



**ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КарНЦ РАН**

ФОРУМ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

5-6 декабря, Санкт Петербург



ИЗУЧЕНИЕ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ (первый опыт)

Белкина Н.А., Лукина Ю.Н., Здоровеннова Г.Э., Зобков М.Б., Калинин Н.М., Здоровеннов Р.Э., Богданов С.Р., Толстиков А.В., Потахин М.С., Зобкова М.В., Богданова М.С., Бородулина Г.С., Ефремова Т.В., Гатальская Е.В., Морозова И.В., Сластина Ю.Л., Теканова Е.В., Макарова Е.М., Сярки М.Т., Ефременко Н.А.

РИТМ
УГЛЕРОДА

**ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга
климатически активных веществ»**

Россия – поглотитель или источник CO₂?

➤ Более **100 000 тС/год** (79 ТгС-CO₂ + 28 ТгС-CH₄) - эмиссия из гидрографической сети рек РФ, что существенно превышает оцениваемый на основе данных Росгидромета вынос углерода из наземных экосистем в конечные водоемы стока

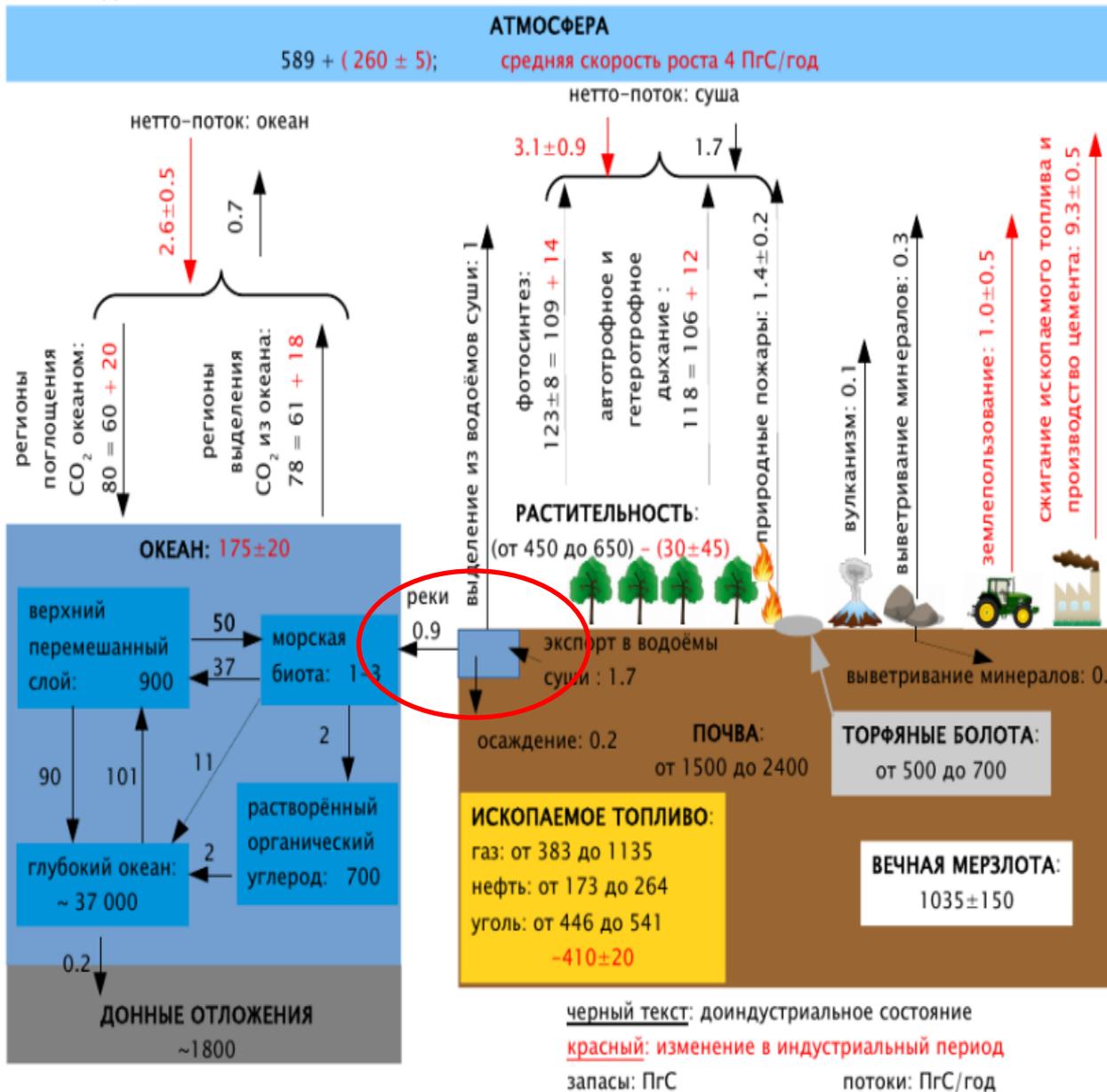
➤ Углеродный (антропогенный) след - **1,65 млрд. тонн CO₂-экв** в 2022 г.

[по данным Global emission, 2023]

➤ **Достоверность оценок для РФ вызывает сомнения** зарубежных вызывает сомнения



Парниковые газы: H₂O, CO₂, N₂O, CH₄, O₃, синтетические фторуглеродные соединения и др.)



Цикл углерода - комплекс процессов, в результате которых происходит перенос углерода между различными резервуарами (литосфера, биосфера, атмосфера, гидросфера).

Существуют малый (биогеохимический) и большой (геологический) циклы углерода.

