



**Институт физики атмосферы
им. А.М. Обухова РАН**

**Голубятников Л.Л., Завалишин Н.Н., Александров Г.Г.,
Белова И.Н., Гинзбург А.С., Александров Г.А., Кривенко Л.А.**

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ВИПГЗ–2022



**Конференция
«УГЛЕРОД В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: МОНИТОРИНГ».
РЕАЛИЗАЦИЯ ВИП ГЗ «ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ»**

ЦЭПЛ РАН, 15–16 февраля 2023 г.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Направление 1. Создание сети мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня

Оценка применимости разных подходов, методов, технологий исследований потоков метана в атмосферу в различных типах наземных экосистем

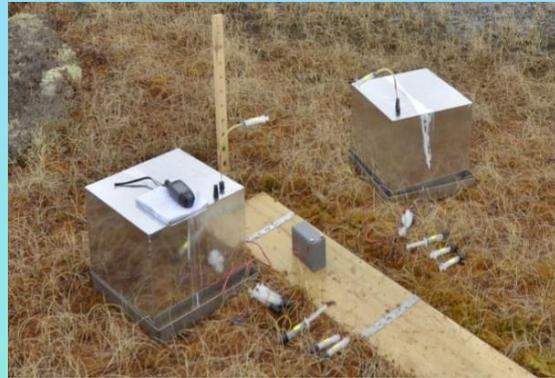
Направление 4. Разработка прогнозов динамики пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России при разных сценариях землепользования и изменений климата

Прогнозные оценки потоков углерода в естественной и антропогенно-нарушенной тундровых экосистемах в современных климатических условиях

- ❖ адаптация динамической модели углеродного цикла для тундровых и лесотундровых экосистем;
- ❖ формирование базы данных полей параметров динамической модели углеродного цикла;
- ❖ прогнозные оценки потоков углерода в естественной и антропогенно-нарушенной тундровых экосистемах в современных климатических условиях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТОКОВ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ

Метод статических камер (closed gas-exchange system, botton-up technique)

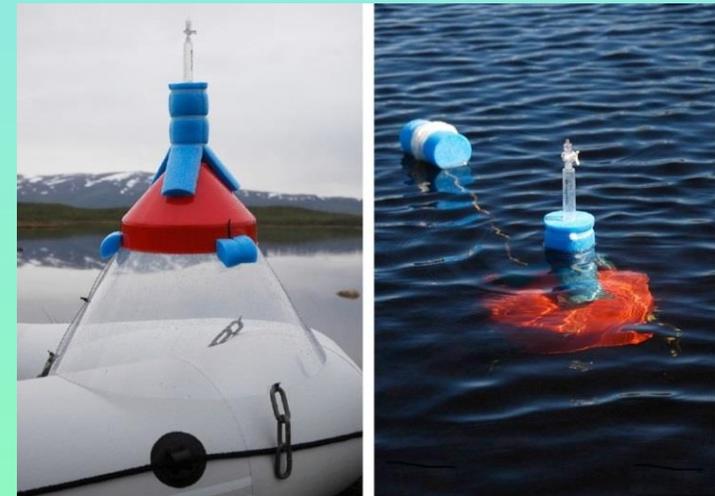


$$F = 10^{-3} \cdot dX \cdot P \cdot M \cdot V / (R \cdot T \cdot S), \text{ мгCH}_4\text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$$

V – объем камеры, м³; S – площадь основания камеры, м²;
 dX – скорость изменения концентрации CH₄ в камере, млн⁻¹/ч;
 M – молярная масса метана, г/моль;
 R – универсальная газовая постоянная Дж/(моль·К);
 T – температура воздуха в камере, К;
 P – атмосферное давление, Па.

$$F = 10^{-3} \cdot C_{\text{CH}_4} \cdot V \cdot M / (A \cdot t \cdot V_m), \text{ мгCH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1},$$

C_{CH_4} – концентрация CH₄, μл/л; V – объем накопленного газа, л; M – молярная масса CH₄, г/моль; A – площадь основания воронки, м²; t – кол-во дней между измерениями, V_m – молярный объем газа при стандартных условиях, моль/л



МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТОКОВ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ

Метод турбулентных пульсаций (eddy covariance)



Вертикальный поток изучаемого газа (F) может быть представлен как произведение плотности сухого воздуха (ρ_a) на ковариацию (осредненное произведение мгновенных отклонений от средних значений) вертикальной скорости ветра (w) и коэффициента смешивания (ϕ) изучаемого газа:

$$F = \rho_a \overline{w' \phi'}$$

Метеорологические вышки с оборудованием для измерений потоков метана методом турбулентных пульсаций

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТОКОВ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ

Метод пограничного слоя (boundary layer method)

Основан на полуэмпирических уравнениях.

