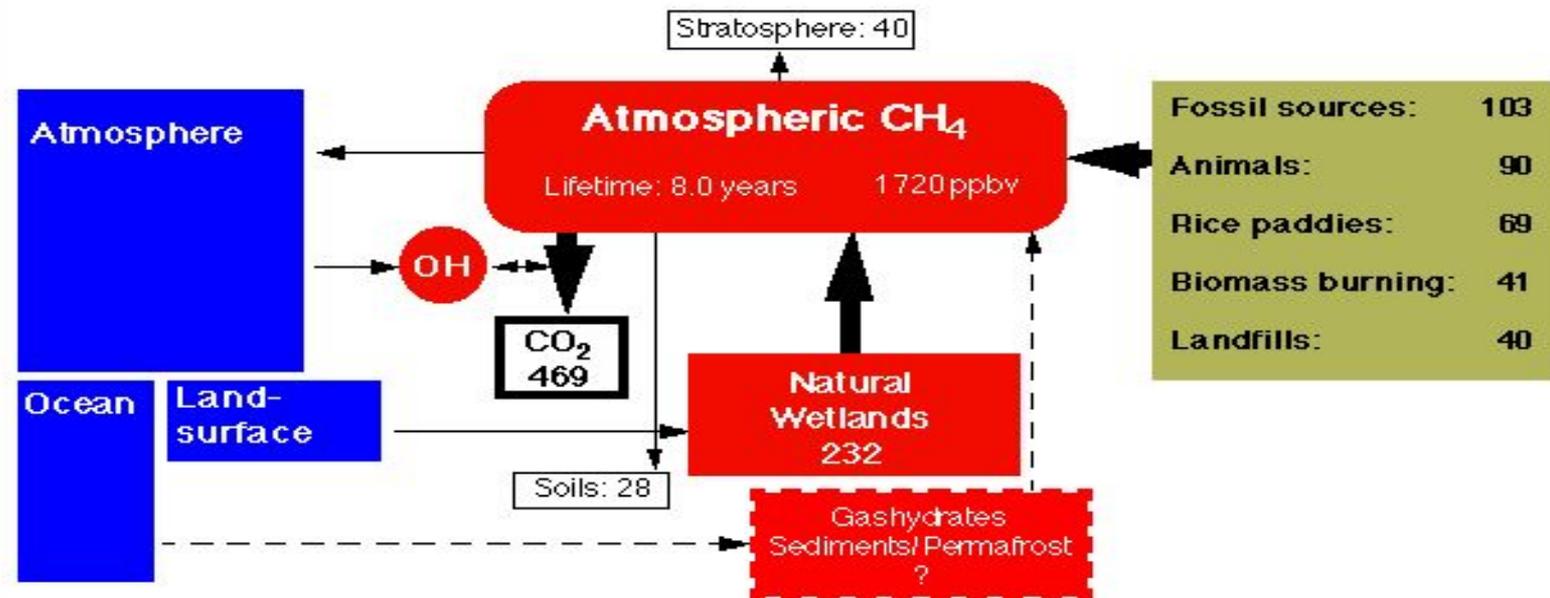
Биохимические потоки. CH₄

The Global CH₄-Cycle

Physical Climate System

Global Methane Cycle

Anthropogenic Sources