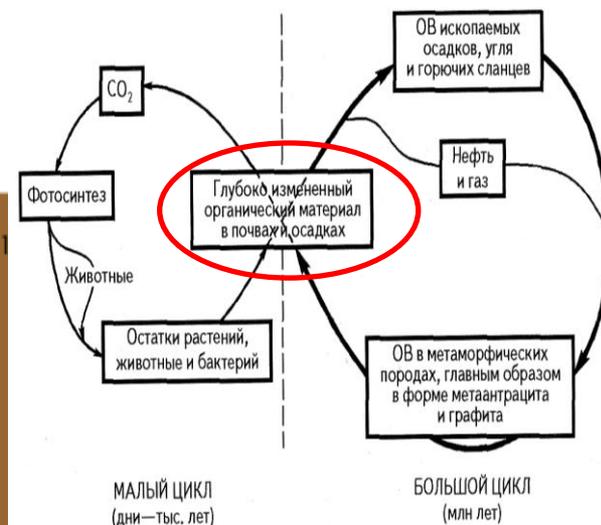


Схема природного цикла углерода

Схема глобального цикла углерода [Елисеев, 2017]

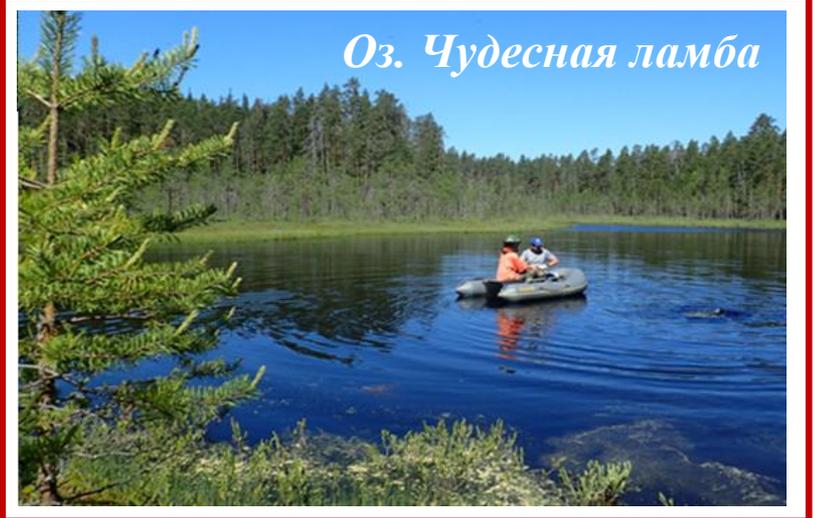
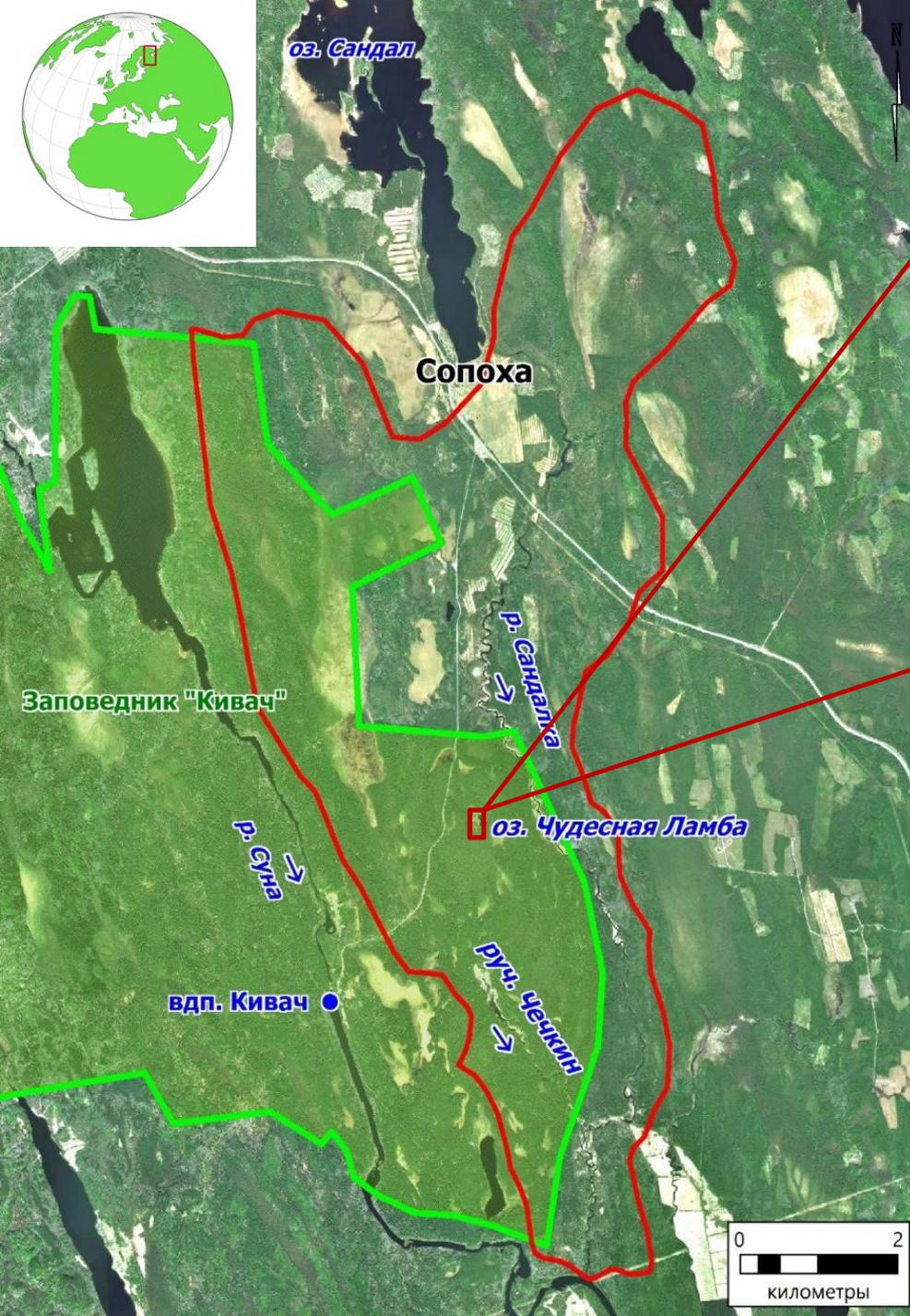
ВИП ГЗ/24-10.2 «Разработка системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах европейского севера России»

Водный объект – приемник, трансформатор, накопитель, экспортер терригенного углерода.

