

Оценка природных потоков СО₂ на территориях субъектов Уральского федерального округа по спутниковым данным

Сухих Г.А.¹, Розанов А.П.^{2,3}, Грибанов К.Г.¹, Захаров В.И.¹

¹Уральский федеральный университет, пр. Ленина, 51, г. Екатеринбург, 620000, Россия

²Факультет компьютерных наук и инженерии, Университет Миннесоты, США

³Факультет географии, окружающей среды и общества, Университет Миннесоты, США

Предмет исследования

Потоки углерода (С) в природных сообществах территорий Уральского федерального округа (УрФО).

- Период исследования: 2020-2022 годы.
- Методология: Использована оригинальная модель машинного обучения «NorthFlux» [1,2].

Используемые данные:

1. Спектральные данные спутникового сенсора MODIS.
2. Метеоданные ретроспективного климатического анализа (ERA5).
3. Данные MODIS (продукт MCD12C1 v061) по классификации растительности подстилающей поверхности.

1. Розанов А. П. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682424 North Flux.

Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 октября 2023 г.

2. Rozanov, A.P., Zadvornykh, I.V., Gribanov, K.G., Zakharov V.I. Estimates of Carbon Dioxide Flux into the Forest Ecosystem Based on Results of Ground-Based Hyperspectral Sounding of the Atmosphere and an Artificial Neural Network Model. // Atmospheric and Oceanic Optics 37, 199–204 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1024856024700246>

Ансамблевая модель на основе машинного обучения NorthFlux

Глобальные спектральные данные спутникового сенсора MODIS (продукт MOD09 CMG) с пространственным разрешением $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$.
Продукт разработан NASA для климатических приложений



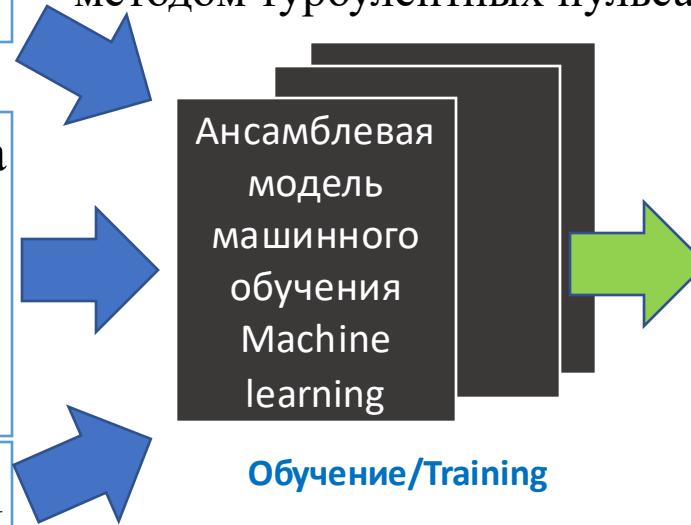
Глобальные метеоданные ретроспективного анализа Европейского бюро среднесрочных прогнозов ERA5, с пространственным разрешением $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, в том числе кумулятивные данные по температуре и осадкам.



Глобальные спутниковые данные по классификации растительности подстилающей поверхности, с пространственным разрешением $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ - продукт MCD12C1 v061. Продукт разработан NASA в рамках Международной геосферно-биосферной программы



Для тренировки ансамблевой модели машинного обучения NorthFlux использовались накопленные данные на 175 станциях международной сети FLUXNET, выполнивших измерения NEE в северном полушарии методом турбулентных пульсаций (Eddy Covariance)



