

Оценка поглощения углерода из атмосферы наземными экосистемами с помощью Модели Земной системы ИВМ РАН

А. Ю. Черненко^{1,2}, Е. М. Володин^{1,2}

¹Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН

²Институт географии РАН

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда
(грант РНФ № 20-17-00190)*



ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук

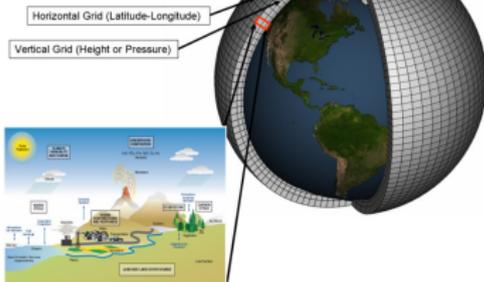


основан в 1918 году

- Рост концентрации углекислого газа в атмосфере – один из ключевых факторов глобального потепления
- Концентрация CO_2 сегодня уже более чем на 50% превышает значение в доиндустриальную эпоху
- Контроль выбросов парниковых газов и квоты на них
- Математические модели Земной системы – основной инструмент для получения региональных и глобальных оценок запасов и потоков углерода

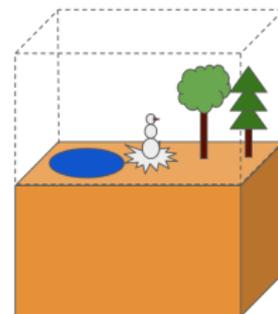


Schematic for Global Atmospheric Model



Деятельный слой суши:

- приземный слой атмосферы
- растительность
- снег
- внутренние водоемы
- почва

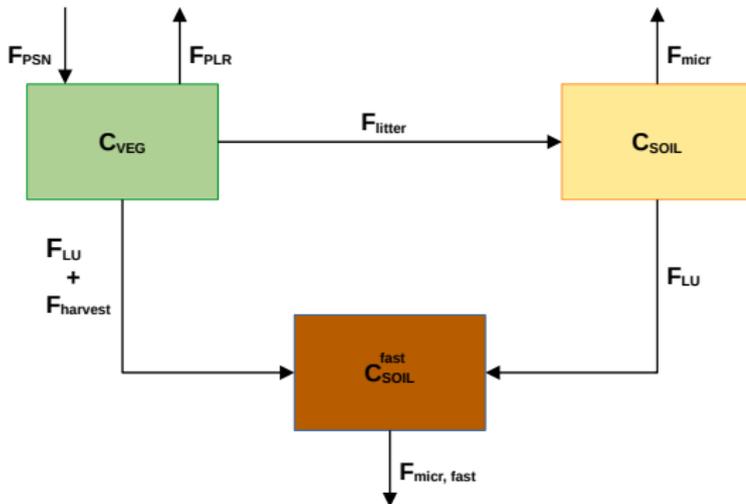


¹Volodin, 2023

Модуль наземного углеродного цикла ИВМ РАН

В МЗС ИВМ РАН запасы углерода на суше² рассматриваются независимо для каждой ячейки сетки и разделены на три пула:

- углерод растительности (C_{VEG})
- углерод почвы (C_{SOIL})
- быстроразлагаемый антропогенный почвенный пул (C_{SOIL}^{fast})



Каждый пул разделен на подпулы, соответствующие возможным типам растительности в ячейке (леса, луга, тундра, с/х угодья и тд).

²Volodin, 2007

Динамика запасов углерода описывается уравнениями³:

$$\frac{\partial C_{\text{VEG}}}{\partial t} = F_{\text{PSN}} - F_{\text{PLR}} - \frac{C_{\text{VEG}}}{\tau_{\text{VEG}}} - F_{\text{LU}} \cdot C_{\text{VEG}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_{\text{SOIL}}}{\partial t} = \frac{C_{\text{VEG}}}{\tau_{\text{VEG}}} - F_{\text{harvest}} - \frac{C_{\text{SOIL}}}{\tau_{\text{SOIL}}} - F_{\text{LU}} \cdot C_{\text{SOIL}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_{\text{SOIL}}^{\text{fast}}}{\partial t} = F_{\text{harvest}} + F_{\text{LU}} \cdot (C_{\text{VEG}} + C_{\text{SOIL}}) - \frac{C_{\text{SOIL}}^{\text{fast}}}{\tau_{\text{fast}}} \quad (3)$$