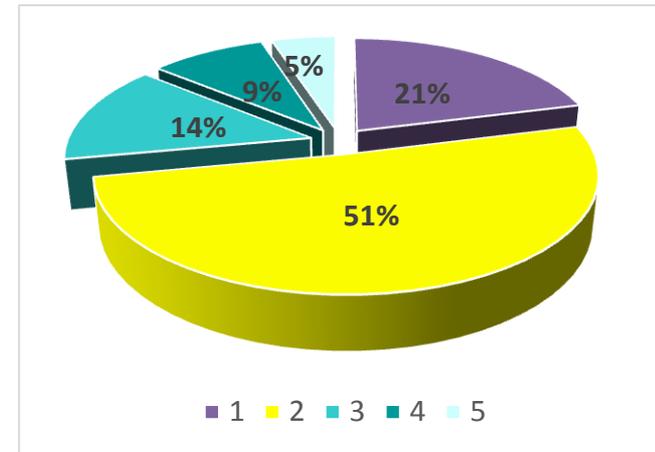
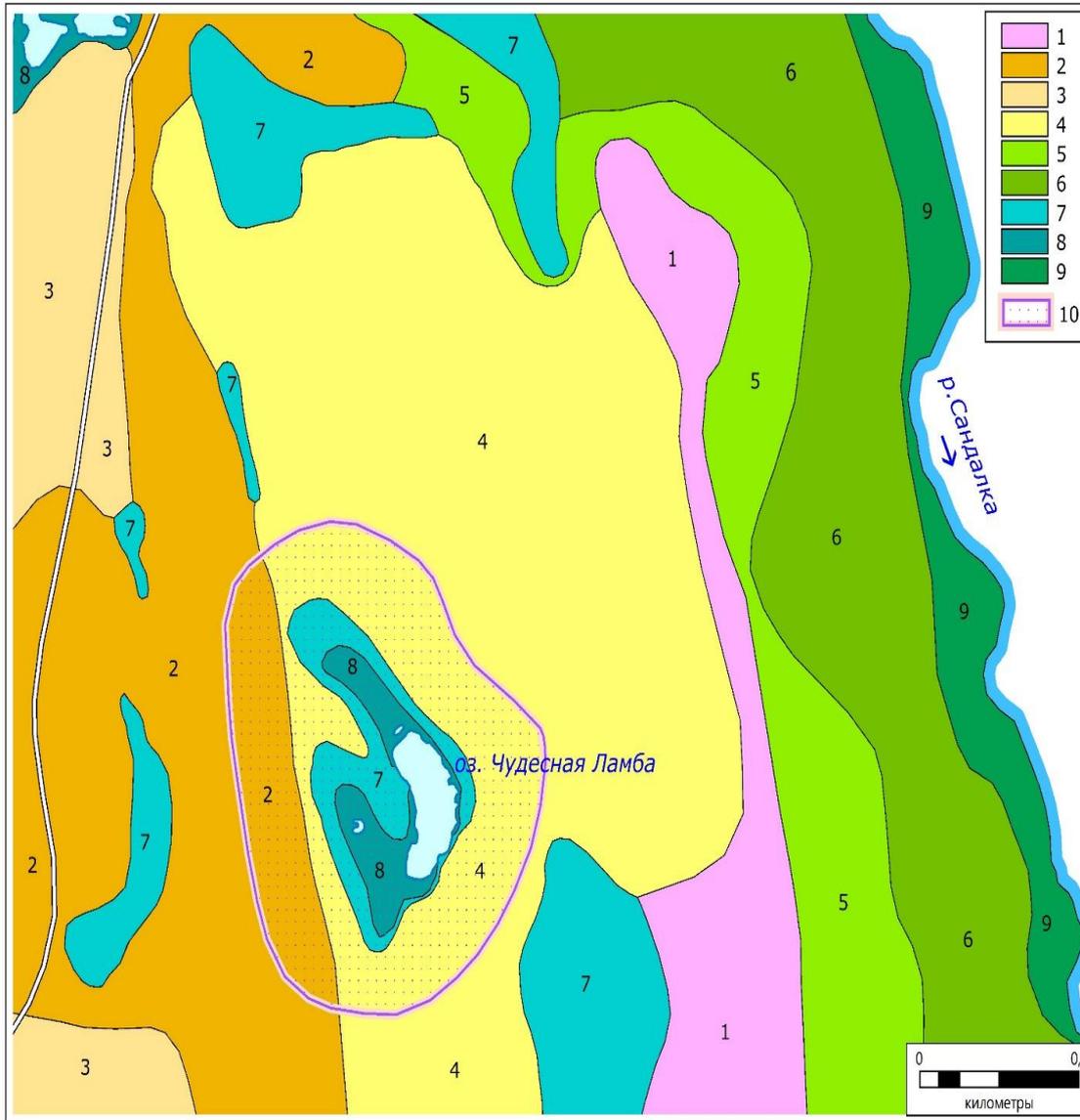
Задачи:

- Оценить латеральный сток углерода с территории водосборов в водные объекты
- Оценить количество углерода, трансформируемое и запасаемое в основных депонирующих средах водоемов (водная толща, биота, донные отложения)
- Оценить вклад водных экосистем в эмиссию парниковых газов в атмосферу
- Методика мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах

КАРБОНОВЫЙ ПОЛИГОН



Ландшафтная структура полигона «Кивач»



Структура водосбора оз. Чудесная Ламба

1 (2) Дренажированные вершины и склоны средней крутизны (5-25°); сложены валунами, с поверхности безвалунными, галечными и мелковалунными песками и супесями (озы)

2 (4) Дренажированные волнистые равнины на безвалунных (озерно-ледниковых, озерных) песках

3 (7) Олиготрофные (верховые) торфяники с гомогенной структурой и мелкобугристым микрорельефом; с постоянным естественным избыточным увлажнением

4 (8) Олиготрофные (верховые) торфяники с грядово-мочажинными и грядово-озерковыми комплексами (в том числе сплавины), с постоянным естественным избыточным увлажнением, органогенные почвы (мощность торфа более 2 м)

5 Акватория оз. Чудесная Ламба

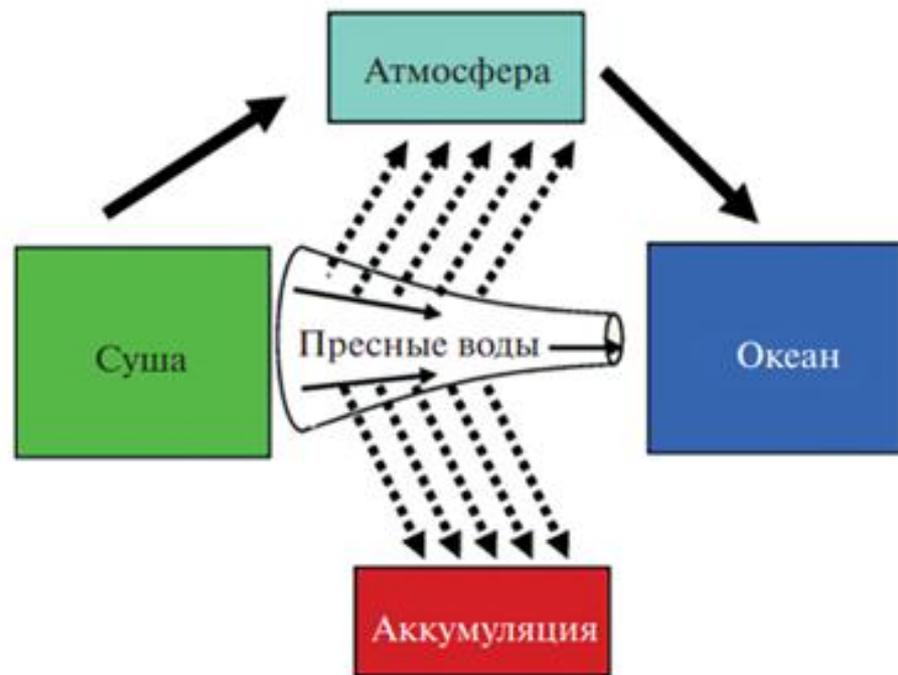
➤ Удельный вынос с территории водосбора модельных объектов колебался от **0,02** до **0,25 гС/м²** в сутки со средним **0,1 гС/м²** в сутки.

➤ ~ **11 тС/сутки** (~700 тС/год) - максимальный вынос всех форм углерода с модельного водотока р. Сандалка

➤ ~ **60 ТгС/год** (60 000 тС/год) - экспорт углерода (DIC, DOC, POC) с территории России в конечные водоемы стока [Shvidenko et al., 2010]:

арктические реки Обь, Енисей, Лена, Колыма, Северная Двина, Печора ~ **42 ТгС/год**

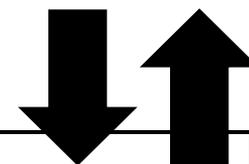
неарктические реки ~ **6 ТгС/год**



03. ЧУДЕСНАЯ ЛАМБА СХЕМА ПОТОКОВ УГЛЕРОДА

- поступление и эмиссия CO₂ из озера
- вклад в содержание CO₂ в озере
- поглощение CO₂ в озере