Ансамблевая
модель
машиного
обучения
Machine
learning

Обучение/Training

Величины потоков углерода (GPP, NEE, RECO) на станциях

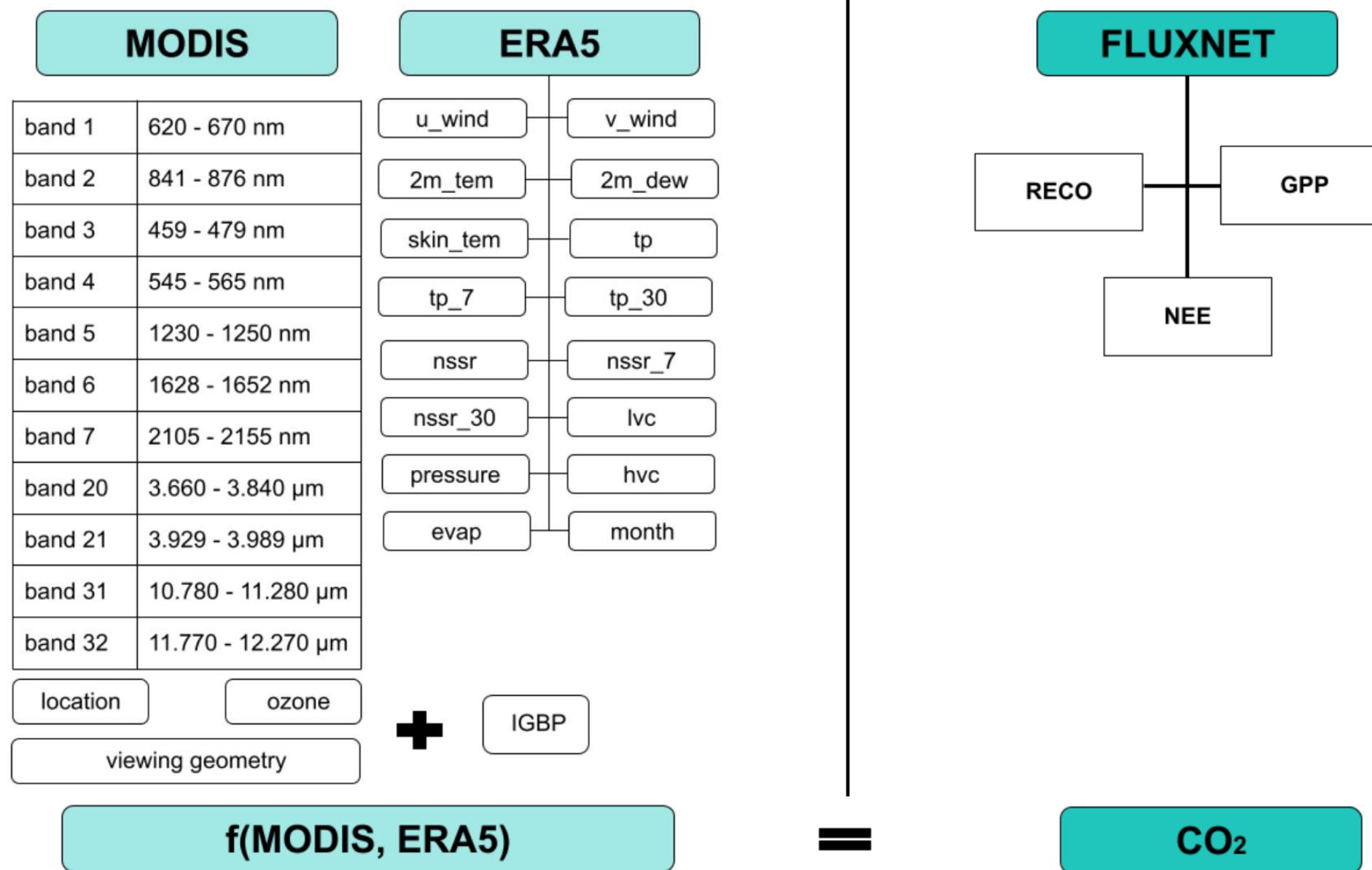


GPP – (Gross Primary Production) – входящий поток углерода (фотосинтез).