numbers from: Hein et al., 1997

sources/sinks: TgCH₄/yr

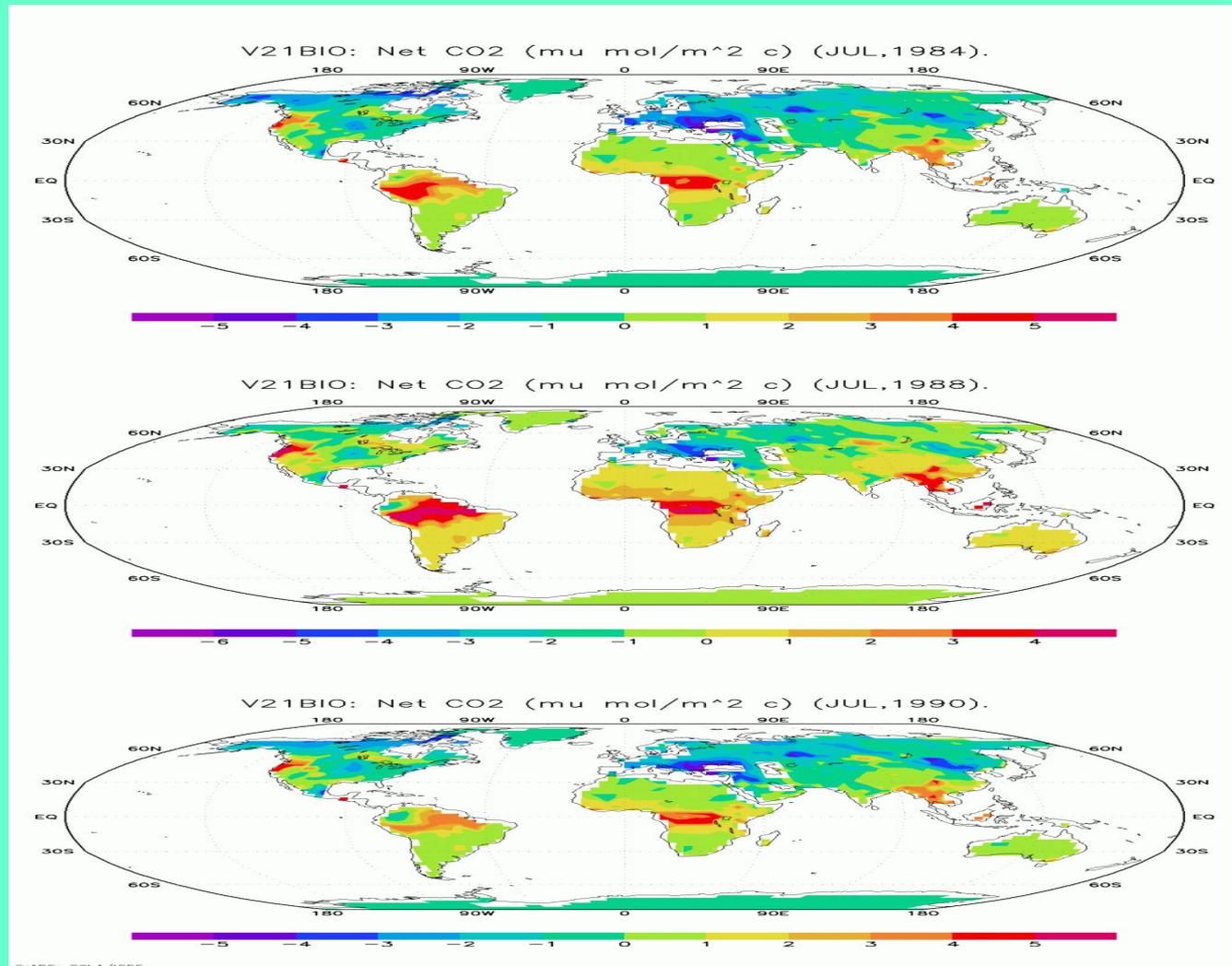


Что прогнозирует модель биосферы поверхности земли:

