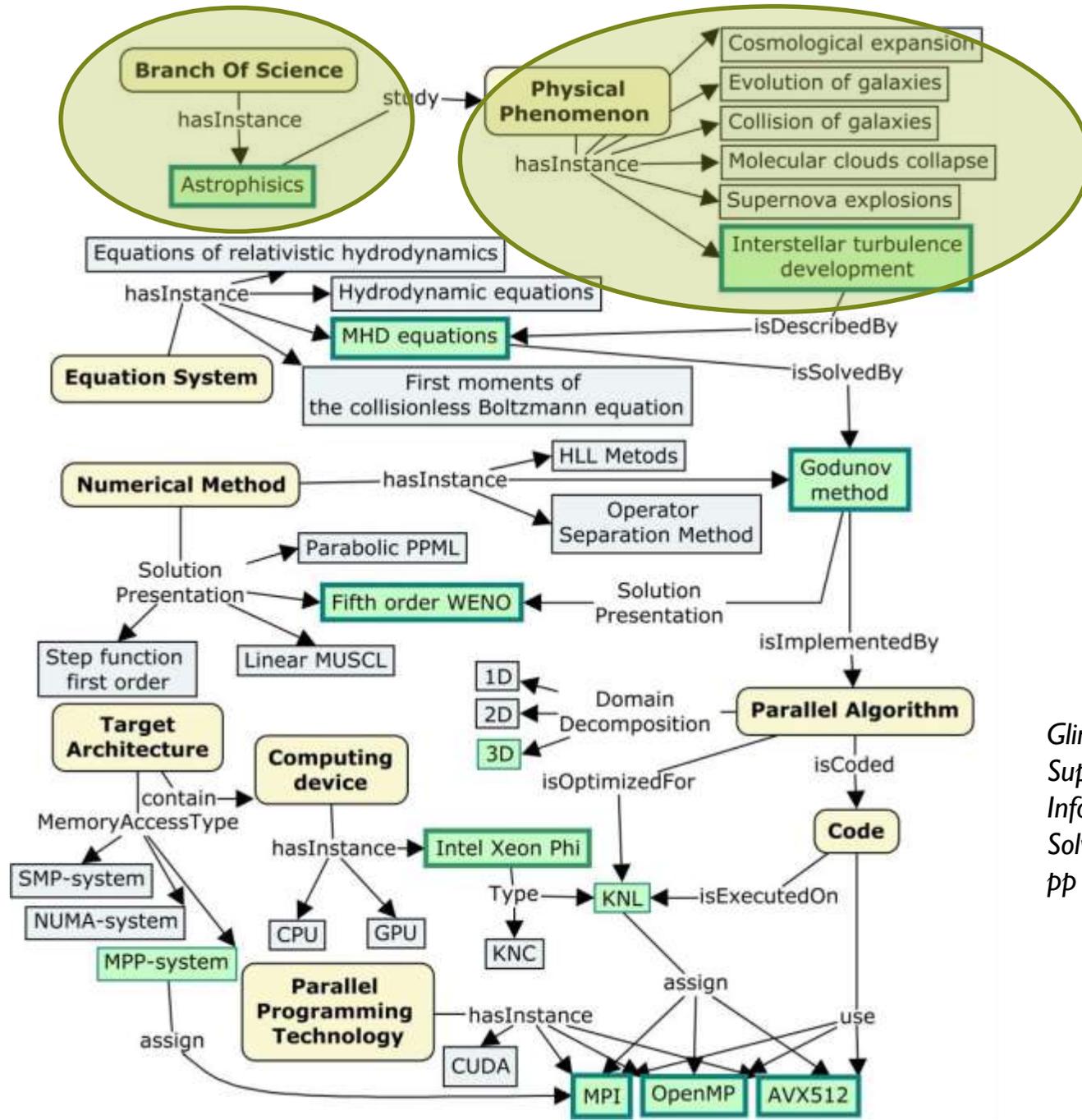


ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА
РЕШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО
СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ
АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

Платов Г. А.

Голубева Е.Н., Крупчатников В.Н., Якшина Д.Ф.

ИВМиМГ СО РАН



ОНТОЛОГИИ В
ЗАДАЧАХ
АСТРОФИЗИКИ

Glinskiy B, Zagorulko Y, Zagorulko G, Kulikov I and Sapetina A 2019 Supercomputing. RuSCDays. Communications in Computer and Information Science. The Creation of Intelligent Support Methods for Solving Mathematical Physics Problems on Supercomputers vol 1 129 pp 427-438



АТМОСФЕРА

(МАСШТАБ ДЛИНЫ)

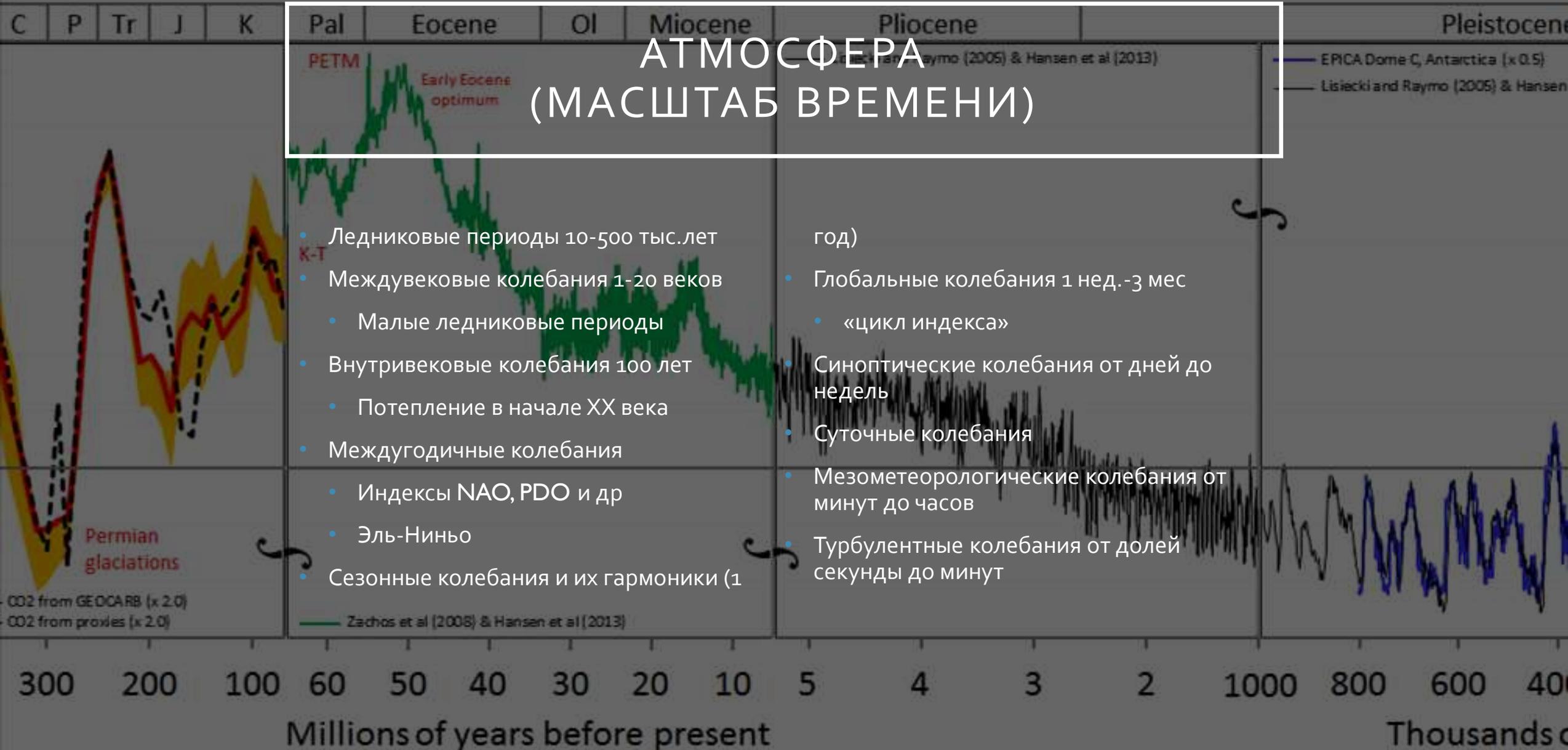
• Планетарный масштаб

- Меридиональные ячейки циркуляции, струйные течения, пассаты, западный перенос
- Крупномасштабные движения -- синоптический масштаб (1000-3000 км)
 - Циклоны и антициклоны, блокинги
- Движения масштаба 100-1000 км
 - Тропические циклоны
 - Фронты
 - Муссоны
 - Волны в атмосфере различной

