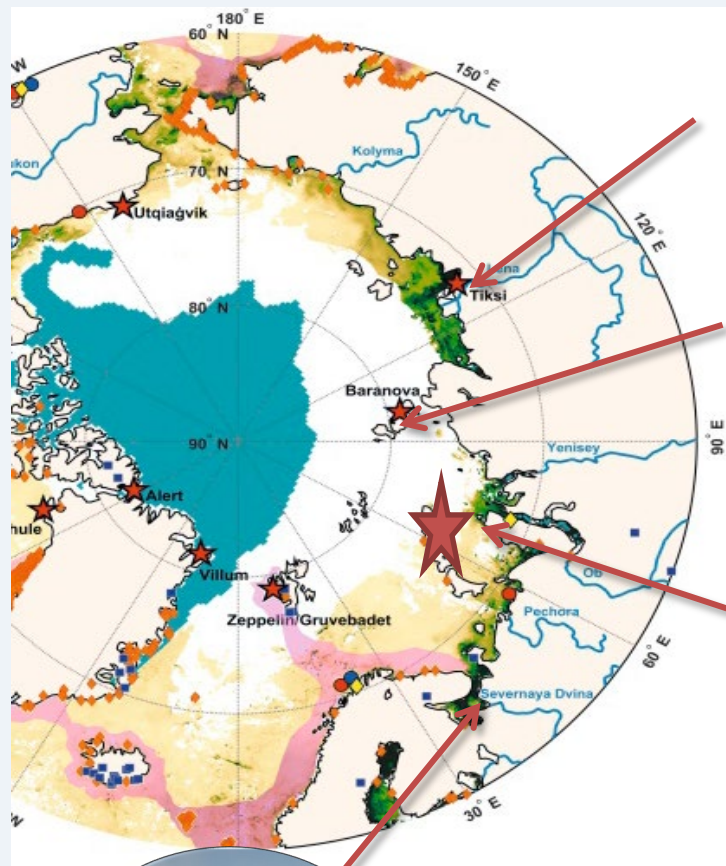


Черный углерод как климатически активная компонента атмосферы Арктики: многолетние наблюдения, природные и антропогенные источники



ТИКСИ
2014-
2016

Мыс
Баранова
2015-2016

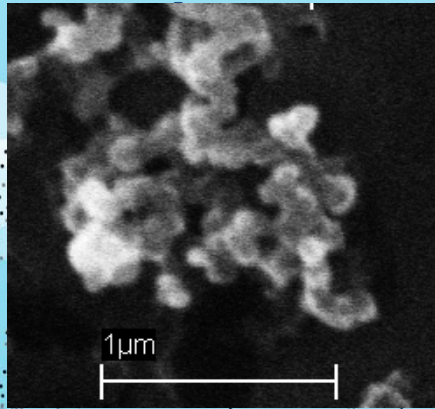
Остров
Белый
2019-2022



Поповичева О.Б.
Касимов Н.С. , Чичаева М.А.
Слободян В.Ю.
МГУ им. М.В. Ломоносова

Черный углерод в Арктике : эмиссии и влияние

Черный углерод в



плаков

го

2. загрязнение

3.

нагрев

Черный углерод –
короткоживущий
климатический трассер,
второй после углекислого газа

таяние льда

АМАР (2015)