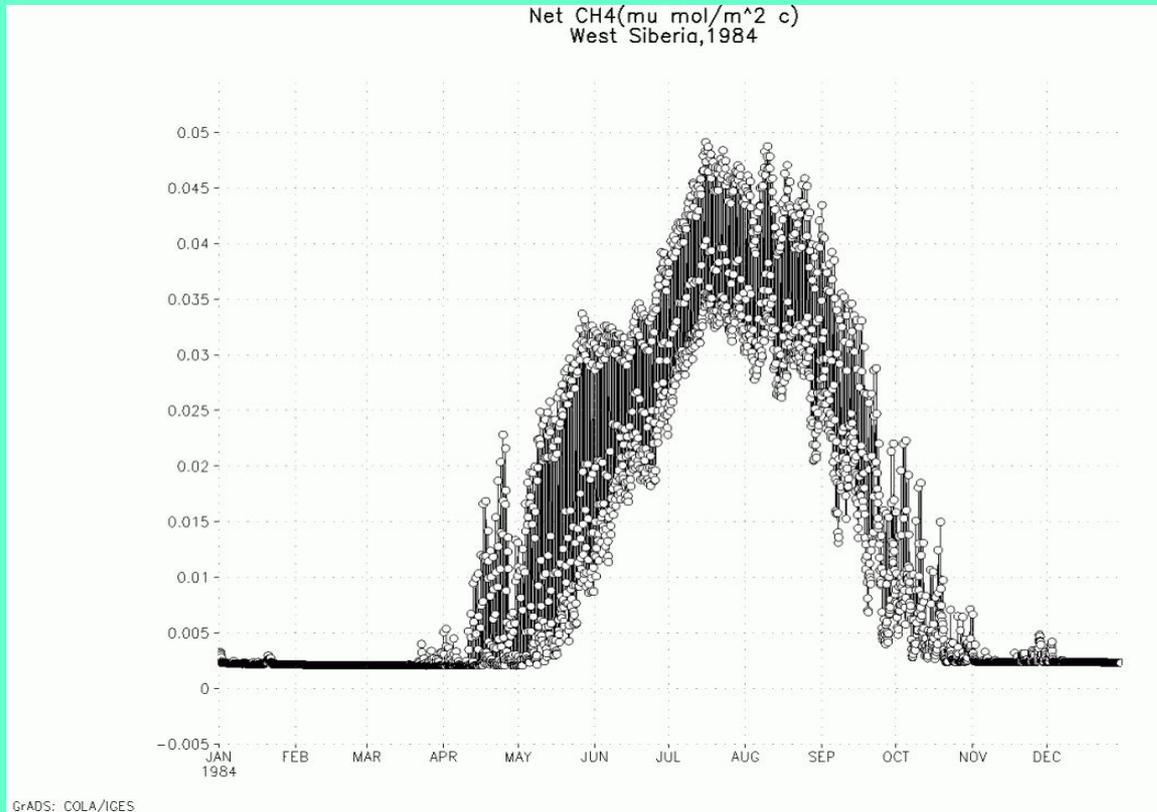
- **Vegetation composition, structure**
- **Radiative fluxes**
- **Momentum and energy fluxes**
- **Vegetation and ground temperature**
- **Soil and lake temperature**
- **Surface hydrology (snow, runoff, soil water, canopy water etc.)**
- **CO₂ emissions from terrestrial vegetation**
- **CH₄ emissions from natural wetlands**
- **Soil –biogenic emission of NO_x etc.**



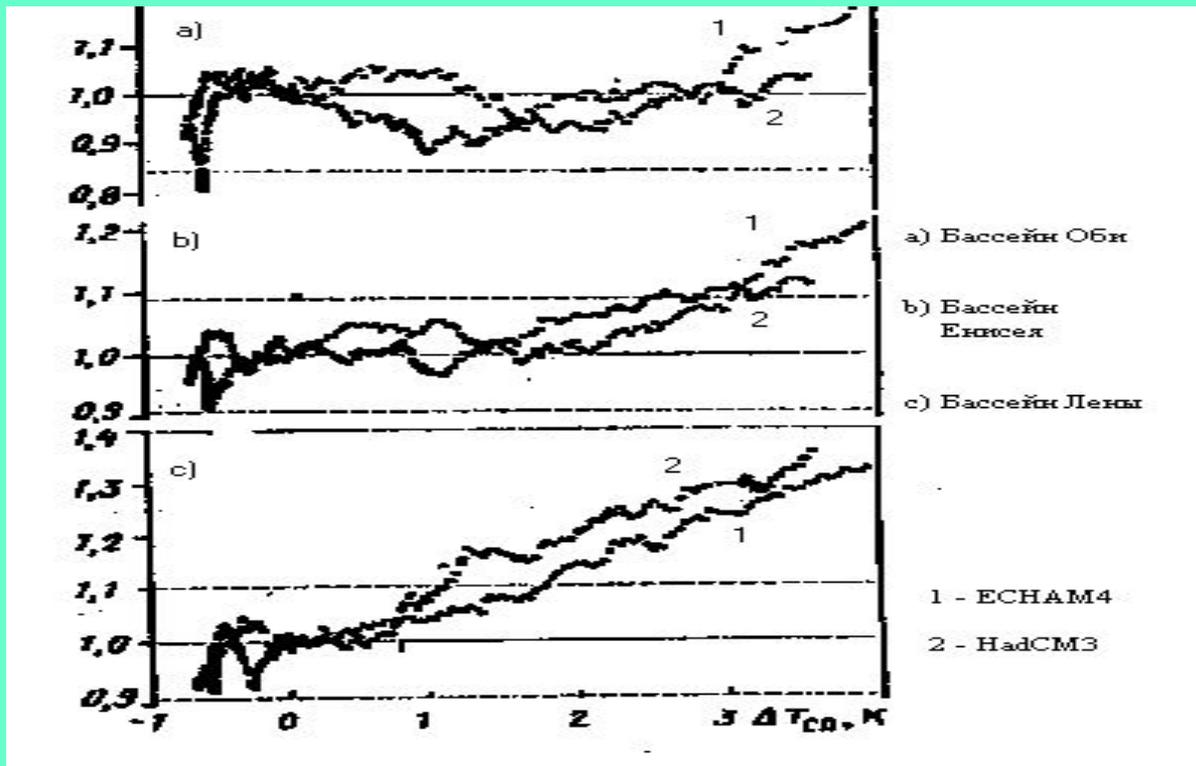
Глобальные потоки CO2 (mmol CO2/m^2 c)