природы

- Движения масштаба 10-100 км
 - Локальные ветра, бризы, смерчи
 - Облачные полосы
- Движения масштаба 1-10 км
 - Конвективная облачность
- Турбулентность масштаба менее 1 км
 - Термики
 - Торнадо
 - Турбулентные вихри вблизи поверхности

Temperature of Planet Earth



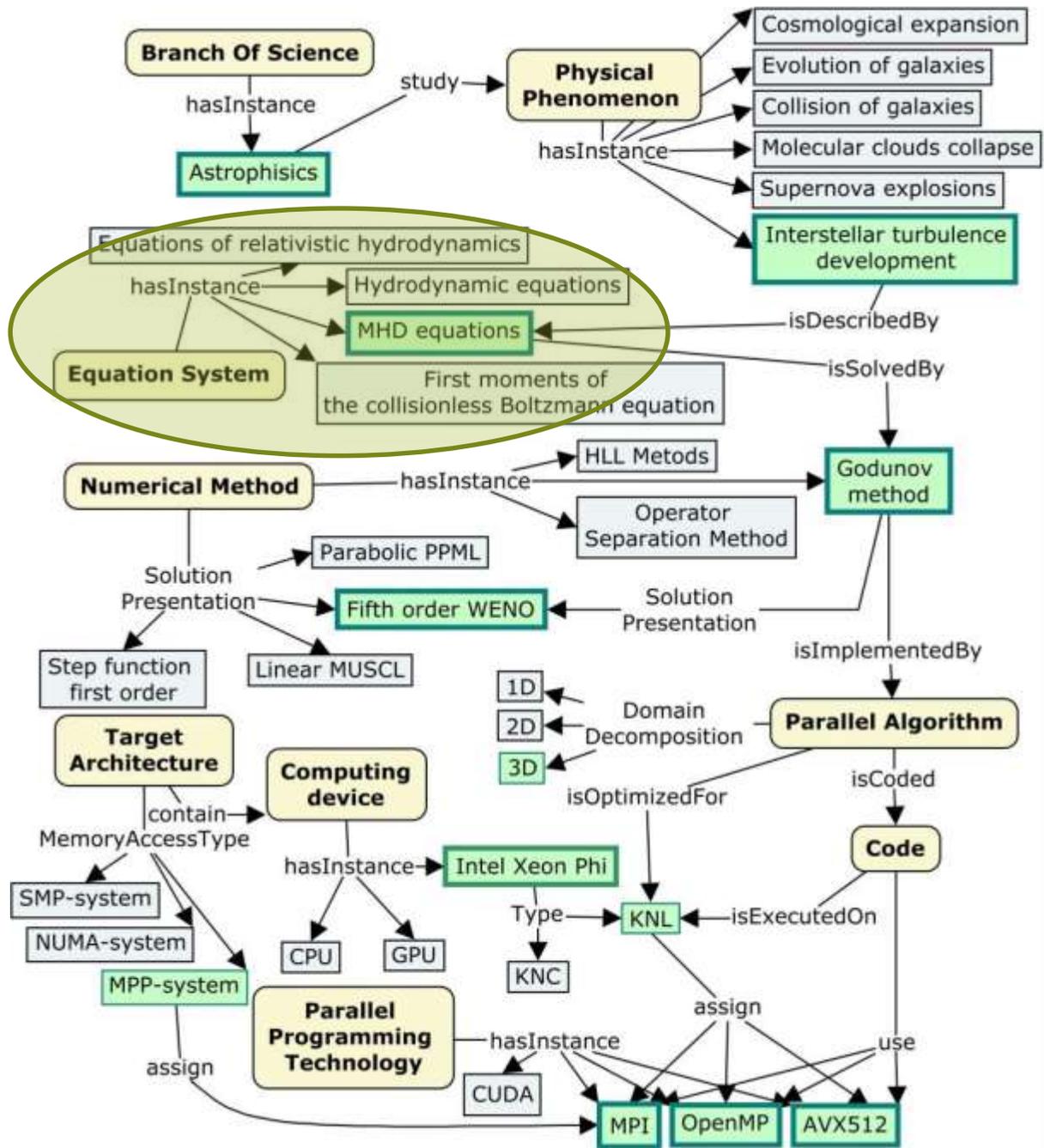
АТМОСФЕРА (ПРИМЕСИ И АЭРОЗОЛИ)



- Загрязнение городского воздуха 1-100 км
- Региональное загрязнение воздуха 10-1000 км
- Кислотные осадки 100-2000 км
- Загрязнение воздуха токсичными веществами 0.1-100 км
- Разрушение стратосферного озона 1-40 тыс км
- Увеличение парниковых газов 1-40 тыс км
- Взаимодействие аэрозоль климат 0.1-40 тыс км
- Стратосферно-тропосферный обмен 0.1-100 км
- Процессы переноса и окисления в тропосфере и стратосфере 1-40000 км

АТМОСФЕРА (ФАКТОРЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ)

- Бароклинная неустойчивость, образование циклонов, тропических циклонов, бризов
- Конвективная неустойчивость, ячеистая облачная структура
- Орографическая и термическая неоднородность подстилающей поверхности
- Пограничные слои атмосфера-суша, атмосфера-океан, атмосфера-лед



ОНТОЛОГИИ В
ЗАДАЧАХ
АСТРОФИЗИКИ

УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ

(ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА)

- Уравнения Навье-Стокса
 - Полные
 - Негидростатические приближения
 - Гидростатика
 - Баротропная и бароклинная моды
 - Квазигеострофика и геострофика
 - Свободная поверхность и «жесткая крышка»
 - Приближение мелкой воды и
 - многослойные приближения
- Спряmlение dna
- Сохранение энергии. Уравнение состояния
- Перенос-диффузия активных примесей
- Перенос-диффузия-реакция химически активных примесей и аэрозолей