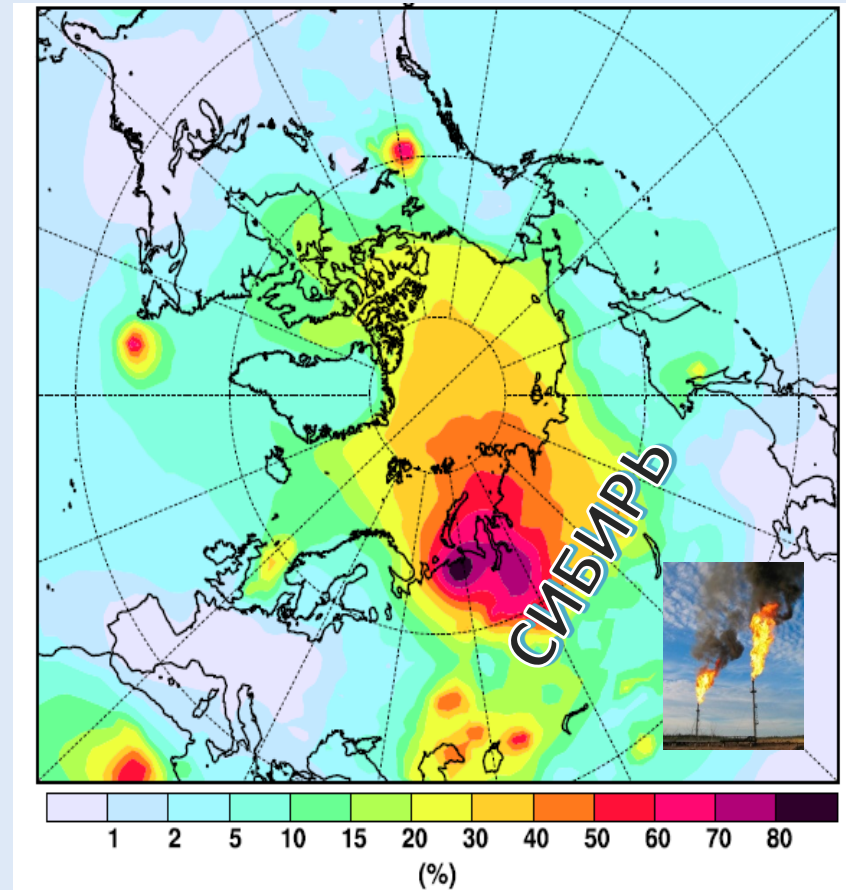
ГЛОБАЛЬНО ΔT от ВС в атмосфере и снеге

+ 0.62K

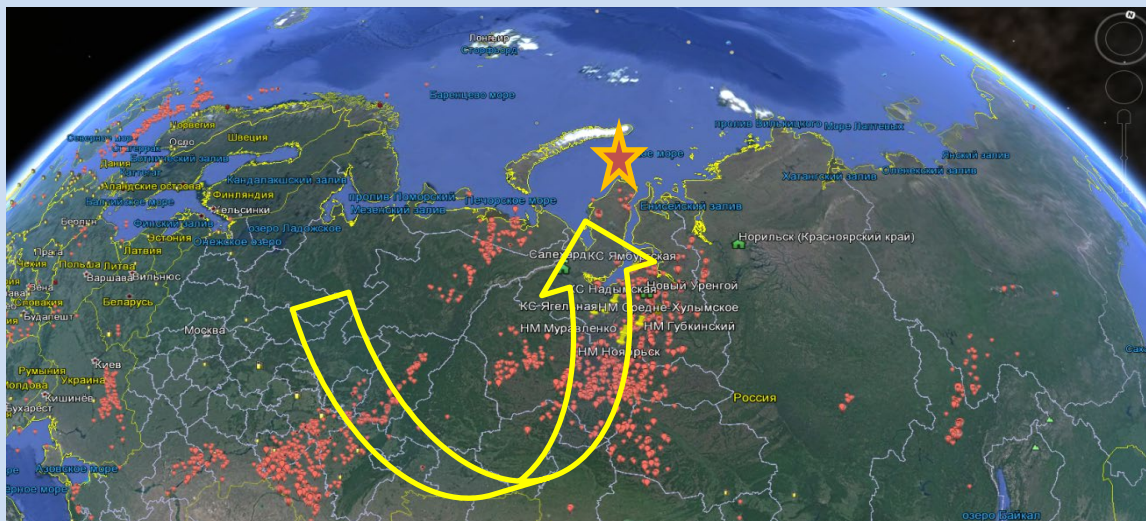
Экспертная группа AMAP «Short-Lived Climate Forcer»



**Относительный вклад
индустриальных
эмиссий сжигания газа в
концентрацию черного
углерода в Арктике
~ 42%**



ПОЛЯРНЫЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС «ОСТРОВ БЕЛЫЙ»

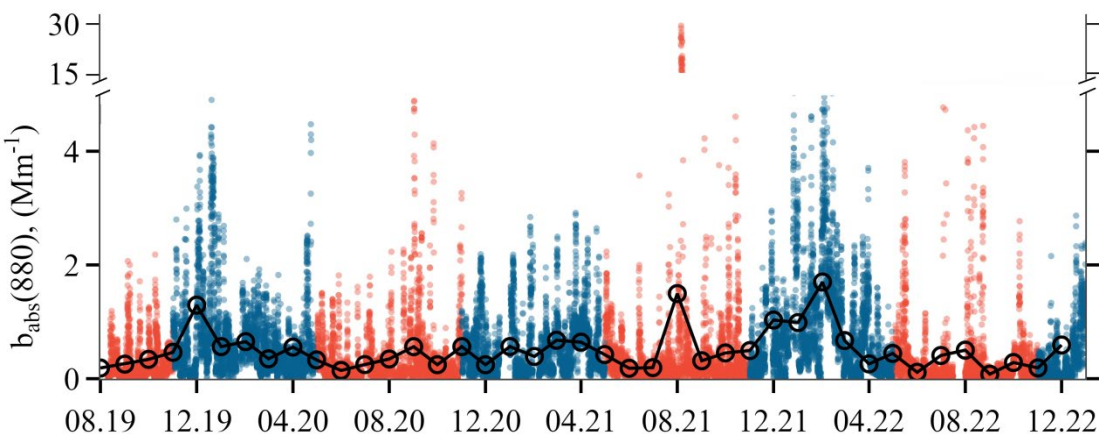


**Август 2019-
январь 2023**

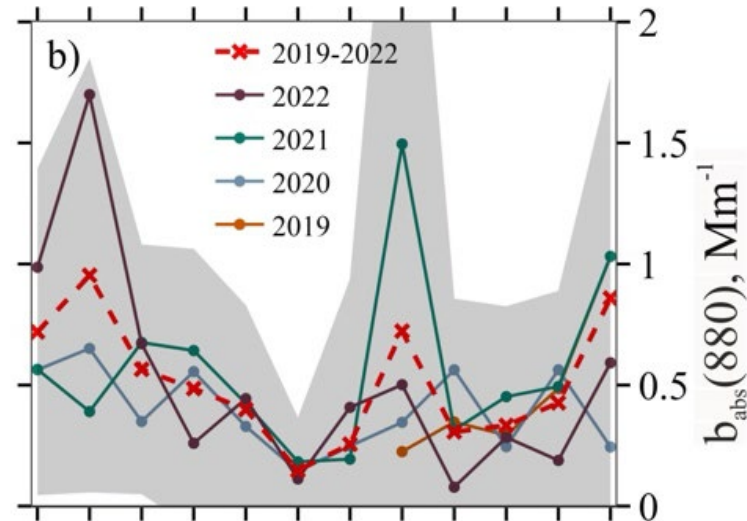


ПОГЛОЩЕНИЕ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА, NIR-VIS, на о. Белый