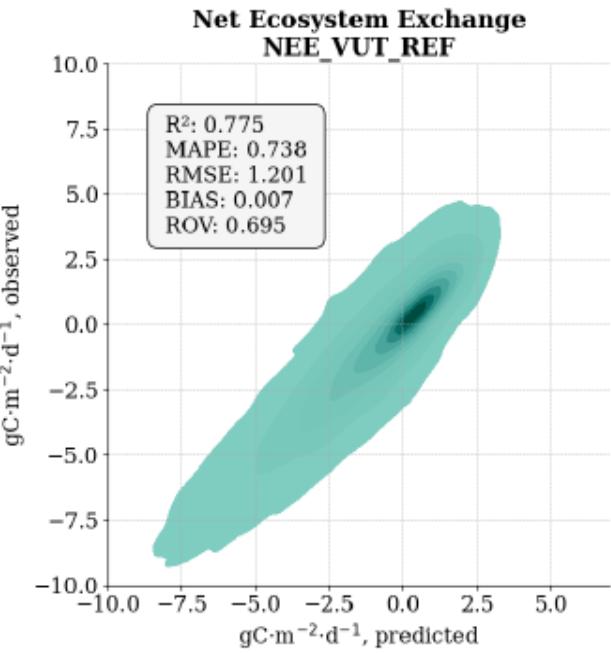
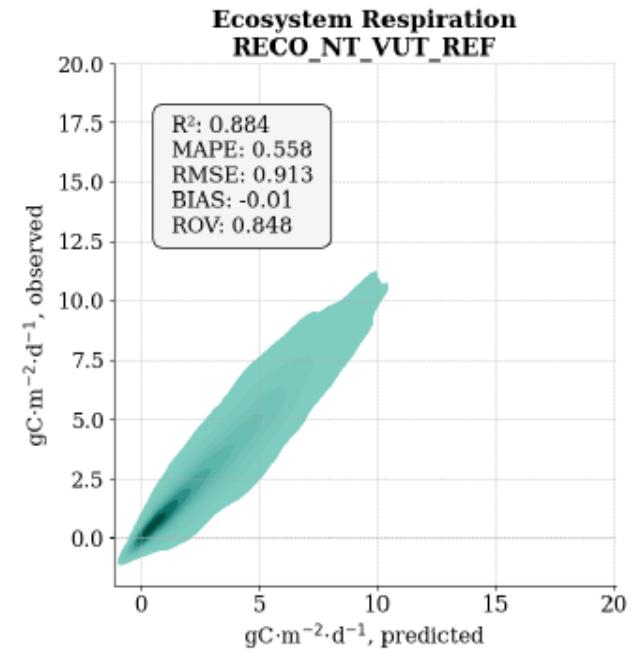
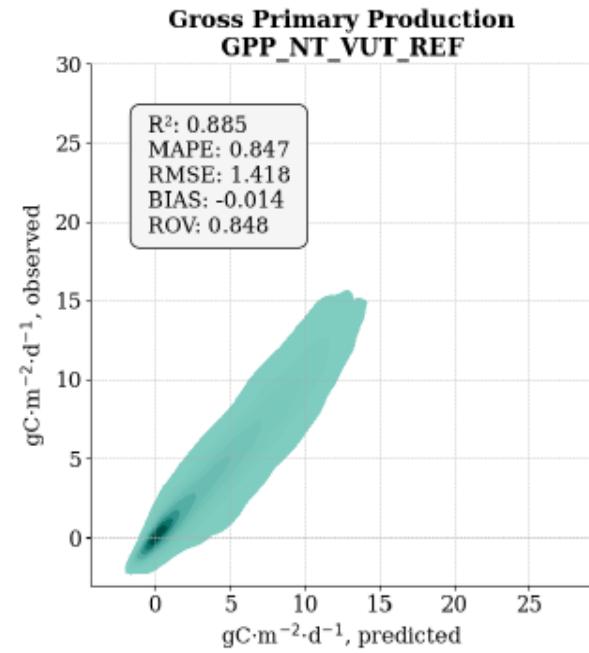
RECO – (Ecosystem Respiration / Gross Respiration) – исходящий поток углерода (дыхание + разложение).

NEE – (Net Ecosystem Exchange) – нетто-экосистемный обмен (чистый обмен CO₂ между экосистемой и атмосферой).

Структура набора данных для обучения и тестирования модели. Входные данные — слева, целевые значения – справа.