НАЧАЛЬНЫЕ И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

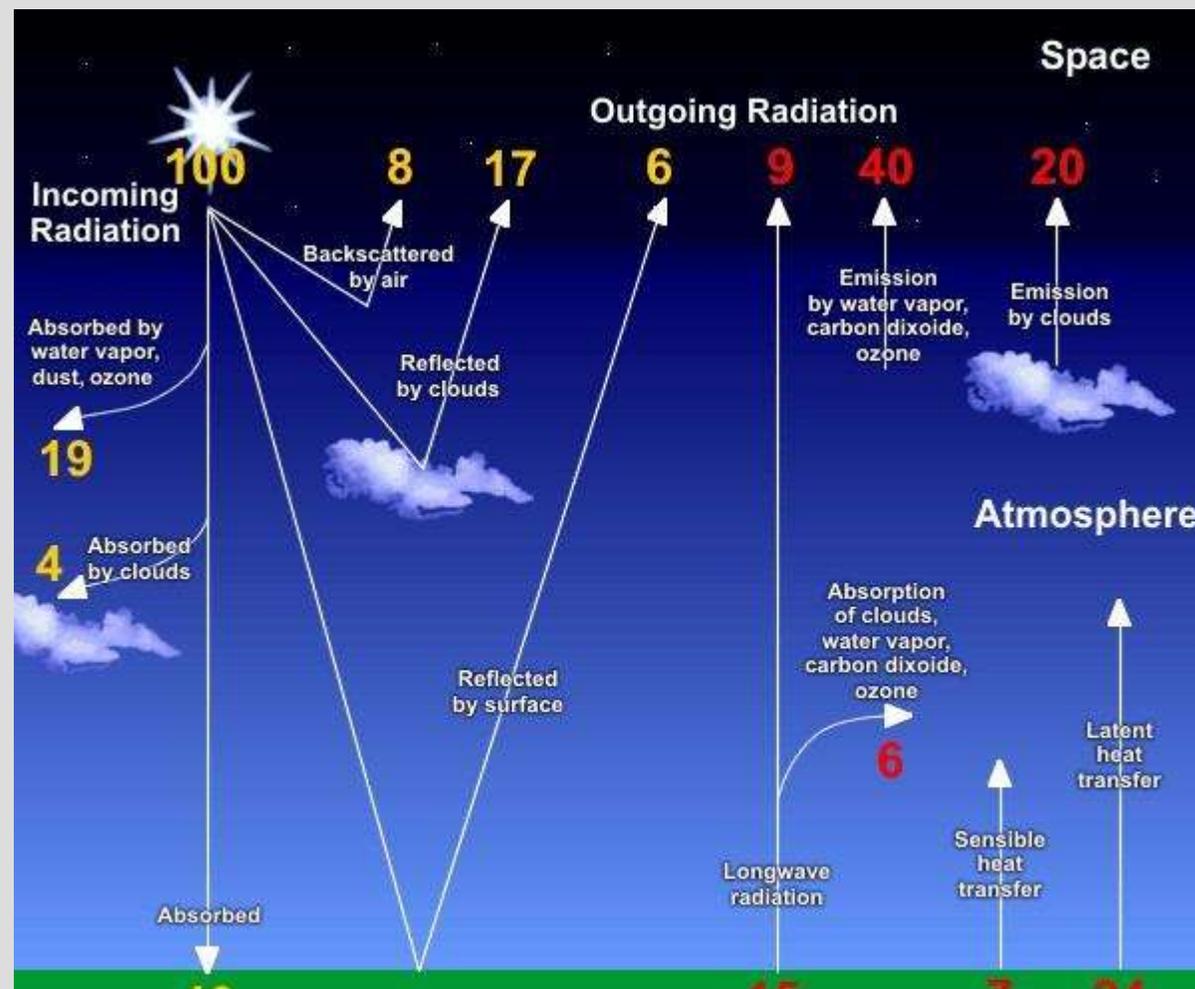
ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

(ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА)

- Турбулентность и конвекция
 - Турбулентные замыкания
 - Глубинная конвекция
 - Волнение
- Мезомасштабные и субмезомасштабные вихри
 - Изопикническая диффузия
 - Параметризация Гента-Маквильямса
 - Вязкость Смагоринского
 - Биквадратная диффузия
- Параметризация топографических вихрей («Нептун»)
- Вертикальный пограничный слой
- Радиационно-облачные связи
- Осадкообразование
- Двойная диффузия
- Каскадинг
- Учет приливов

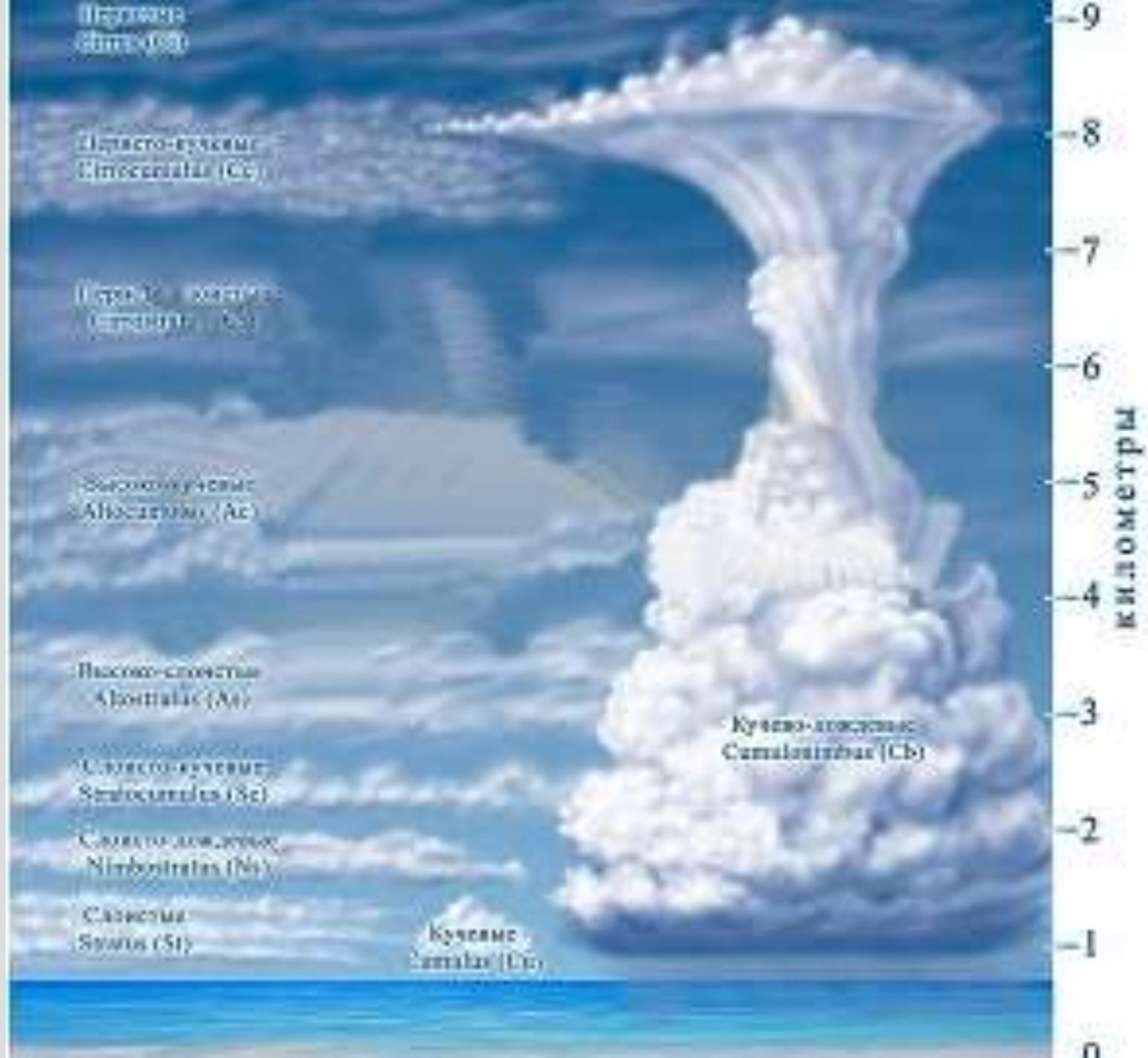
УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (РАДИАЦИЯ)

- Модель переноса излучения
 - Учет газового состава атмосферы
 - Разделение спектра излучения
 - Отражательная способность поверхности
 - Излучательная способность поверхности
 - ...