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, CO₂, CH₄ и т.д.
- *Быстрые процессы* – ежедневное появление и отмирание листвы
- *Медленные процессы* – межгодовая изменчивость в распределении и структуре растительности

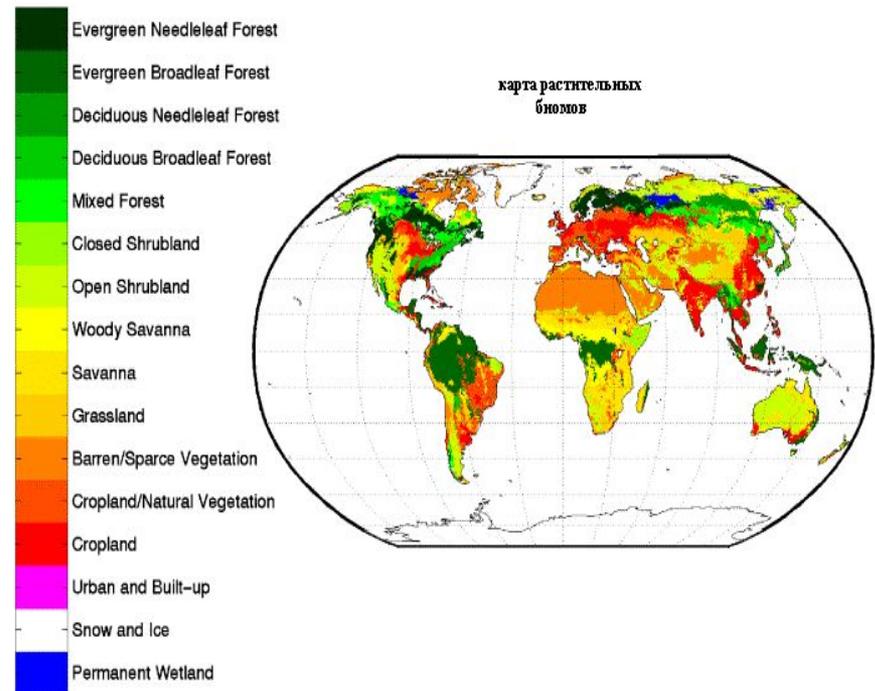


Растительные биомы. Функциональные типы растительности

Структура биомов определяется:

- Параметрами физиологии растений
- Оптическими свойствами кроны
- Листовым индексом