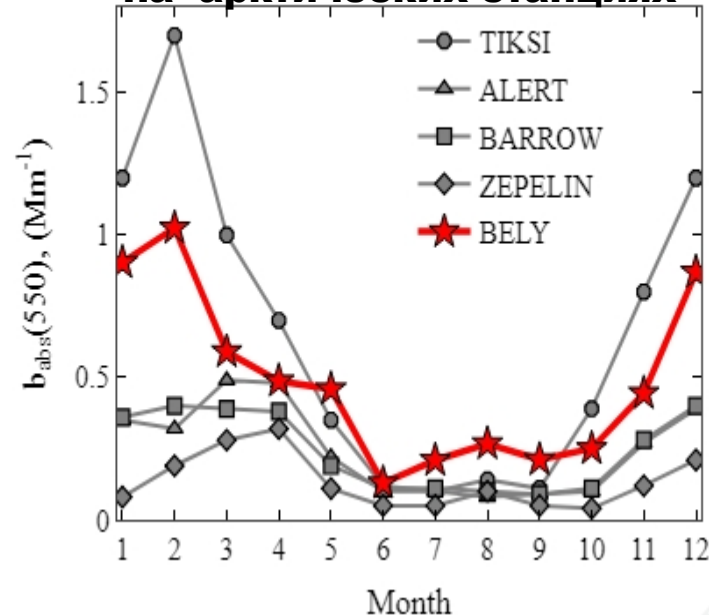
КОЭФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ $b_{abs}(800)$



СЕЗОННОСТЬ на о. Белый



на арктических станциях



- макс декабрь – февраль
Арктическая дымка
в европейской Арктике –
зима-весна
- макс летом - Сибирские пожары
- зимой и летом уступает только
Тикси

с локальными

загрязнениями
Popovicheva et al. ACP, 2024

Tiksi, Alert, Barrow, Zepelin for 2012-2014

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД

$$eBC(\lambda) = \frac{b_{abs}(\lambda)}{MAC(\lambda)}$$

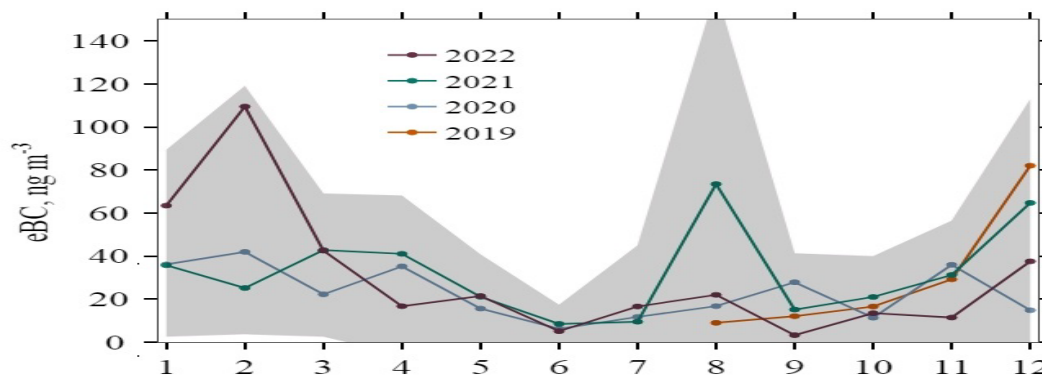
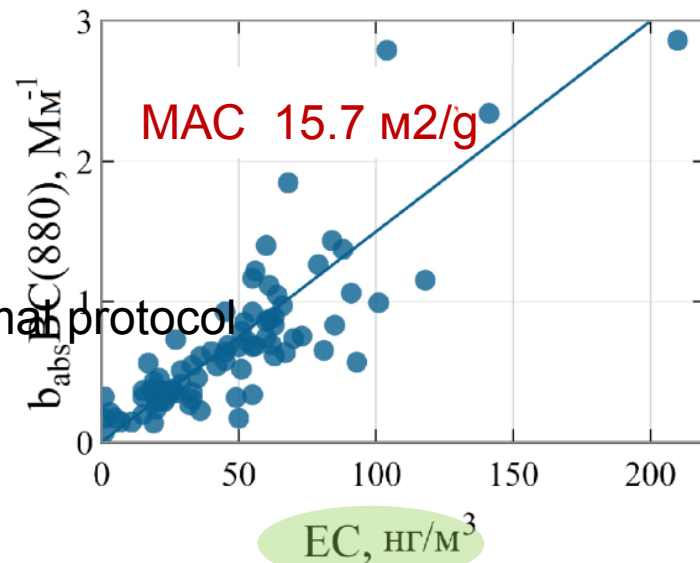
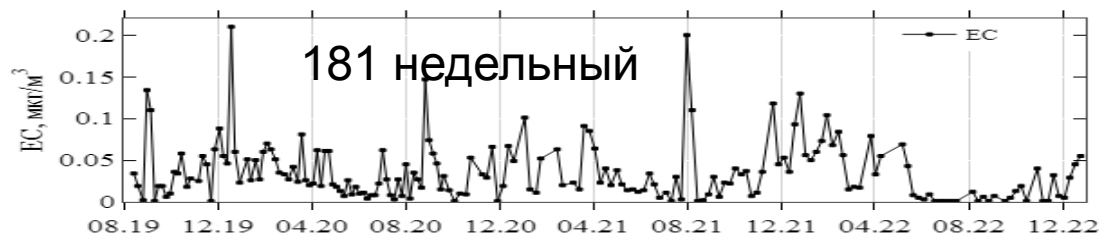
массовый коэффициент поглощения

- MAC зависит от места измерений, сезон
- в АЕЗЗ номинальный $MAC = 7.7 \text{ м}^2/\text{г}$

Метод оценки MAC

$$MAC = \frac{b_{abs/BC}}{EC} \quad \text{Элементный углерод}$$

OC-EC Aerosol Analyzer, EUSAAR 2 thermal protocol



FLEXPART (FLEXible PARTicle)