Уравнение газообмена между воздухом и водой (F , моль/(м² сут))

$$F = k(C_{\text{sur}} - C_{\text{eq}}),$$

C_{sur} – концентрация метана в приповерхностном слое воды исследуемого водоема (моль/м³),

C_{eq} – концентрация метана в приповерхностном слое воды, когда газ находится в равновесии с его содержанием в приповерхностном воздухе (моль/м³),

k – константа газообмена (скорость переноса газа) (м/сут)

Параметры необходимые для расчетов:

концентрация метана в воздухе и в воде, скорость ветра, температура воды.

$$k = k_{600} (S_c/600)^n,$$

$$k_{600} = 1.68 + 0.228 \times U_{10}^{2.2}, \quad k_{600} = 2.07 + 0.215 \times U_{10}^{1.7}, \quad k_{600} = 0.45 \times U_{10}^{1.64}$$

(U_{10} – скорость ветра в м/с на высоте 10 м)

$$U_{10} = 1.22 U \quad (U – \text{скорость ветра на высоте 1.5–2 м})$$

$$S_c = 1897.8 - 114.28t + 3.2902t^2 - 0.039061t^3 \quad (t \text{ (}^\circ\text{C)} – \text{температура воды)}$$

$$C_{\text{eq}} = \beta p_{\text{CH}_4},$$

β – растворимость CH_4 , p_{CH_4} — парциальное давление CH_4 в атмосфере.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТОКОВ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ

Самолетное зондирование

Самолет-лаборатория оборудован аппаратно-программными комплексами для измерения газового и аэрозольного состава атмосферы, термодинамических параметров атмосферы, микрофизических параметров облаков, радиоактивности и атмосферного электричества, параметров подстилающей поверхности и океана.



Ту-134 «Оптик»,
ИОА СО РАН



HIAPER
(High-performance
Instrumented Airborne
Platform for Environmental Research)



ЯК-42Д «Росгидромет»



CARIBIC
(Civil Aircraft for the Regular Investigation
of the Atmosphere Based on an Instrument
Container)

БАЗА ДАННЫХ ПОЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА

База данных разработана на основе технологии XML (eXtended Markup Language)

Для формирования БД используется пакет свободного доступа BaseX

Биологическая информация

Arctic_carbon_bio.xml

Тип экосистемы
Широта
Долгота
Фитомасса общая
Фитомасса надземная
Фитомасса подземная
NPP общая
NPP надземная
NPP подземная
Мортмасса общая
Подстилка
Опад
Гетеротрофное дыхание
Потребление фитофагами
Внос С из вне
Смыв С
Запас почвенного С