Воспроизведение растительных биомов





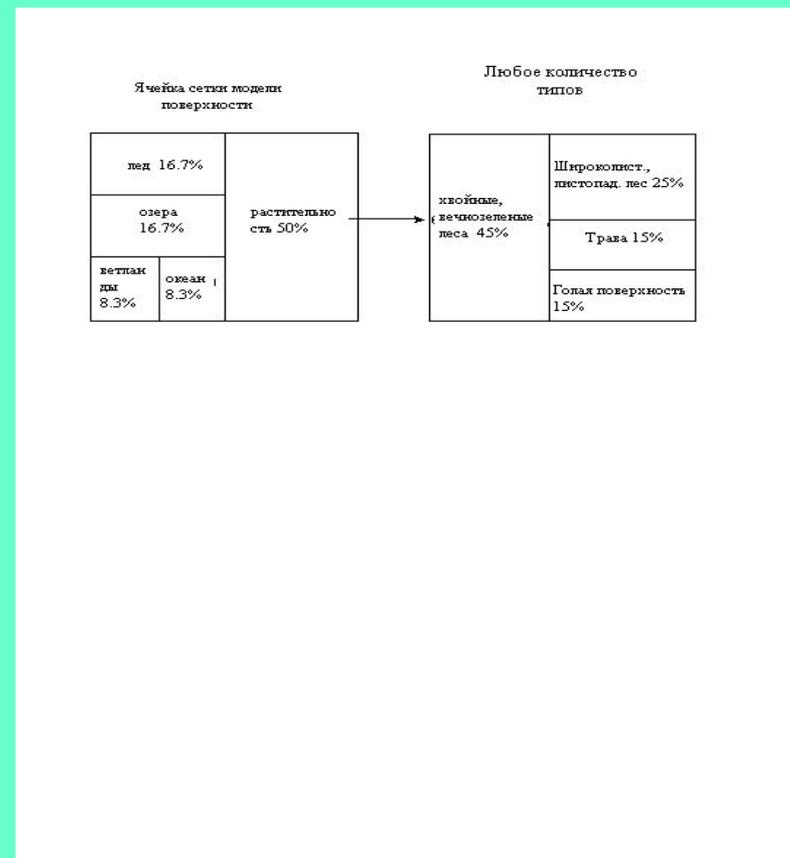
Воспроизведение растительного покрова

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

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

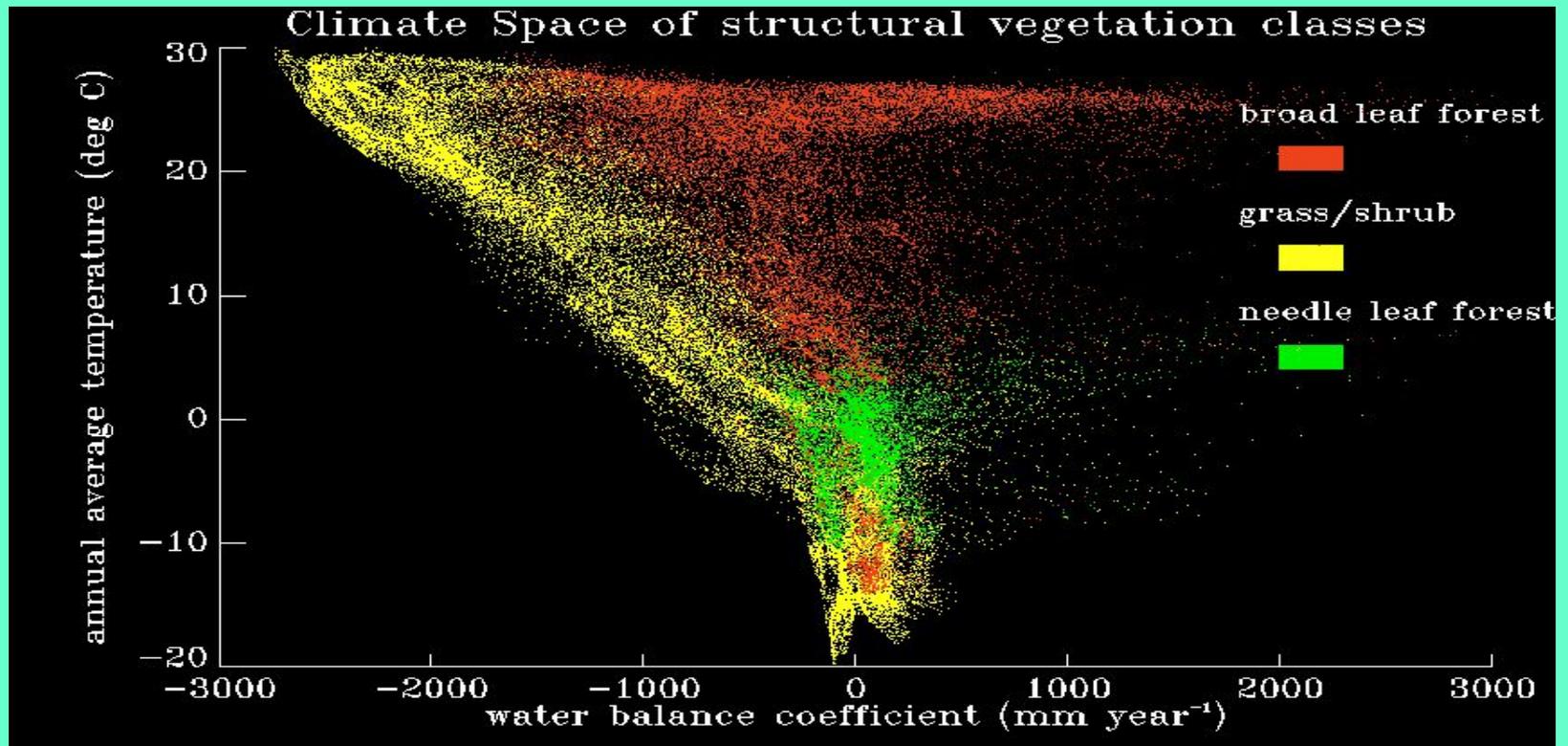
$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\tau_v} (v^* - v)$$