Lagrangian particle dispersion model

- метеоданные European Centre ECMWF , 137 вертикальных уровня , $1^\circ \times 1^\circ$
- каждые 3 часа частицы BC ~ 250 нм генерируются на высоте 100 м
- сухое и влажное осаждение
- назад по времени 30 дней

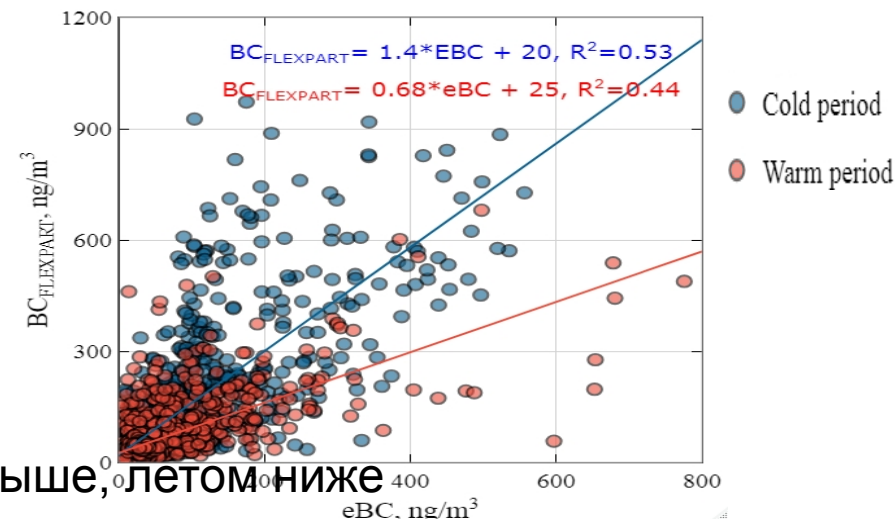
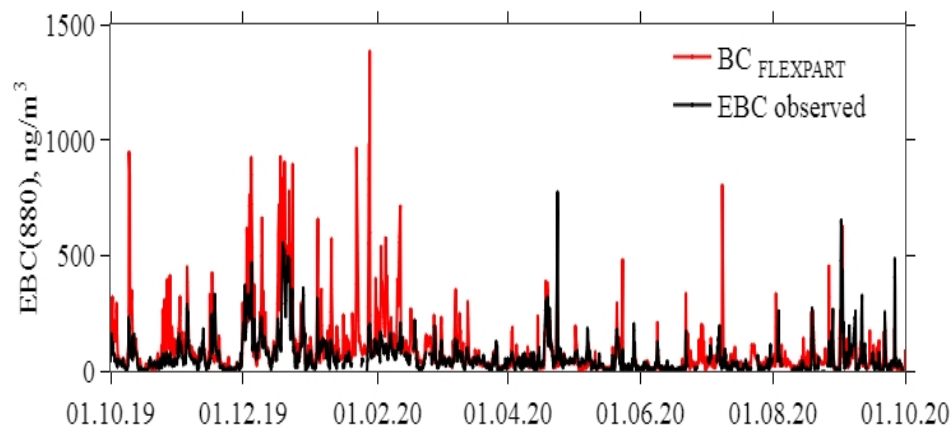
❑ **новейшая база данных эмиссий ECLIPSE v6**

✓ жилой сектор, транспорт, морской транспорт

✓ промышленность, ТЭК (сжигание газа) ,

энергетика, сжигание мусора

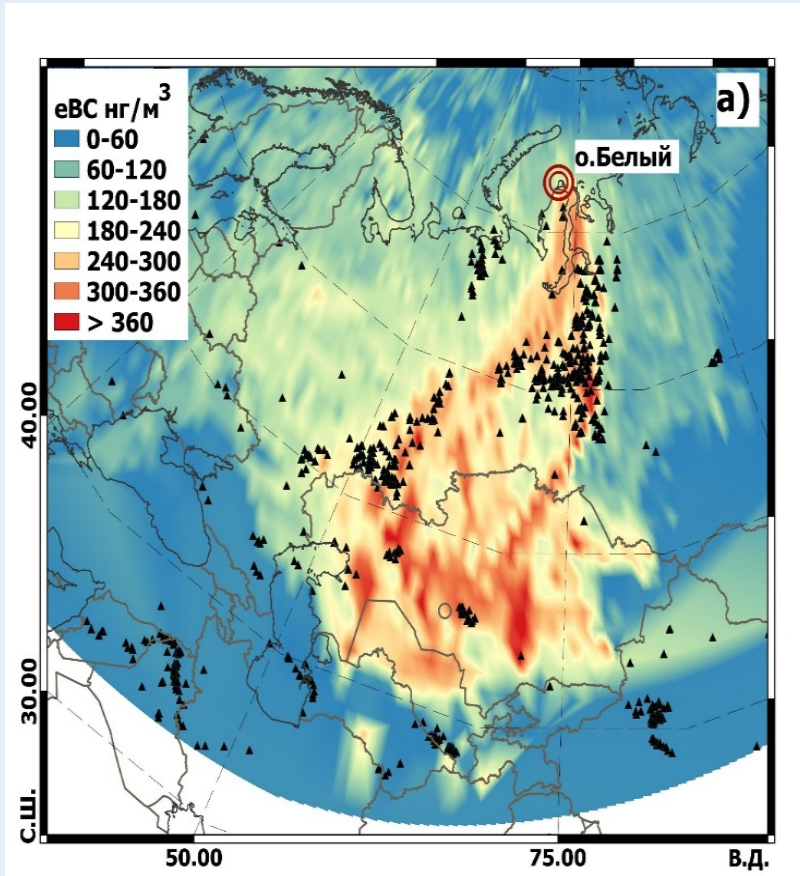
❑ **Черный углерод, наблюдения & FLEXPART**