- F_{PSN} и F_{PLR} – скорости фотосинтеза и дыхания растений
- τ_{VEG} , τ_{SOIL} и τ_{fast} – характерные времена жизни растений и разложения углерода в почве
- F_{LU} – интенсивность изъятия углерода из-за землепользования
- F_{harvest} – биомасса, изымаемая в качестве урожая

³Chernenkov and Volodin, 2024

Модуль наземного углеродного цикла ИВМ РАН

- Потоки F_{PSN} и F_{PLR} вычисляются аналогично модели LSM-1.0⁴.
- Землепользование считается предписанным и меняется по годам в соответствии с данными⁵ проекта Land Use Harmonization 2.
- Интенсивность сбора урожая оценивается пропорционально растительному опад: $F_{harvest} = \alpha \cdot \frac{C_{VEG}}{\tau_{VEG}}$, где $\alpha \in [0, 1]$ – эмпирическая доля, специфичная для каждого типа растительности.
- Численная реализация – явный Эйлер, шаг по времени – 1 час.

На вход необходимо:

- ◇ температура и влажность воздуха на 2 м
- ◇ температура и влажность почвы на модельных уровнях
- ◇ поток приходящей коротковолновой радиации
- ◇ концентрация CO₂ в атмосфере
- ◇ данные о пространственном распределении растительности

Модуль наземного углеродного цикла может использоваться как в автономном режиме (+ атмосферный форсинг), так и в совместном режиме с МЗС ИВМ РАН (или другой моделью).

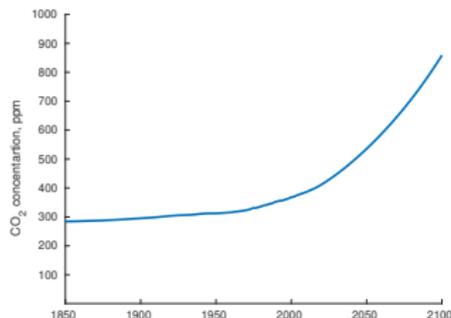
⁴ Bonan, 1995

⁵ Hurtt et al., 2020

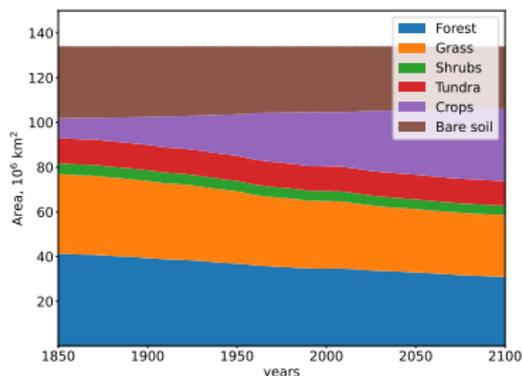
Расчеты:

- совместно с INMCM6
- период – с 1850 по 2100 г.
(для будущего сценарий SSP-3.7.0)
- концентрация CO_2 в атмосфере — предписанная (CMIP6)
- распределение растительности — динамическое предписанное с шагом 1 год (LUH2)

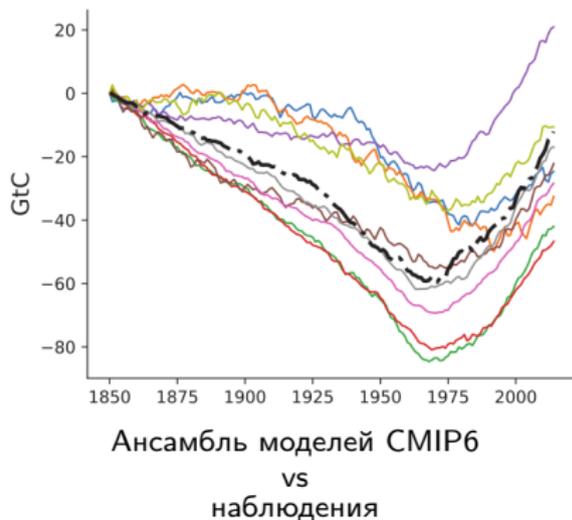
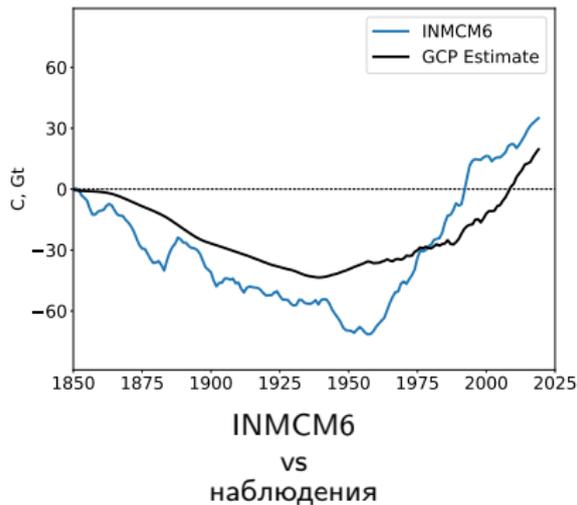
Концентрация CO_2 в атмосфере (исторические наблюдения + SSP3–7.0)