Климатическая информация

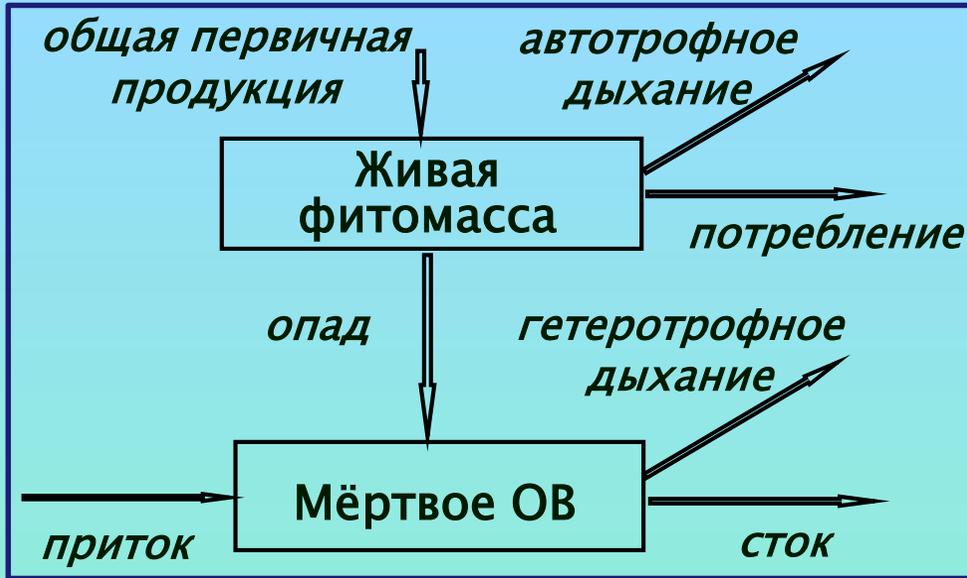
Arctic_carbon_clim.xml

Название метеостанции
WMO номер
Широта
Долгота
Высота
Год начала данных
Год завершения данных
Среднегодовые
температуры воздуха, °С
Годовые суммы осадков,
мм

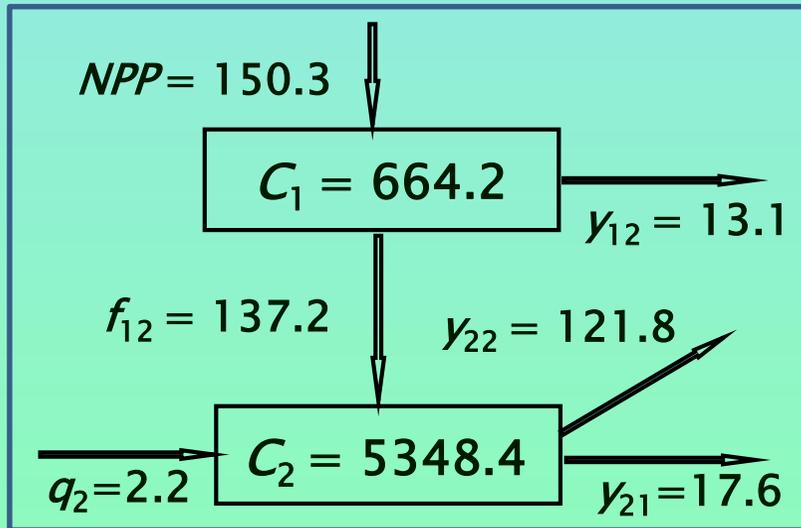
Arctic_clim_Scenario.xml

Климатическая модель
Сценарий
Год начала данных
Год завершения данных
Среднегодовые
температуры воздуха, °С
Годовые суммы осадков,
мм

МОДЕЛЬ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА В ТУНДРОВЫХ И ЛЕСОТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ



$$\begin{cases} \frac{dC_1}{dt} = C_1 \varphi_1(C_1, T_a, C_a) - (m_1 + \alpha_{12}) C_1 \\ \frac{dC_2}{dt} = q_2 + \alpha_{12} C_1 - m_2 C_2 - \varphi_2(T_a) C_2 \end{cases}$$



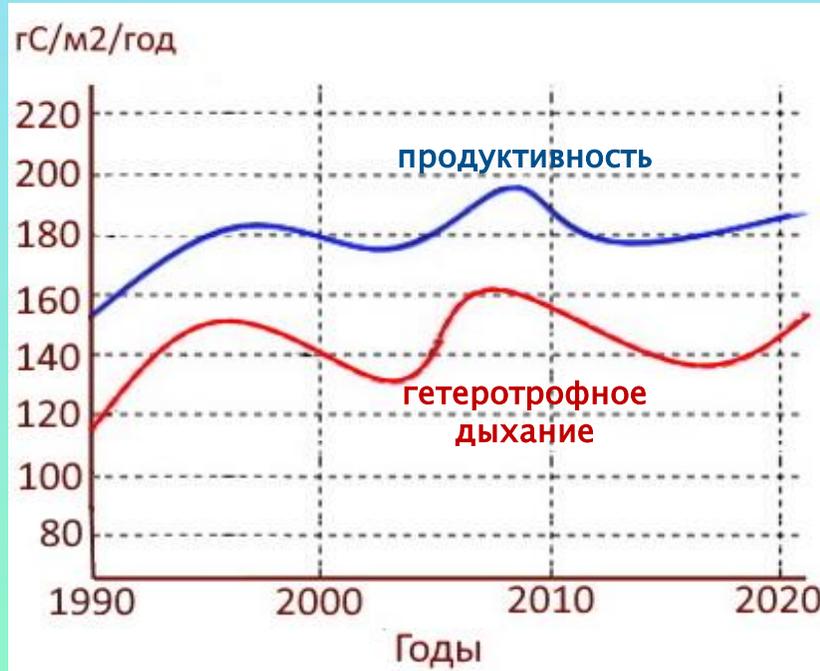
$$NPP = C_1 \frac{p_0 + r C_1}{1 + p_1 C_1 + p_2 C_1^2} \psi(C_a, T_a)$$