- высокая корреляция, зимой FLEXPART выше, летом ниже
- валидация глобальных эмиссий BC

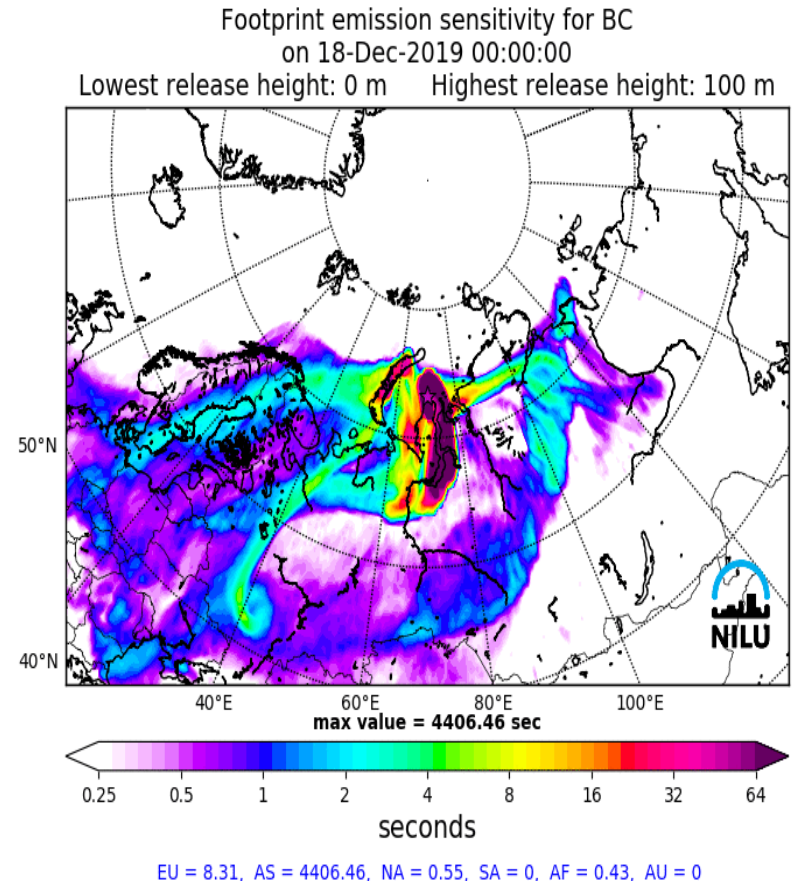
Региональное распределение источников черного углерода зимой