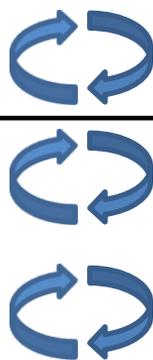
Атмосфера



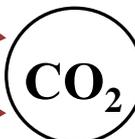
Латеральный сток



Растворенное минеральное, органическое вещество



Турбулентность
k газопереноса
Эмиссия газов

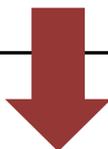


Термоклин

Накопление газов под термоклином

Седиментация детрита

Бактерии



Захоронение детрита

Эмиссия CO₂ из ДО и образование CH₄ в анаэробных условиях

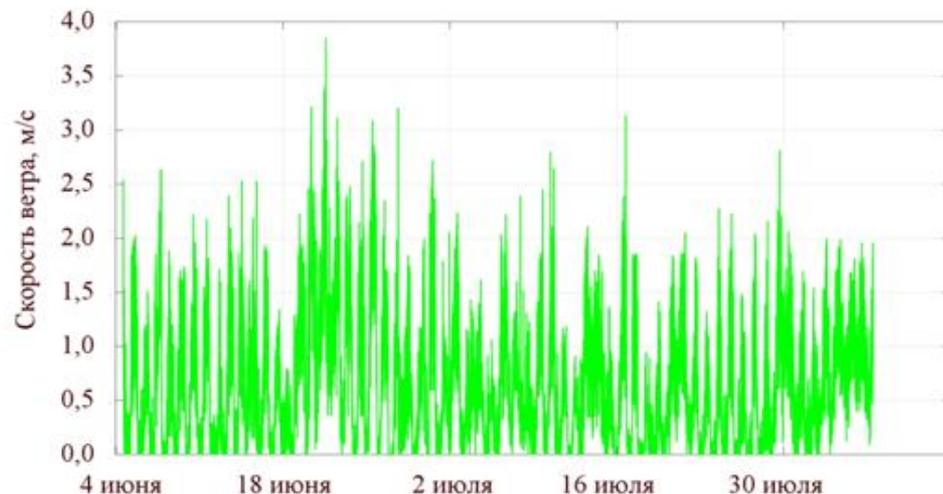


Мох

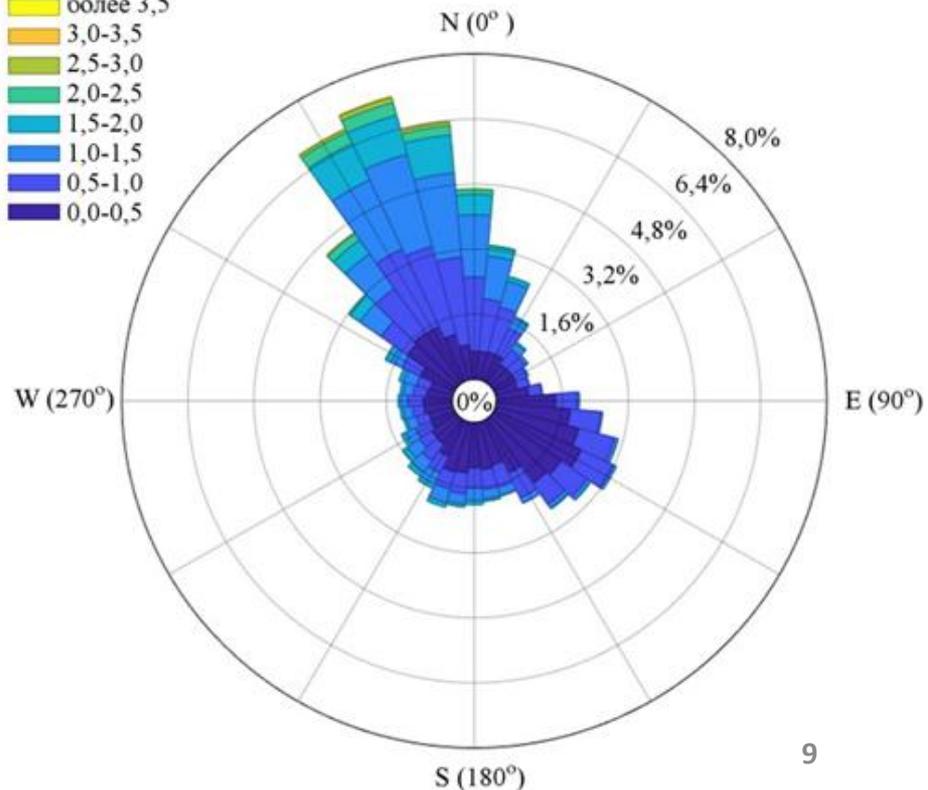
ОЦЕНКА ГАЗОПЕРЕНОСА ПО ВОДНОМУ СТОЛБУ



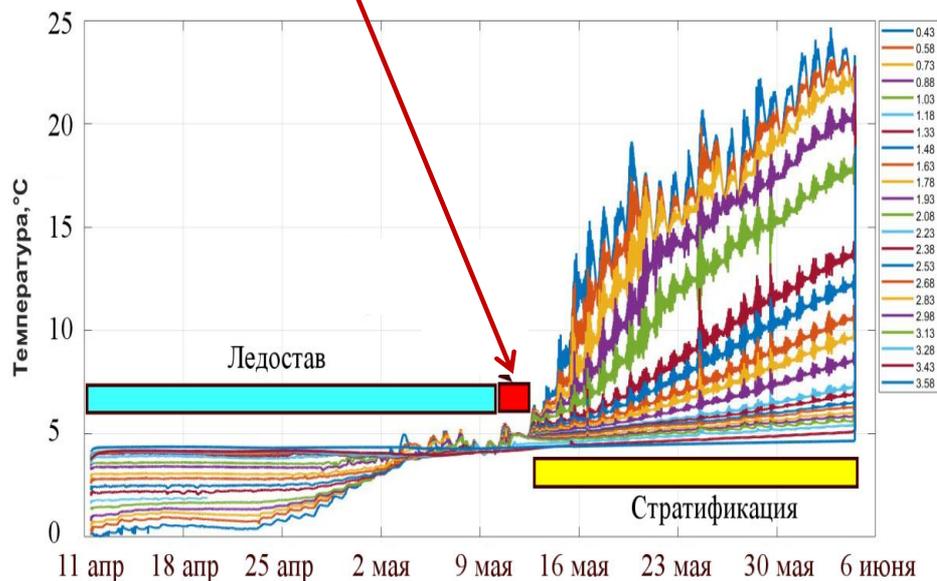
- Установлены преобладающие направления ветра (ССЗ)
- Установлены скорости ветра – не более 4 м/с
- Преобладающий механизм перемешивания – конвективный