Результаты аprobации модели NorthFlux

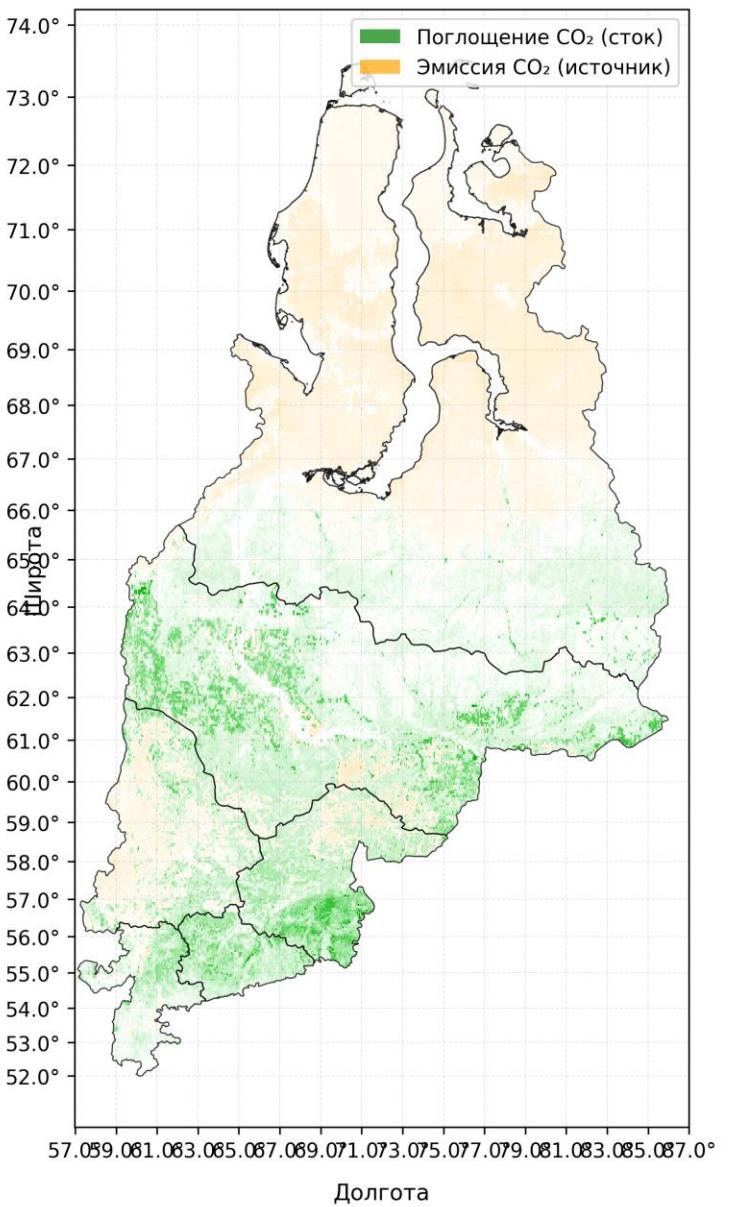


Валидация модели выполнялась на данных, не участвовавших в обучении ансамбля моделей (30 % данных). Приведены диаграммы рассеяния модельных и измеренных данных.

Для участка полигона «Урал-Карбон» интегральные значения нетто-поглощенного из атмосферы углерода за календарный 2024 г. составляют $104,92 \text{ гC}/\text{м}^2$ (модель NorthFlux) и $93,66 \text{ гC}/\text{м}^2$ (измерения методом турбулентных пульсаций).