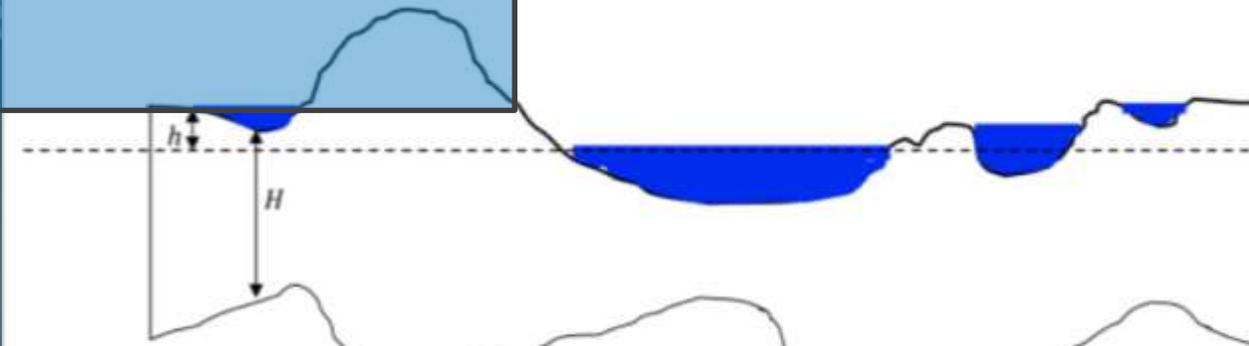
УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (ВЛАЖНОСТЬ-ВОДНОСТЬ-ОБЛАЧНОСТЬ-ОСАДКИ)

- Уравнения переноса и трансформации атмосферной влаги
 - Субстанции влаги и их распределение
 - Влажность (газообразная вода)
 - Водность: взвесь водяных капель разных размеров
 - Взвесь ледяных кристаллов разных размеров
 - Фазовые переходы
 - Учет радиации прямой и рассеяной
 - Учет ИК выхолаживания
 - Учет аэрозольных ядер коагуляции
- Атмосферное электричество



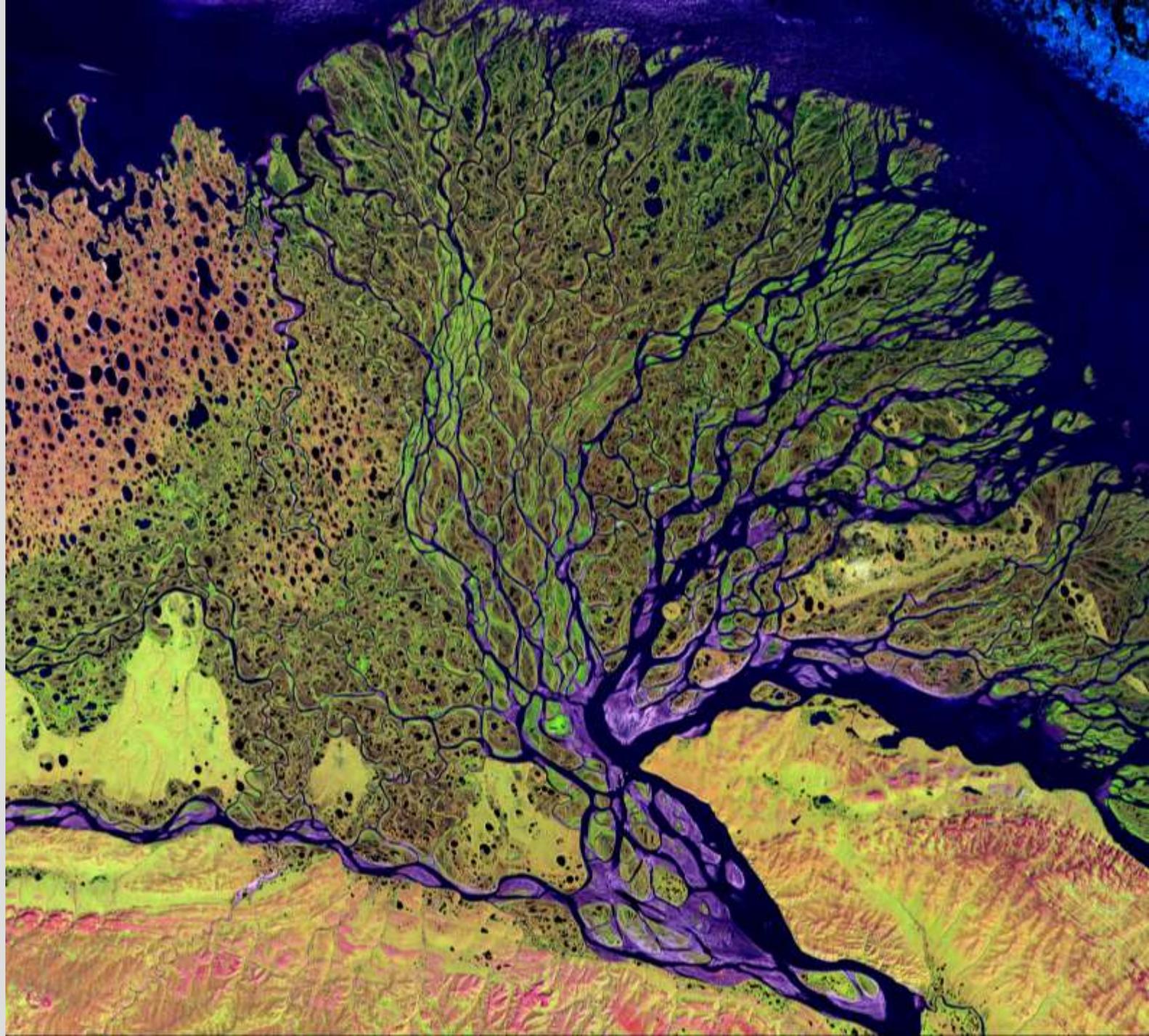
УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (ЛЕД)

- Термодинамика льда
- От статистических распределений до отдельных льдин
- Учет микрофизики
- Вязко-пластическое приближение
- Упруго-вязко-пластическое приближение
- Параметризация торошения
- Снежницы – melt ponds
- Параметризация припая
- Параметризация ледовых килей и айсбергов
- Динамика ледников



УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (РЕКИ-ОЗЕРА-БОЛОТА- ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ)

- Моделирование речного стока
 - Уравнения Сен-Венана
 - ...
- Озера
 - Модели LAKE