Скорость ветра, м/с



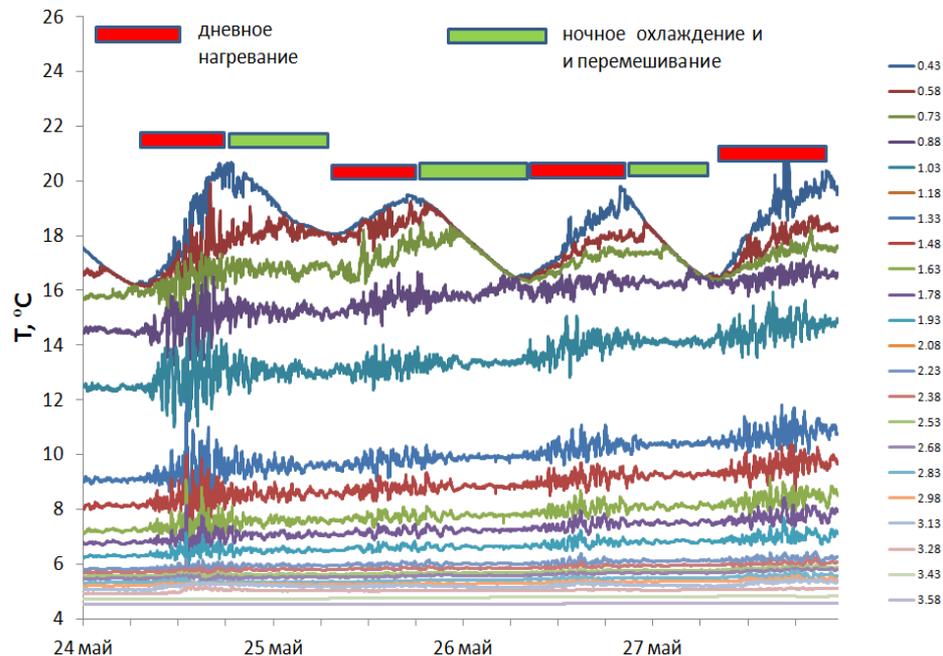
ВЕСЕННЕЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ - МАКСИМАЛЬНАЯ ЭМИССИЯ CO₂?



- Дата взлома льда (8 мая)
- Дата начала стратификации (13 мая)
- **Весеннее перемешивание - 4 дня (8-12 мая)**