$$\psi(T_a) = \frac{k_T (T_a - T_{\min})(T_{\max} - T_a)}{(T_{\max} - T_{\min})^2} C_a$$

$$\varphi_2(T_a) = \exp(k_a T_a)$$

Мохово-кустарничковая тундра
(стационар Тарейя, п-ов Таймыр);
запасы - гС/м², потоки - гС/м²/год

ДИНАМИКА ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

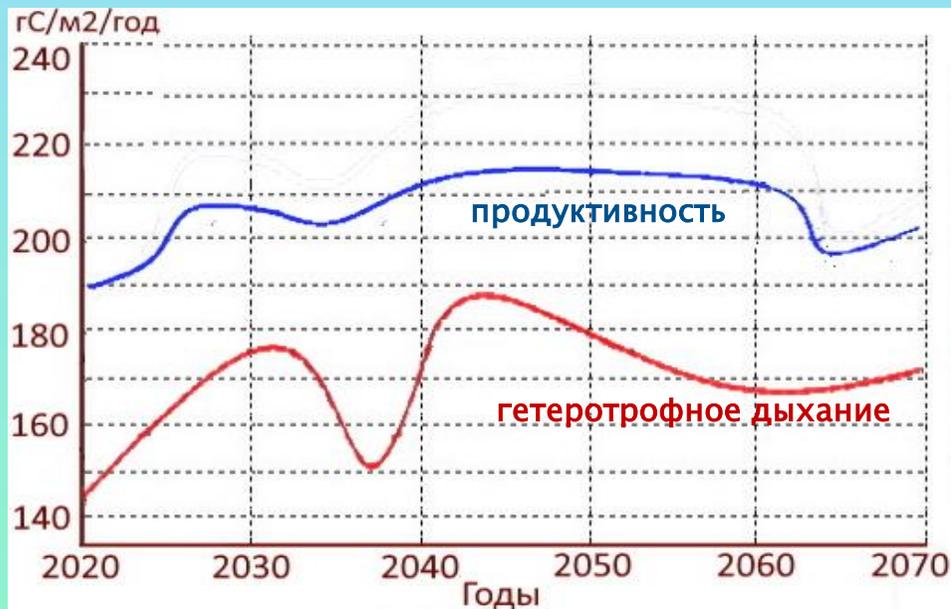


Природная тундра



Тундровое пастбище

ДИНАМИКА ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ПРИРОДНОЙ ТУНДРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ



сценарий RCP-2.6



сценарий RCP-8.5

БИОТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИ

Пулы, гСм^{-2} :

- ❖ живая фитомасса,
- ❖ мёртвая фитомасса,
- ❖ органическое вещество почвы.

Потоки, $\text{гСм}^{-2}\text{год}^{-1}$:

- ❖ общая продукция растительности,
- ❖ автотрофное дыхание,
- ❖ гетеротрофное дыхание,
- ❖ опад,
- ❖ сток,
- ❖ потребление фитомассы фитофагами,
- ❖ поступление углерода с атмосферными осадками, из соседних экосистем, антропоген.

Из Заключения РАН по отчету :

Результаты исследования создают основу для развития динамических моделей круговорота органического вещества и методик комплексного мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах РФ.

Результаты исследований могут позволить более достоверно оценить изменения объёма эмиссий парниковых газов в атмосферу из тундровых экосистем. Полученные результаты имеют практическое применение в области противодействия техногенным и биогенным угрозам.

Результаты имеют высокую значимость и находятся на мировом уровне.

Вице–президент РАН С.Н.Калмыков

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