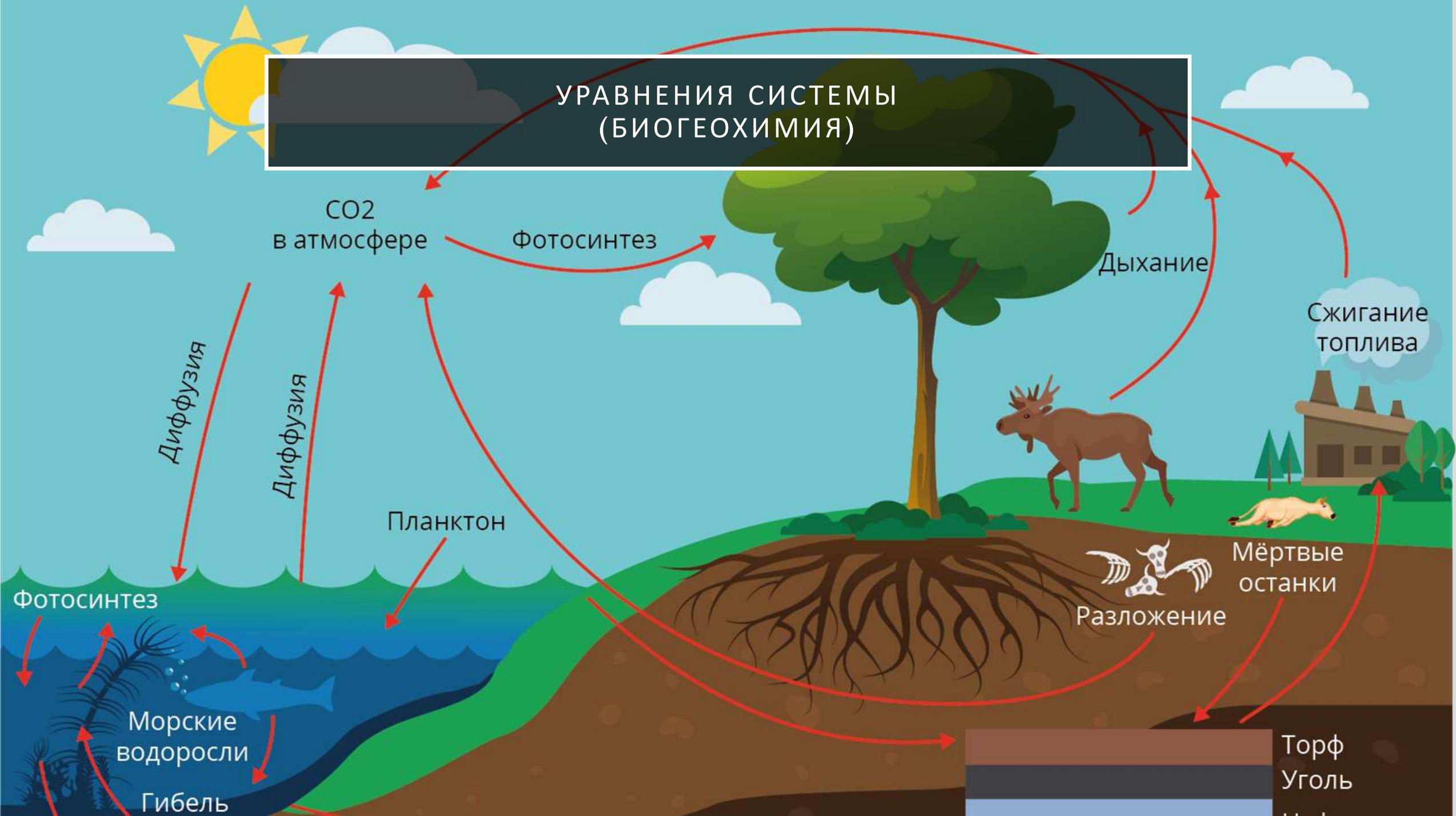


УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (РАСТИТЕЛЬНОСТЬ-ПОЧВА-ГРУНТ)

- Модель эвапо-транспирации
- ...



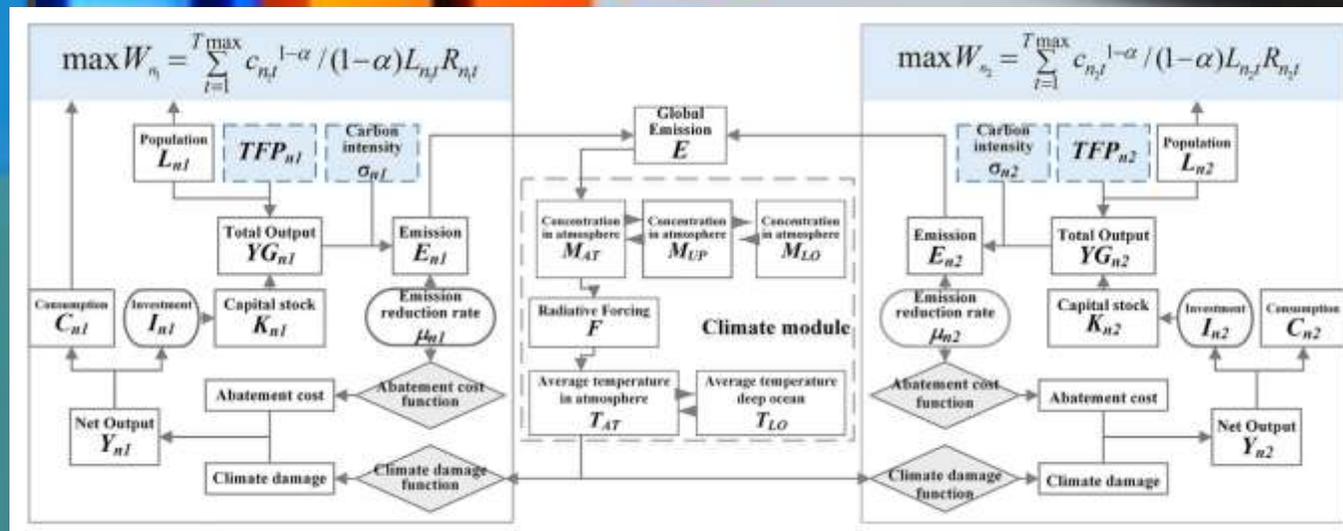
УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ (БИОГЕОХИМИЯ)



УРАВНЕНИЯ СИСТЕМЫ

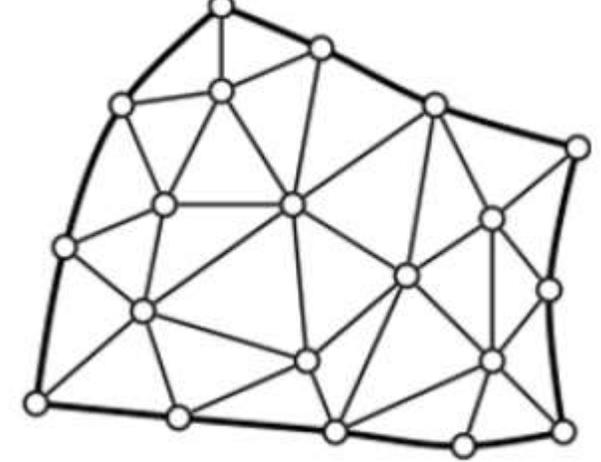
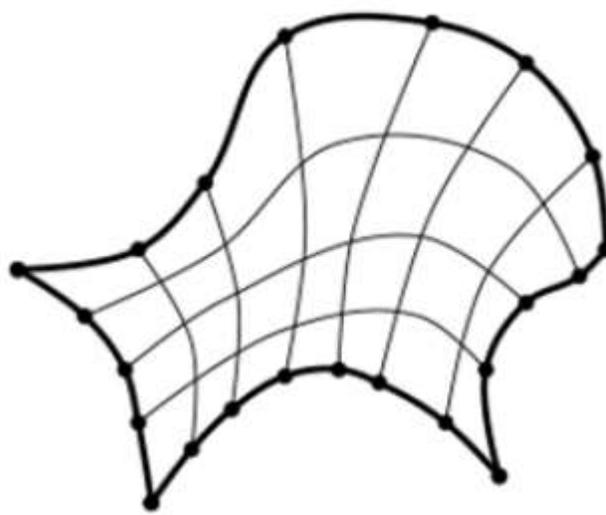
(СОЦИО-ЭКОНОМИКА)

- Наиболее известные и востребованные интегрированные модели экономики и климата
- RICE (Regional Integrated Climate-Economy model)
- DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy model)
- FUND - Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution
- IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment)
- PAGE09 (Policy Analysis of the Greenhouse Effect)
- AIM (Asia-Pacific Integrated Model)
- CoCEB (Coupled Climate-Economic-Biosphere)



Ключевые переменные в некооперативной модели RICE

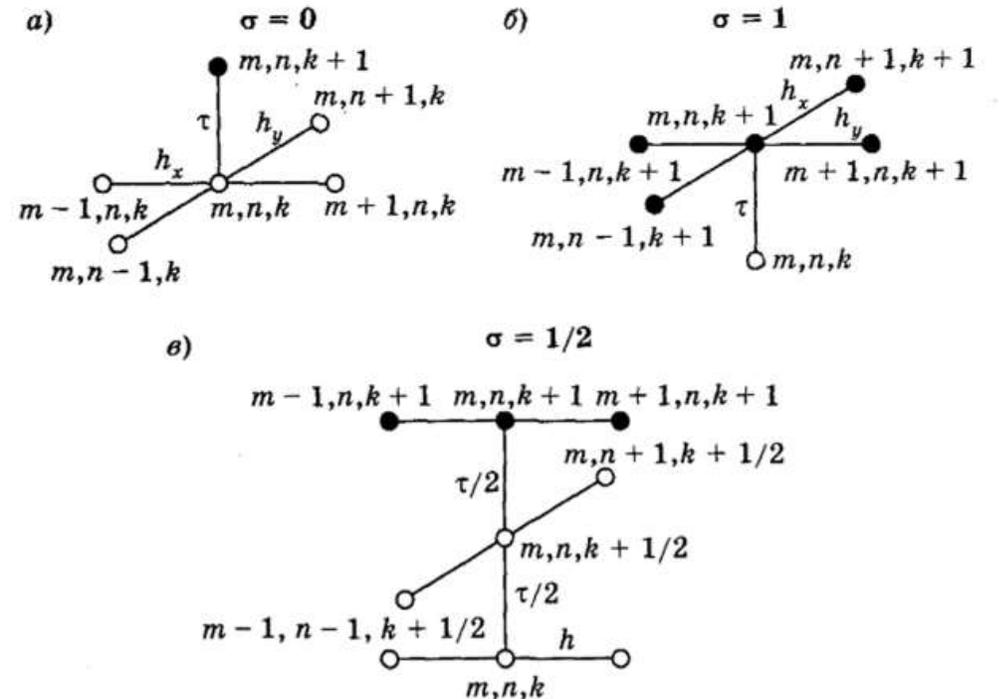
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