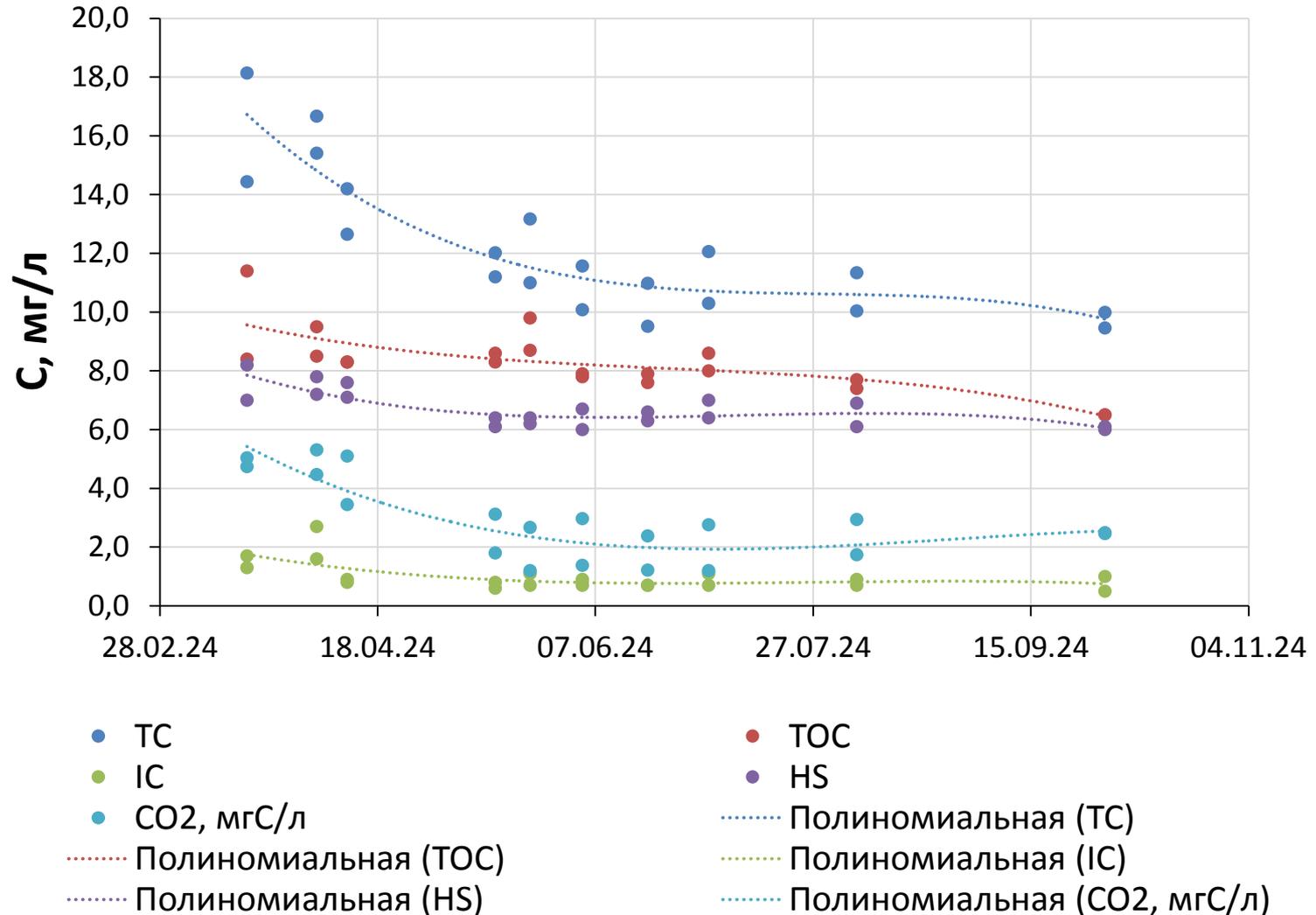


Автономная станция – термокоса

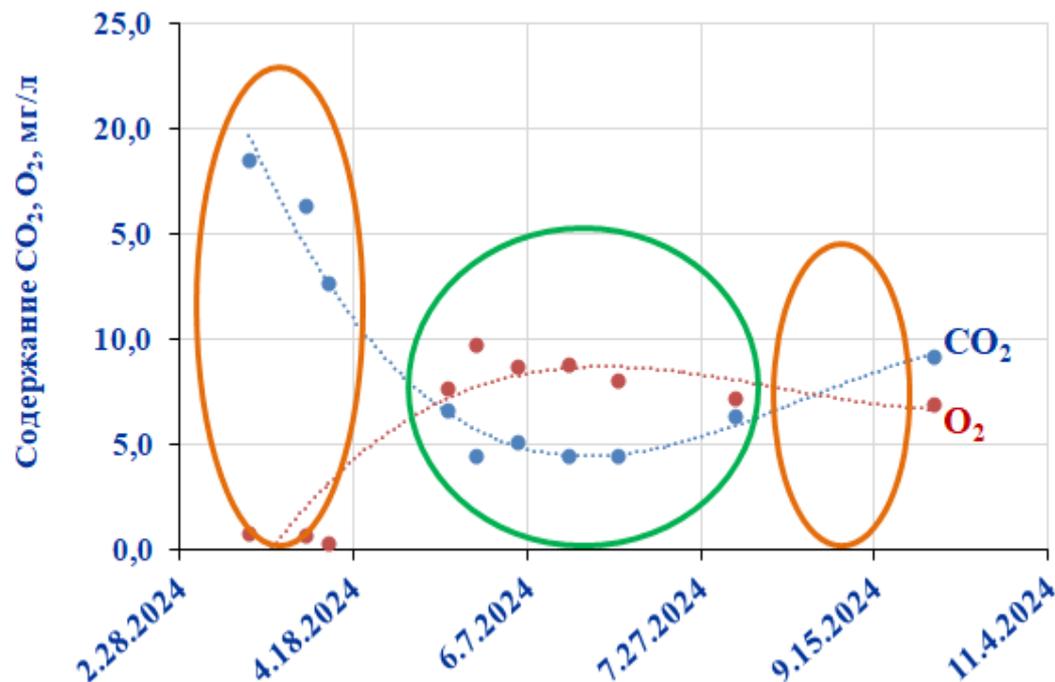


Конвективный механизм перемешивания в ночные часы

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА В ОЗ. ЧУДЕСНАЯ ЛАМБА



СЕЗОННЫЙ ХОД СОДЕРЖАНИЯ CO₂ И БИОТИЧЕСКИЙ БАЛАНС



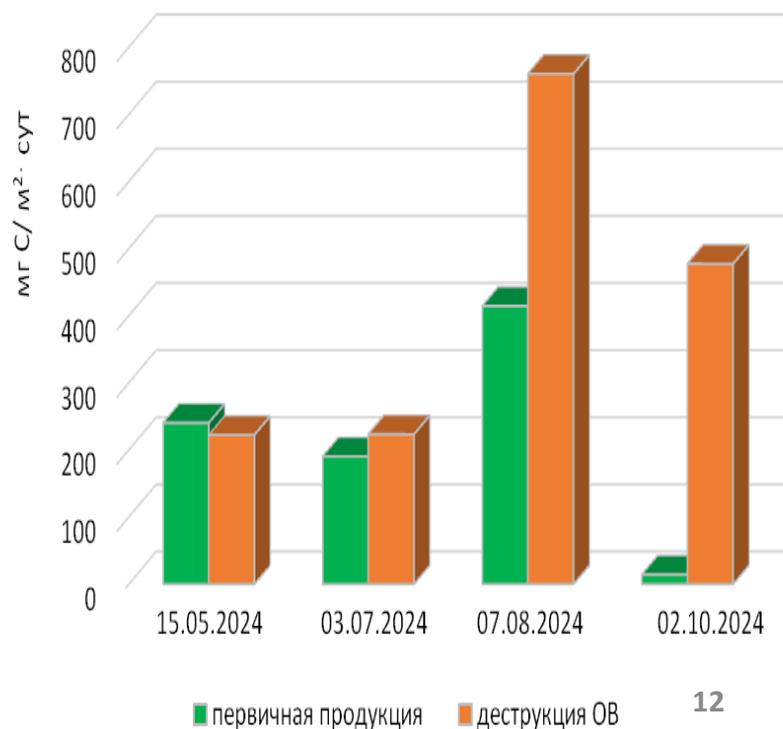
➤ *Период ледостава* - самые высокие концентрации CO₂ (20 мг/л), дефицит O₂