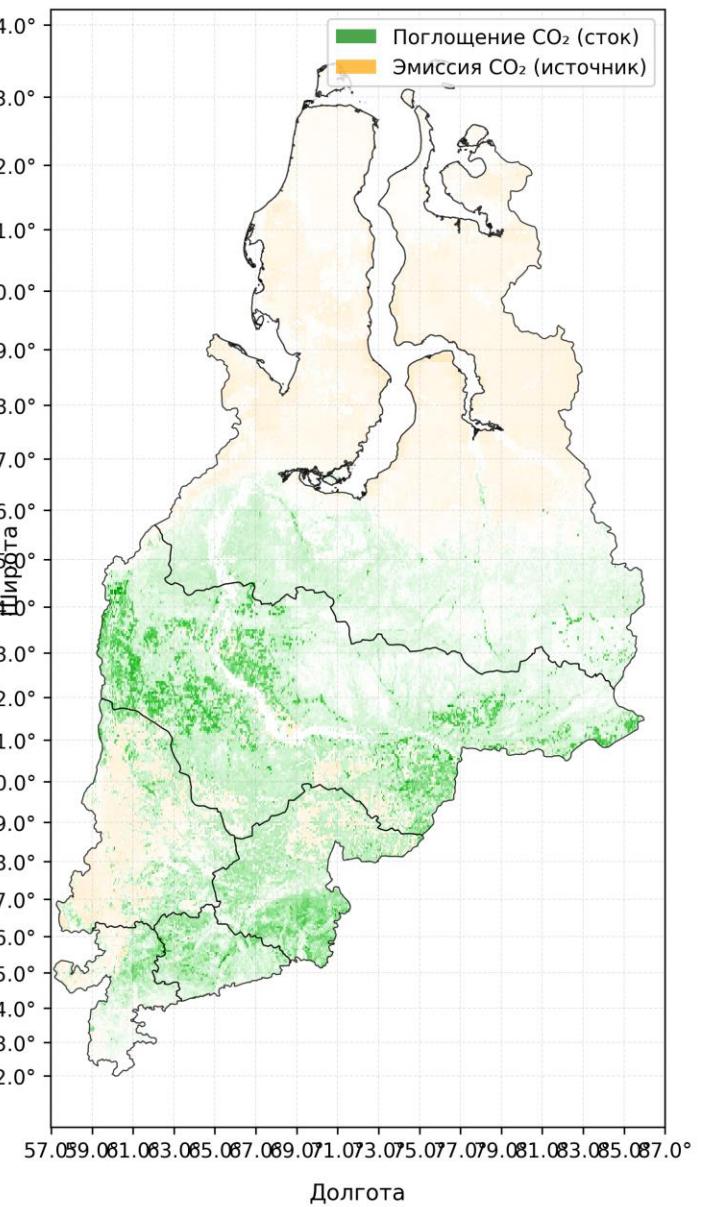
Средние значения NEE за 2020 год

Система координат: EPSG:3857 (Web Mercator)



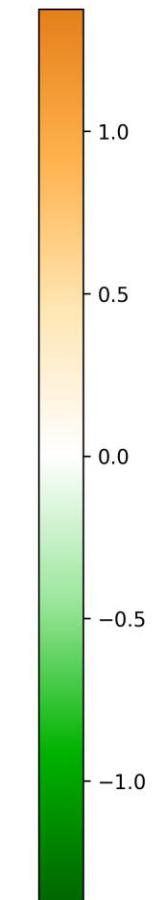
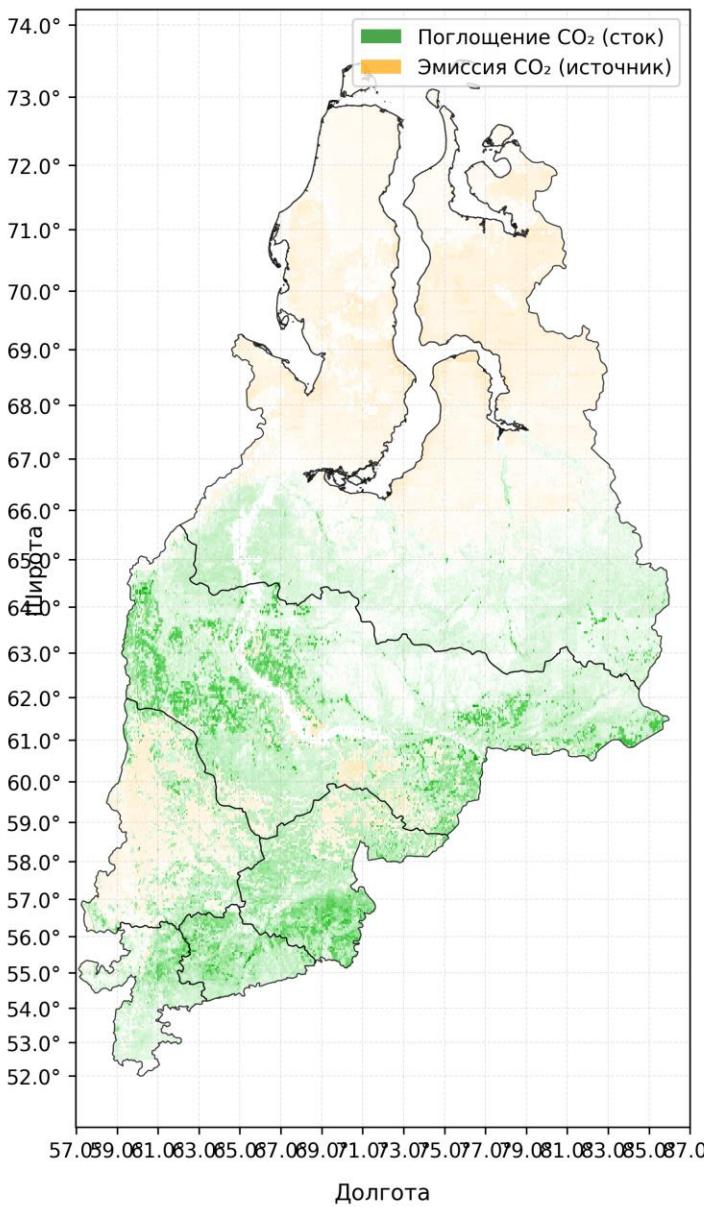
Средние значения NEE за 2021 год

Система координат: EPSG:3857 (Web Mercator)



Средние значения NEE за 2022 год

Система координат: EPSG:3857 (Web Mercator)



Карты среднегодового нетто-поглощения CO₂ экосистемами УрФО. Пространственное разрешение 0.05° x 0.05°.