Глобальная динамика экосистем



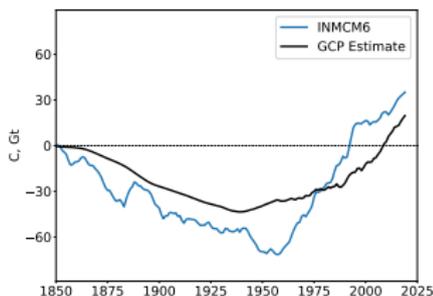
Динамика запасов углерода в наземных экосистемах: история и современность



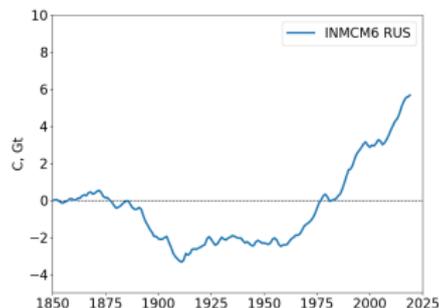
RMSE = 18 Гт

$R_{\text{corr}} = 0.84$

Динамика запасов углерода в наземных экосистемах: история и современность



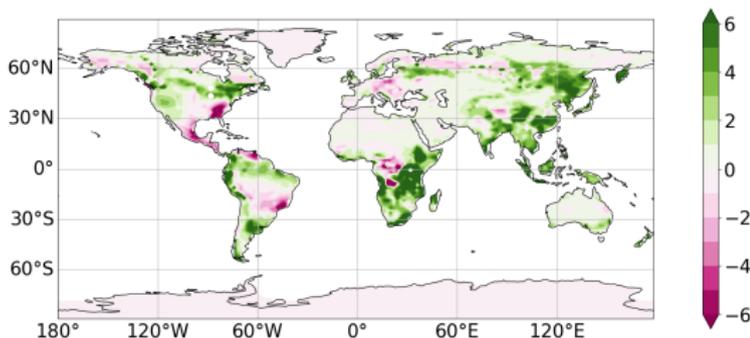
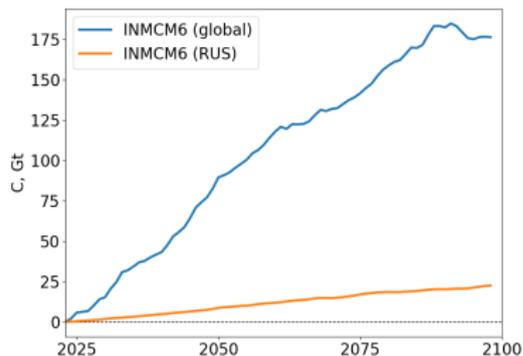
Глобально



Россия

	C_{veg} , ГТ		C_{soil} , ГТ		C_{land} , ГТ	
	глобально	РФ	глобально	РФ	глобально	РФ
1850	608	65	1703	426	2311	491
2023	599	71	1746	425	2345	496
2023 vs 1850	-9	+6	+43	-1	+34	+5

Динамика запасов углерода в наземных экосистемах: прогноз к концу 21 века



	C_{veg} , ГТ		C_{soil} , ГТ		C_{land} , ГТ	
	глобально	РФ	глобально	РФ	глобально	РФ
2100 vs 2023	+126	+26	+61	-3	+187	+23

- МЗС ИВМ РАН корректно воспроизводит динамику запасов углерода на суше в прошлом.
 - Модель прогнозирует суммарное поглощение углерода из атмосферы наземными экосистемами в период 2023–2100 г. на уровне 187 Гт.
 - Предполагаемая доля углерода, поглощенного экосистемами России, составляет $\sim 12\%$.
- ! Полученные оценки во многом зависят от данных, подаваемых на вход модели. Для будущего используются подготовленные в рамках проекта CMIP6 сценарные данные о глобальной концентрации CO_2 в атмосфере, а также о пространственном распределении различных типов растительности.

Спасибо за внимание!

Вопросы?

Черненко Алексей
chernenkoval97@gmail.com
tg: @alers1113