Декабрь 2019
модель CWT



Поповичева и др, ОАО, 2022

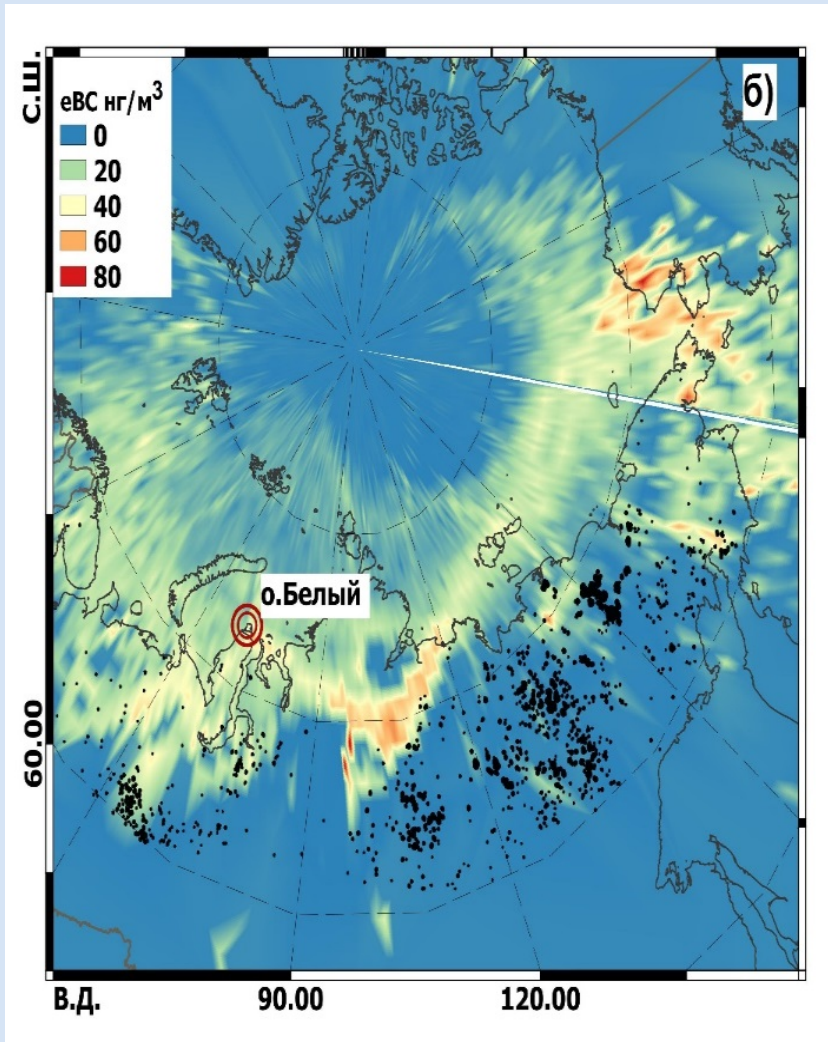
19 декабря 2019 года
модель FLEXPART



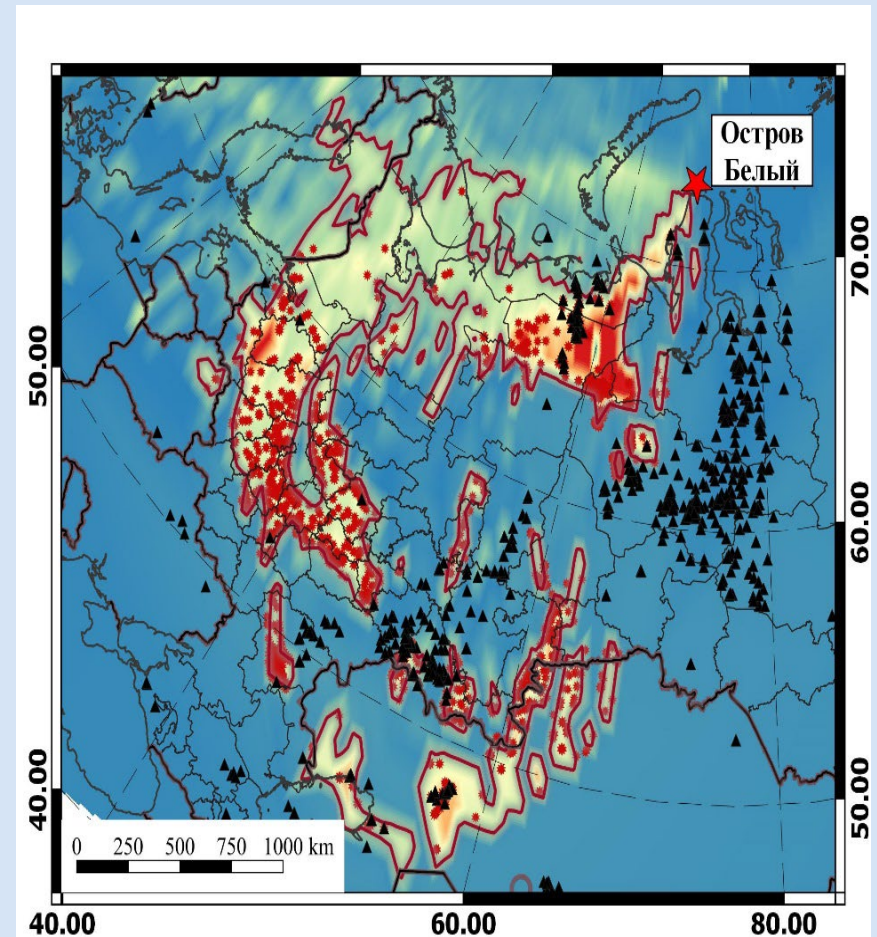
- максимальный ВС ~ 500 нг/м³
- процент вклада сжигания газа

Региональное распределение источников черного углерода летом

Лето 2020 г.



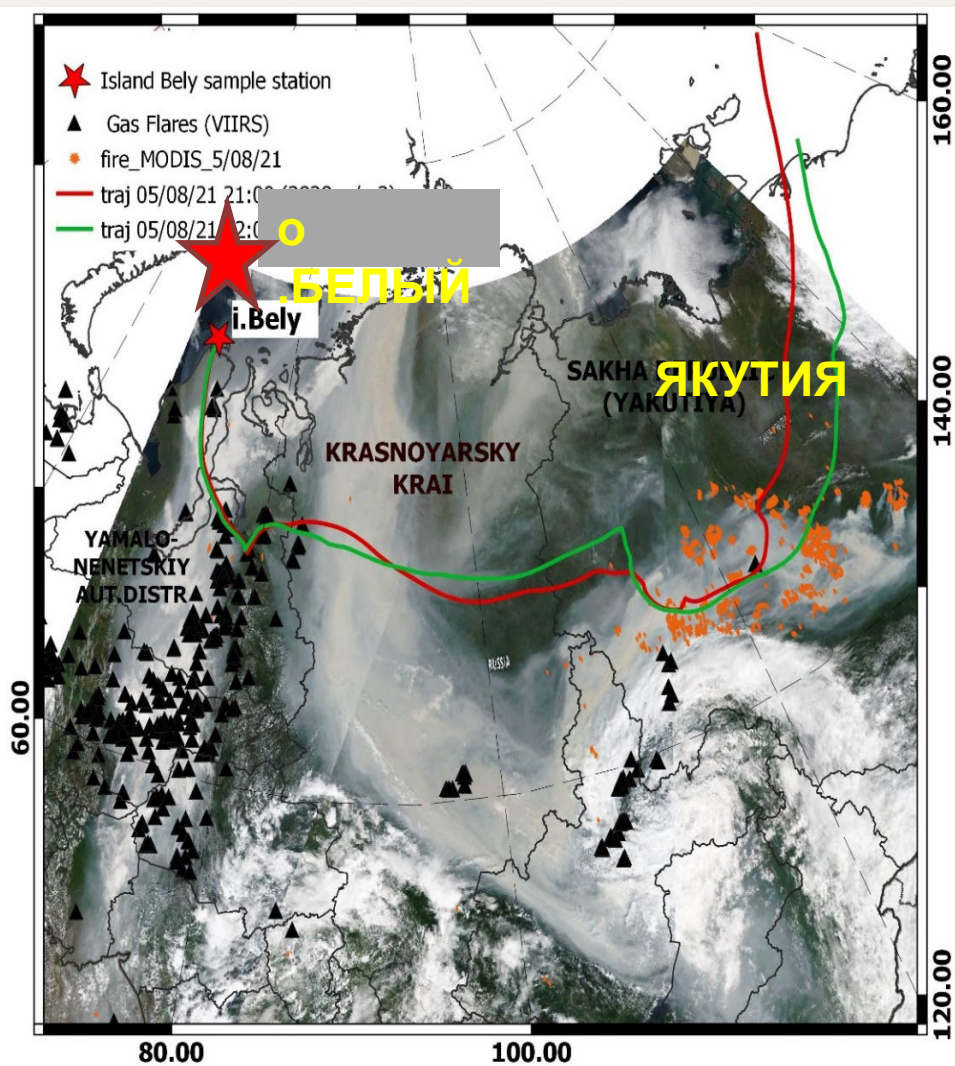
Август 2022 г.