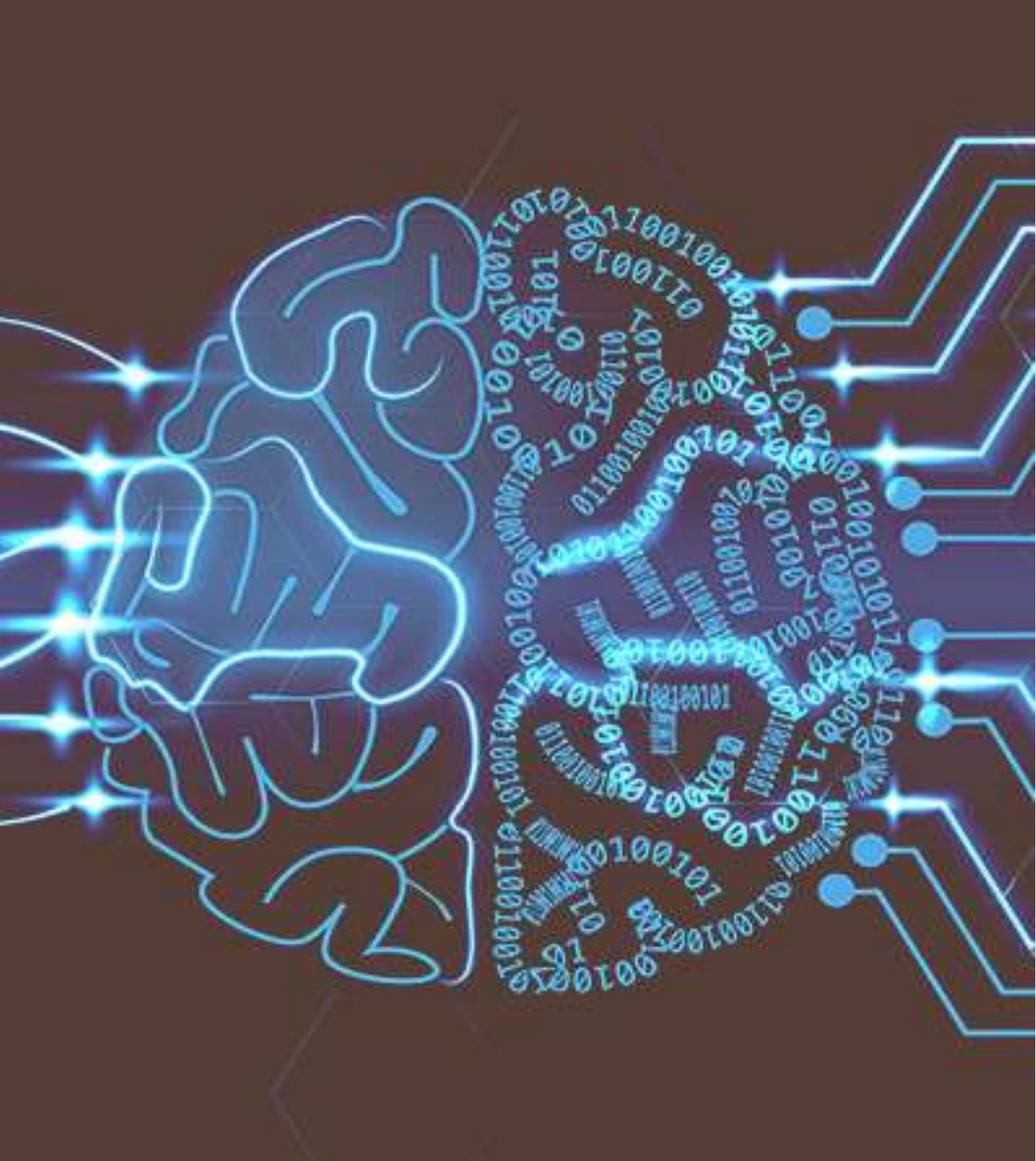


- Дискретизация
 - Конечно-разностная
 - Конечно-элементная
 - Бокс-метод
 - Автомодельные решения
 - Построение сеток
 - Геометрия сетки (прямоугольные, треугольные и тд)
 - Способ учета геометрии границ
 - Учет субмасштабных фрагментов
- Адвективные схемы
- Монотонность и монотонизаторы
 - FCT
 - QUICK, QUICKEST, ULTIMATE QUICKEST
 - Схема Смоларкевича – MPDATA
 - Лагранжев и полулагранжев подход
- Граничные условия
 - Вертикальные потоки
 - Скольжение, трение или прилипание
 - Открытые границы
 - Соленость в океане
 - Подвижные границы

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

- Разделение мод
- Расщепление по направлениям и физическим процессам
- Схемы интегрирования по времени
- Методы машинного обучения





ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ПОДСЕТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЯХ.

«НОВЫЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ»

- Нейронная сеть может представлять подсеточные процессы в модели климата, обучаясь на многомасштабной модели, в которой эти процессы рассматриваются явно. Затем обученную нейронную сеть можно использовать вместо традиционных подсеточных параметризаций в глобальной модели общей циркуляции.

Каждому наблюдению $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in},)$ соответствует значение результирующей Y_i

Цель в нахождении связи между ними, используя имеющиеся известные значения (обучающая выборка), которые затем можно применить для прогнозирования. Параметры построенных моделей позволят оценить степень влияния каждого признака.

Методы машинного обучения, применяемые для решения задач регрессии и классификации.

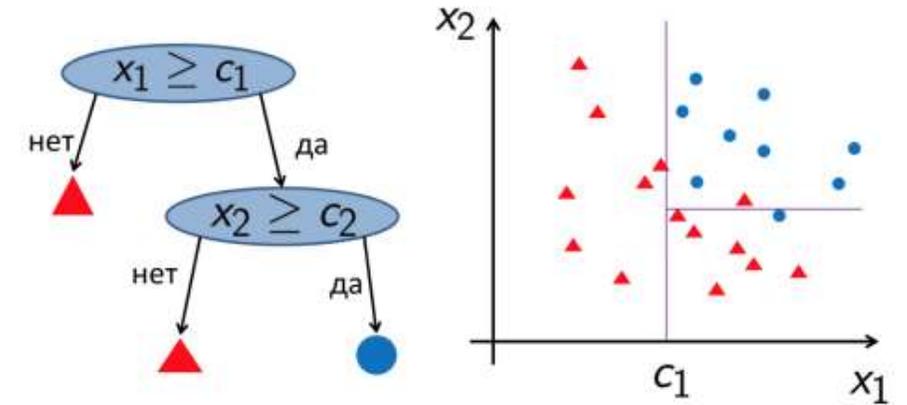
- Линейная и логистическая регрессии

$$g(\vec{x}_i; \vec{w}) = w_0 + w_1 \cdot x_{i1} + \dots + w_n \cdot x_{in} = \vec{w}^T \vec{x}_i \in R$$