Фазовое климатическое пространство МДВ

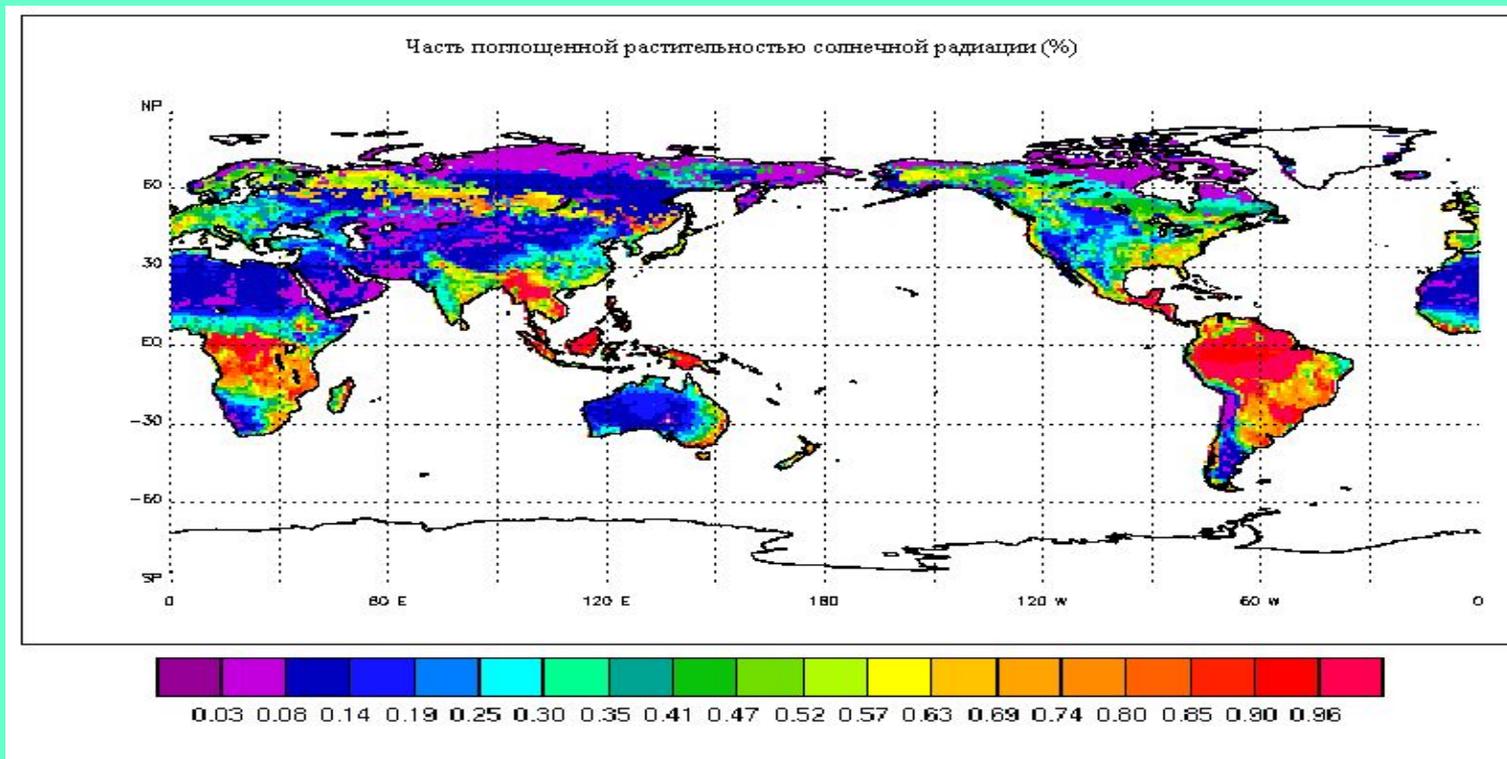
- В координатах среднегодовой температуры(С) и коэффициента водного баланса (мм/год)