Поповичева и др, Проблемы
Арктики и Антарктики, 2023

Экстремальное задымление Западной Сибири

5 августа 2021 г



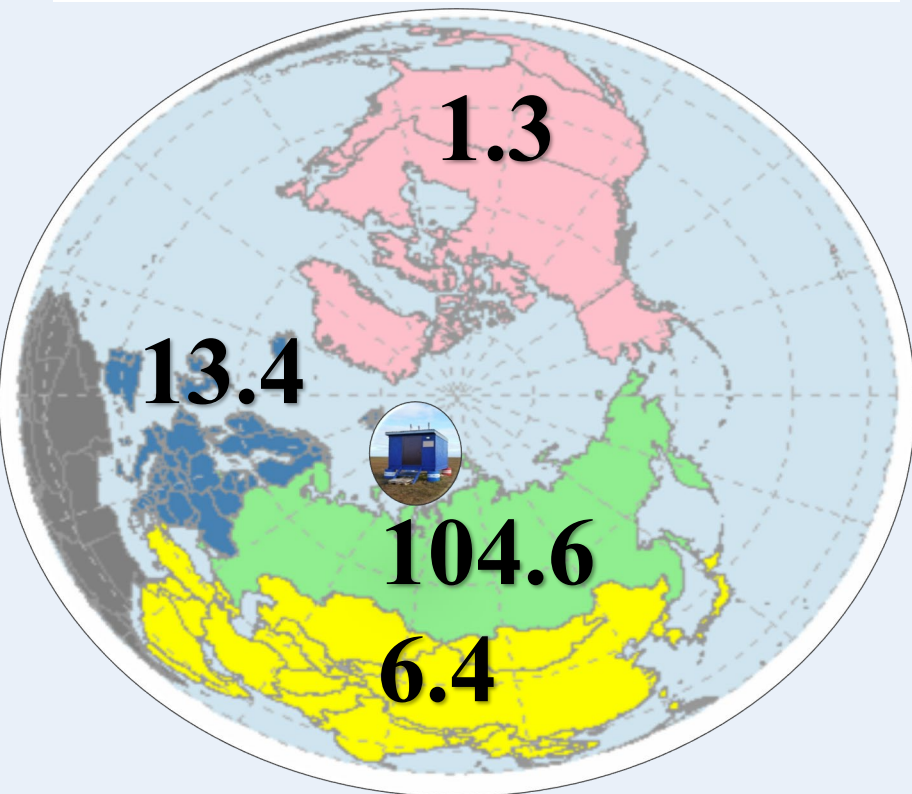
3500 нг/м3!!

ОТКУДА ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В АРКТИКЕ ?