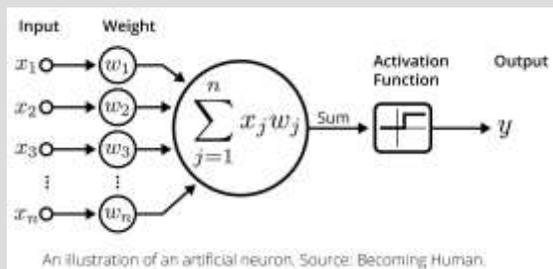
$$g(x, w) = \sigma(w^T x) \in (0, 1)$$

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

- Метод решающих деревьев



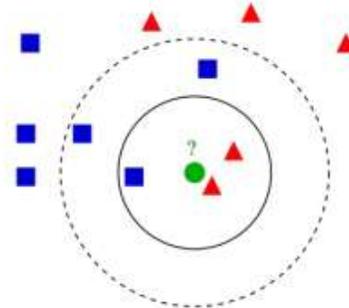
- Нейронные сети



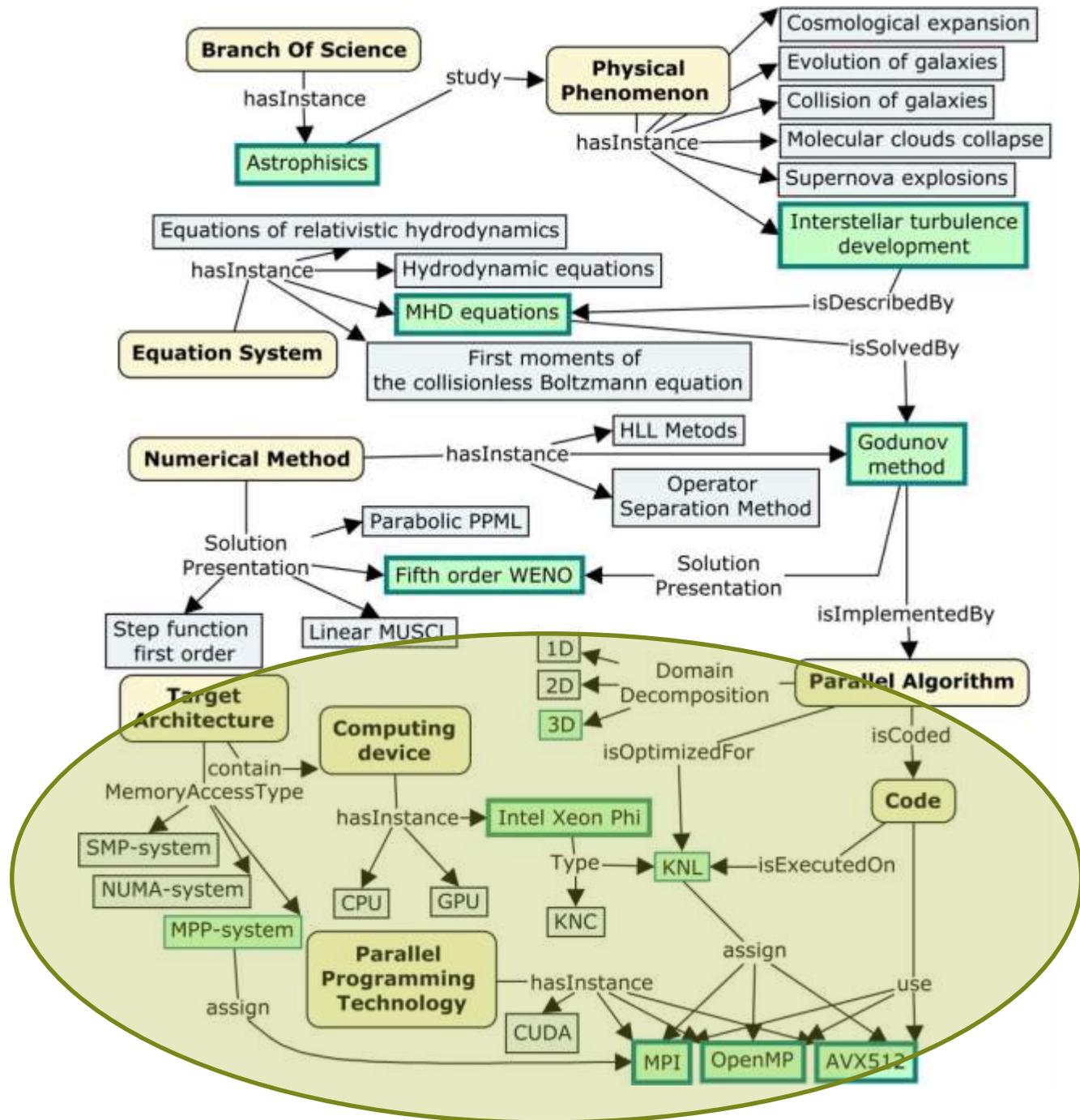
- Метод ближайших соседей

Голосование среди k соседей

$$a(x) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^L [y_i = y] w_i(x)$$



- Случайный лес и XGBoost
методы ансамблирования алгоритмов



ОНТОЛОГИИ В
ЗАДАЧАХ
АСТРОФИЗИКИ

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ

- Декомпозиция области
 - 1D, 2D, 3D
 - Регулярная – нерегулярная, оптимизация
 - Адаптивная
 - Организация обменов
- OpenMP-блоки
- GPU – CUDA

ЧТО УПУЩЕНО?

ДААННЫЕ

ИСТОЧНИК

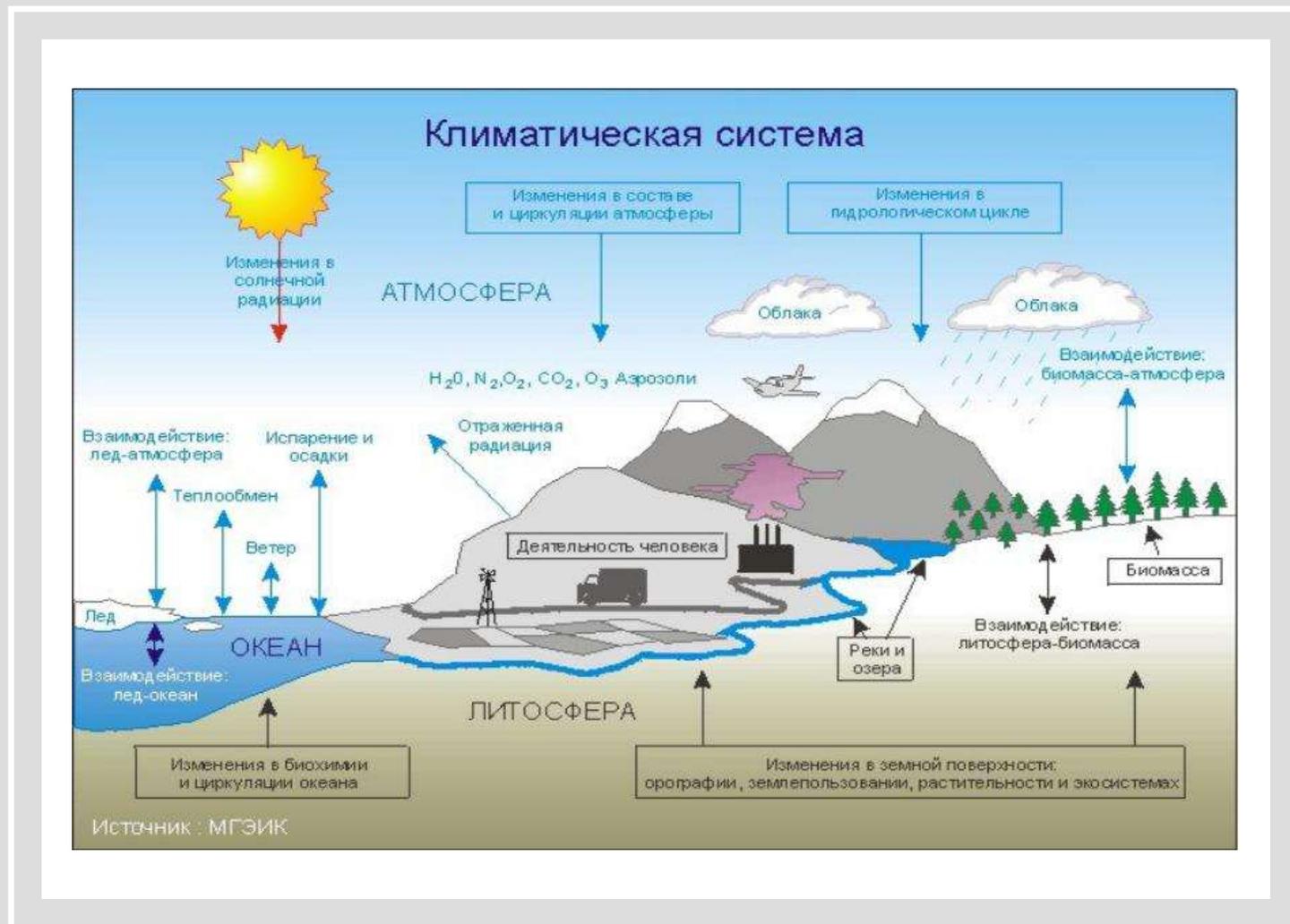
- Хранение
 - Удаленные источники
 - База данных
 - Рабочая директория
- Подготовка
 - Предварительная
 - В процессе счета
- Формат
- Чтение
 - Доступ
 - Параллельность