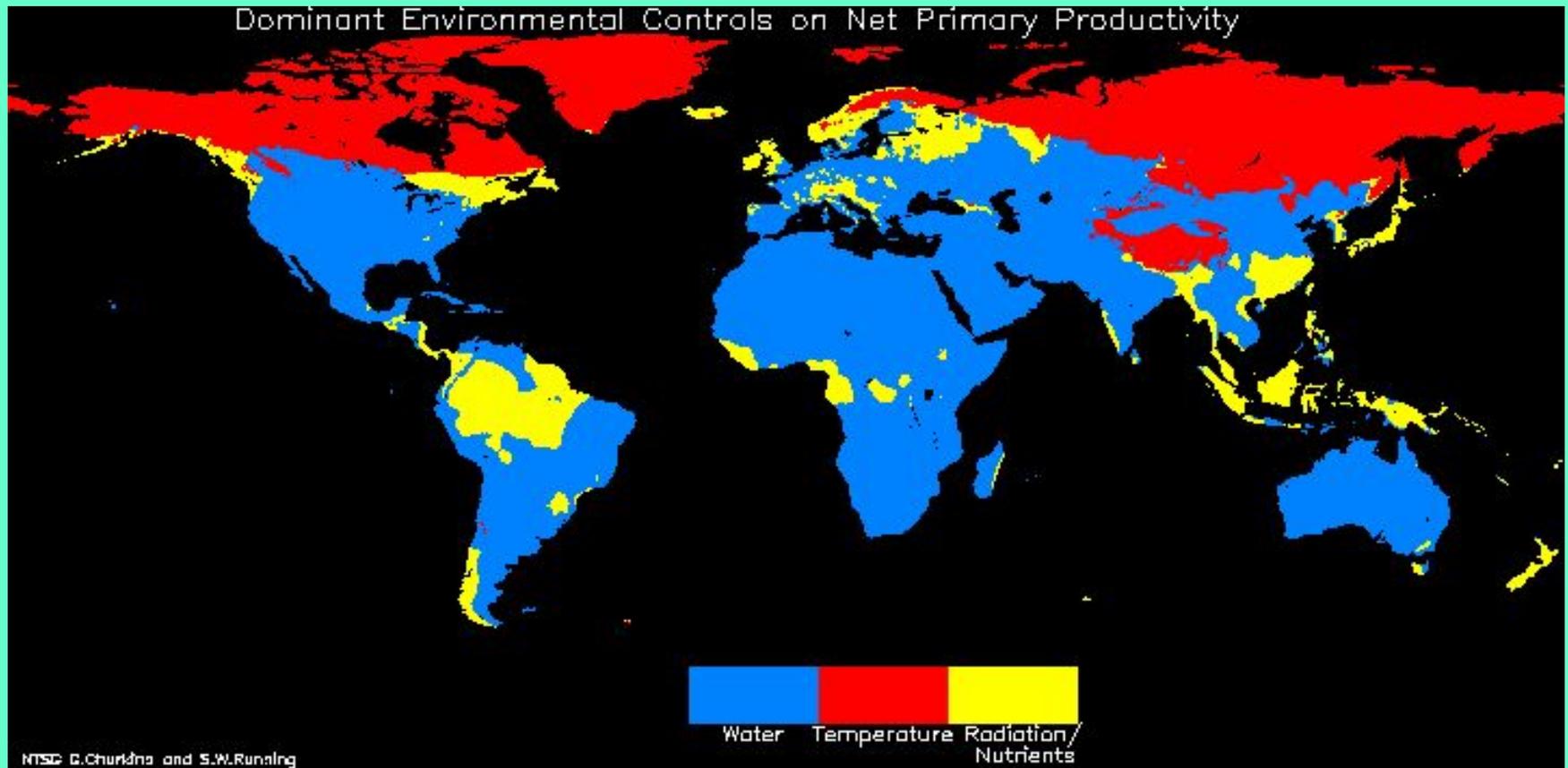
Часть солнечной радиации поглощенной кроной растительности (%)

- Важнейший ресурс, получаемый растениями в результате конкуренции





Процессы, контролирующие образование NPP





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