Оценки нетто-поглощения CO₂ (NEE) из атмосферы экосистемами Уральского федерального округа.
Данные приведены в мегатоннах углерода (Мт C) и в мегатоннах углекислого газа (Мт CO₂)

Год	Баланс, Мт C (Мт CO ₂)	Эмиссия, Мт C (Мт CO ₂)	Поглощение, Мт C (Мт CO ₂)
2020	-43.139 (-158.176)	35.501 (130.170)	-78.640 (-288.347)
2021	-59.928 (-219.736)	25.328 (92.869)	-85.255 (-312.602)
2022	-64.535 (-236.628)	26.662 (97.761)	-91.197 (-334.389)

Результаты

- Природные сообщества УрФО в целом являются поглотителем (стоком) углекислого газа. Зафиксирована положительная динамика годового нетто-поглощения CO₂:

2020 год: -43.14 Мт С (158,00 Мт CO₂)

2021 год: -59.93 Мт С (219.74 Мт CO₂)

2022 год: -64.54 Мт С (236.65 Мт CO₂)

- Источник эмиссии CO₂:

Природные сообщества Ямало-Ненецкого АО (ЯНАО): В рассматриваемый период баланс был положительным (от 5.19 до 21,11 т/км²). Биота региона не поглощала, а выбрасывала CO₂ в атмосферу.

2020 год: 16.24 Мт С (59.55 Мт CO₂)

2021 год: 4.40 Мт С (16.13 Мт CO₂)

2022 год: 3.99 Мт С (14.63 Мт CO₂)

Результаты

- Поглотители CO₂:

Ханты-Мансийский АО (ХМАО): Стабильно высокий сток (от 57.55 до 68.51 С т/км²).

2020 год: -30.78 Mt C (112.86 Mt CO₂)

2021 год: -39.67 Mt C (145.46 MtCO₂)

2022 год: -36.64 Mt C (134.35 MtCO₂)

Курганская область – Лидер по объемам поглощения (от 87.15 до 109, 53 С т/км²):

2020 год: -7.29 Mt C (26.73 MtCO₂)

2021 год: -6.23 Mt C (22.84 MtCO₂)

2022 год: -7.83 Mt C (28.71 MtCO₂)

Результаты

Тюменская область (без АО): (от 80,38 до 93,12 С т/км²).

2020 год: -13.91 Mt C (51.00 MtCO₂)

2021 год: -12.87 Mt C (47.23 MtCO₂)

2022 год: -14.91 Mt C (54.71 MtCO₂)

Челябинская область (от 30,72 до 65,29 С т/км²):

2020 год: -4.25 Mt C (15.62 MtCO₂)

2021 год: -2.72 Mt C (9.97 MtCO₂)

2022 год: -5.78 Mt C (21.19 MtCO₂)

Свердловская область: Наименьшие объемы поглощения
(от 8,39 до 11,48 т/км²)

2020 год: -2.04 Mt C (7.48 MtCO₂)

2021 год: -1.63 Mt C (6.12 MtCO₂)

2022 год: -2.23 Mt C (8.21 MtCO₂)

ВЫВОДЫ

1. Природные сообщества УрФО в целом выполняют функцию стока атмосферного углекислого газа, за данные годы их потенциал растет.
2. Наблюдается сильная пространственная неоднородность: вклад различных субъектов в углеродный баланс округа различается.
3. ХМАО является ключевым регионом-поглотителем, компенсирующим эмиссию от других территорий.
4. ЯНАО выступает источником CO₂, однако динамика показывает значительное улучшение баланса к 2022 году.

Исследование выполнено при поддержке госзадания Минобрнауки РФ, проект №FEUZ-2024-0011.

Спасибо за внимание!

Контакты:

Сухих Г.А. augustmilosskiy@gmail.com

Грибанов К.Г. kgribanov@remotesensing.ru

Захаров В.И. v.zakharov@remotesensing.ru