РЕЗУЛЬТАТ

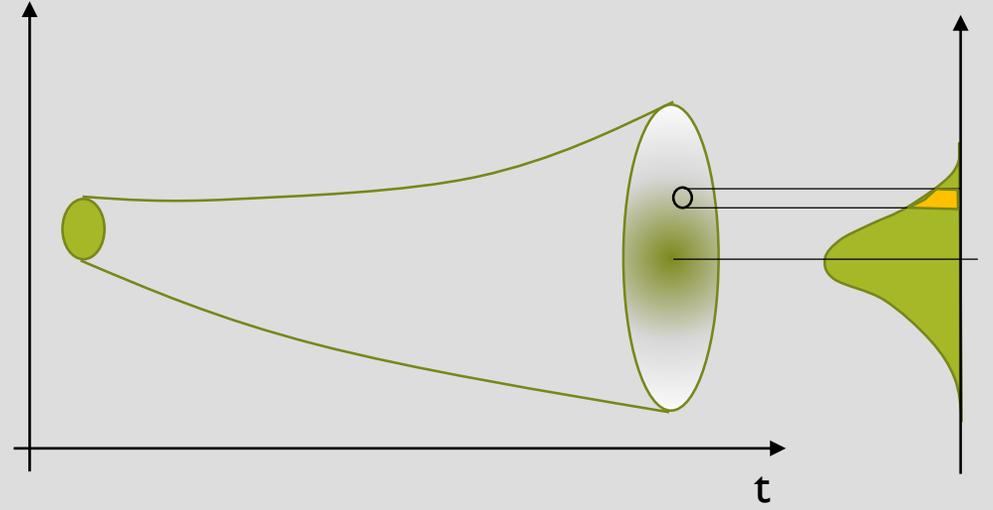
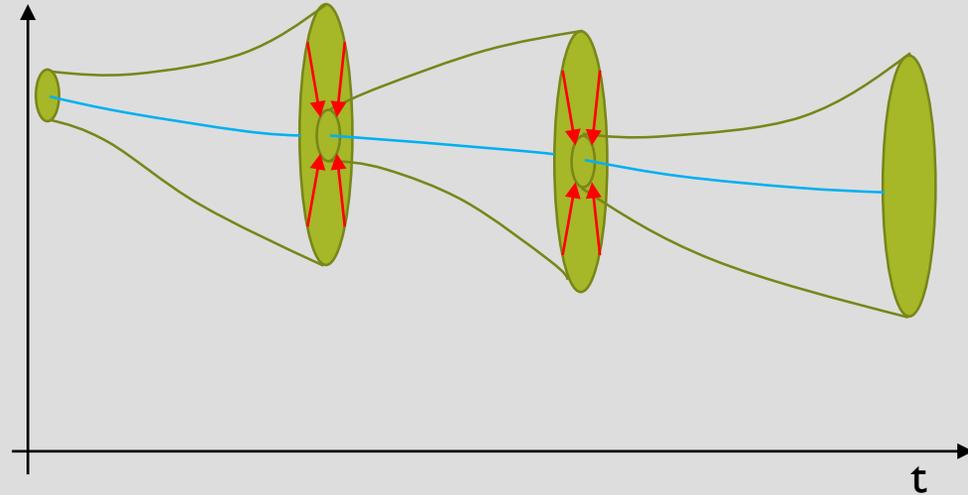
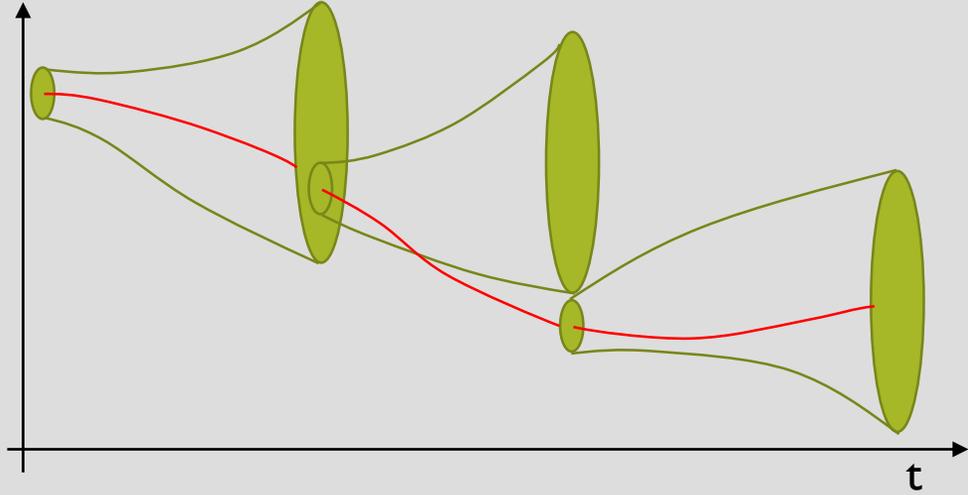
- Запись
 - Дискретность
 - Параллельность
- Формат
 - Универсальные форматы с самоописанием
- Хранение
 - Рабочая область
 - Пересылка в БД
 - Пересылка в удаленные хранилища
- Документация хранилищ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДУЛЕЙ

- Прямое
- Модуль взаимодействия (coupler)
 - Список данных для обмена
 - Организация обменов
 - Протокол
 - Запросы и их обработка
 - Синхронизация и оптимизация
- Дополнительные функции coupler-a
 - Интерполяция
 - Вычисление потоков
 - Изменение параметров модулей
 - Интерактивное взаимодействие с пользователем

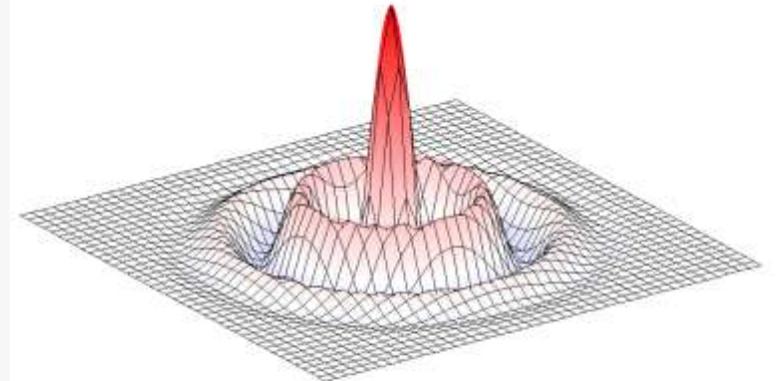


АНСАМБЛИ



ПОСТПРОЦЕССИНГ

- Среда
 - Matlab
 - IDL
 - Python
 - Scilab
 - Grads
- Графический интерфейс
- Специализированные пакеты программ для анализа данных



IDL

Scilab

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