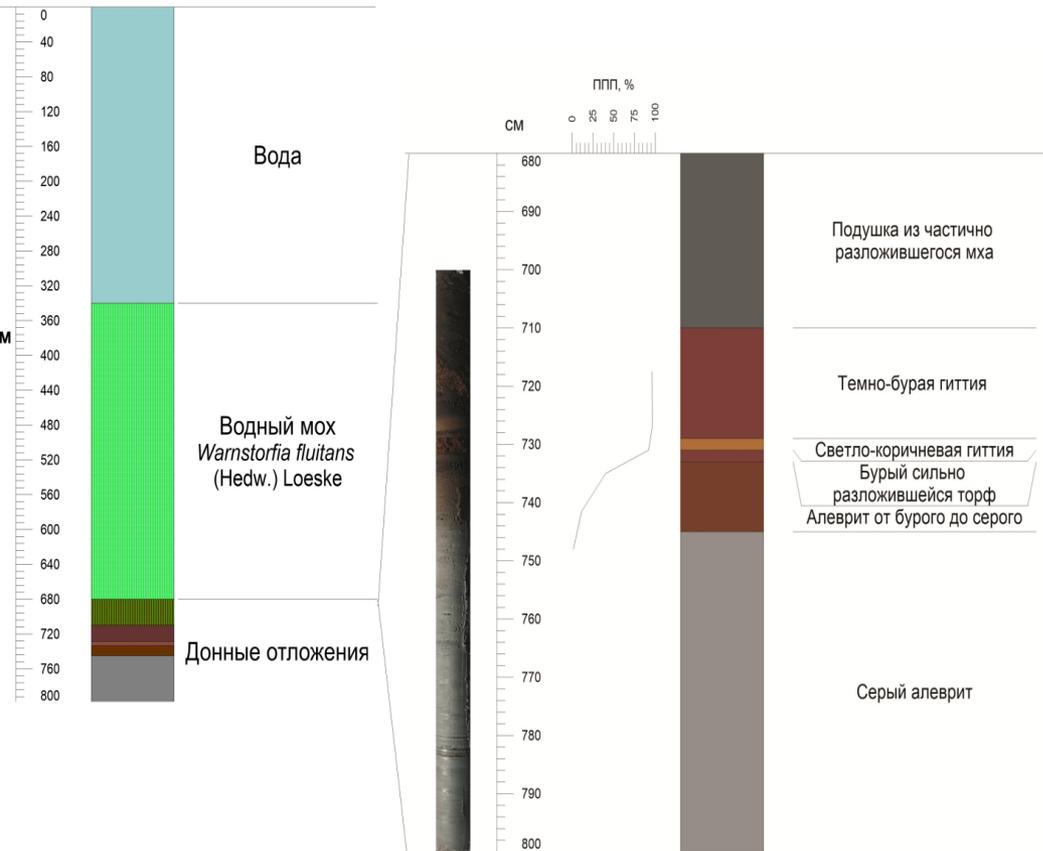
➤ *После разрушения ледового покрова* (май) – четырехкратное снижение концентрации CO₂

➤ *Весна, лето* - биотический баланс близок к 1, функционирование планктонной системы базируется на автохтонном ОВ

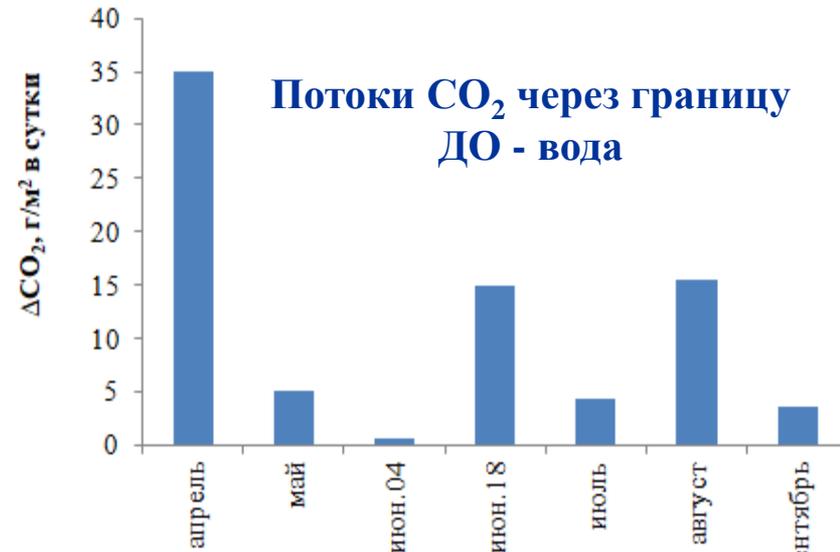
➤ *Осень* - биотический баланс отрицательный

➤ Преобладание деструкционных процессов приводит к **возрастанию** концентрации CO₂ в воде и **увеличению** вероятности экспорта CO₂ в атмосферу





Донная накопительная газовая ловушка



➤ Оз. Чудесная ламба - накопитель органического вещества в условиях гумидного климата

➤ 110 мг/м² в сутки - максимальная эмиссия CO₂ из ДО в воду в подледный период (апрель)

РАСЧЕТ ЭМИССИИ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ В АТМОСФЕРУ

$$F = K_{CO_2}(C_w - C_{eq}) \text{ (Crusius et al., 2003)}$$

F – поток CO₂ (ммоль/м²*час)

K_{CO2} – константа переноса CO₂ (см/час)

C_w – концентрация CO₂ в поверхностном слое воде (ммоль/л)

C_{eq} – концентрация CO₂ воде, эквивалентная равновесной с давлением CO₂ в атмосфере (ммоль/л)

Диффузные модели			
Вода			
K_{ветер} см/час	F_{ветер} ммоль/м ² *сут	K_{конвекция} см/час	F_{конвекция} ммоль/м ² *сут
0,23-0,90	5,5-19	1,57-2,44	32-50

Сравнение расчетных потоков CO₂

оз. Чудесная ламба (DOC 7 мг/л)	Lake Pääjärvi (Финляндия) (DOC 13 мг/л)
32-50 ммоль CO₂/ м² в сутки	20-70 ммоль CO₂/ м² в сутки



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!



ФОТОХРОНИКА ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Бурение скважины



Глина с глубины 3 м



Дайвинг – установка оборудования



Мох с водной толщи



Коса, оснащенная
 $T^{\circ}C$ и O_2 датчиками



Сотрудники снимают
данные с термокосы



Отбор кернов ДО



Газовая ловушка