Вклад континентов ВС, период 2019-2020

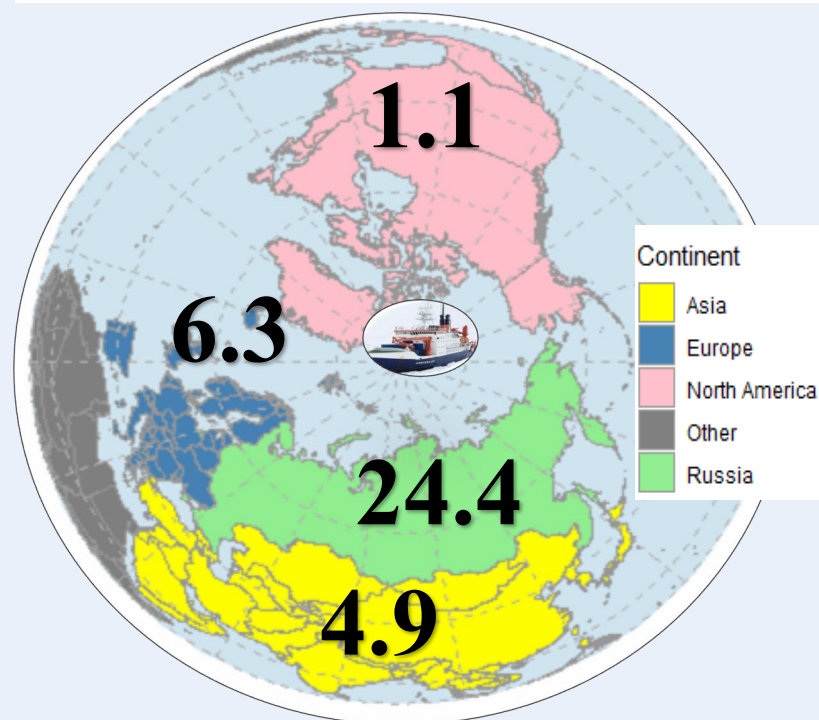
нг/м³

ОСТРОВ БЕЛЫЙ



➤ доминируют территории РФ, Европа, Азия, Америка - 1 / 5 РФ

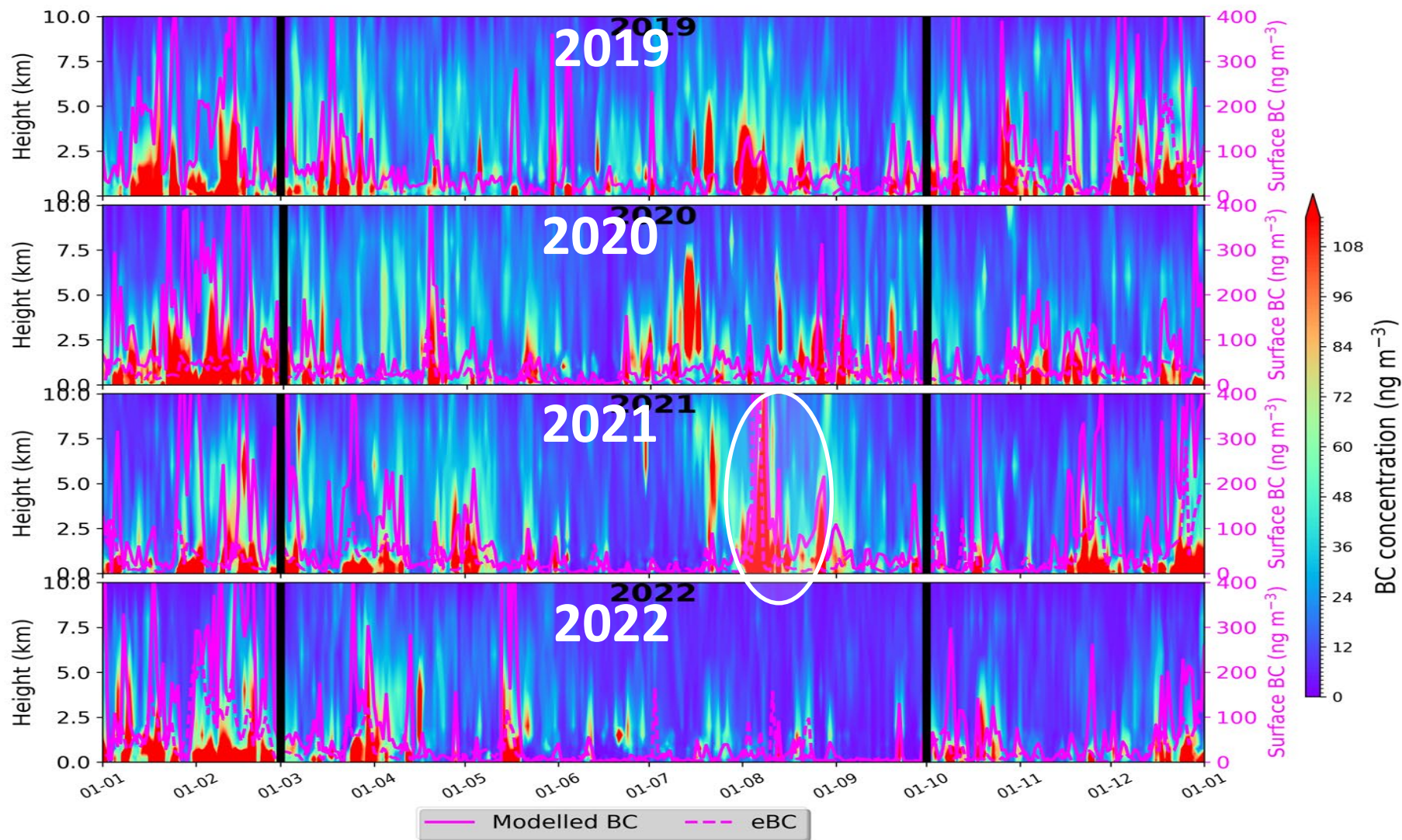
Центральная Арктика (MOSAIC)



➤ Вклад РФ в 5 раз меньше Европа, Азия, Америка - 1 / 5 РФ

ВЫСОТНЫЙ ПЕРЕНОС ВС на о. Белый

- в холодный период постоянно существующий слой ВС до 3-5 км
- летом – в период пожаров до 10 км



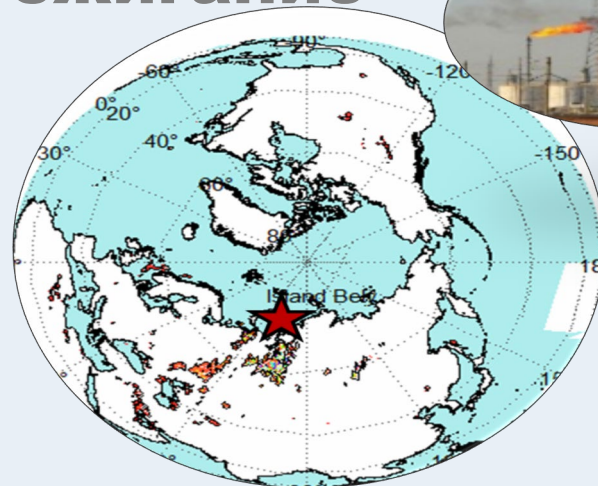
ОТКУДА ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В АРКТИКЕ ?

Вклад источников, холодный период

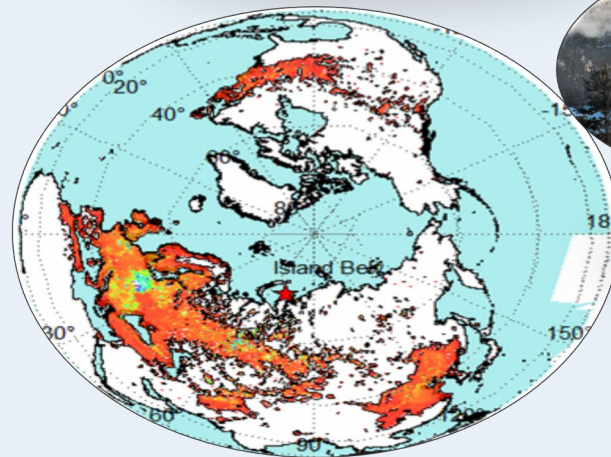
2010 2022



Факельное сжигание

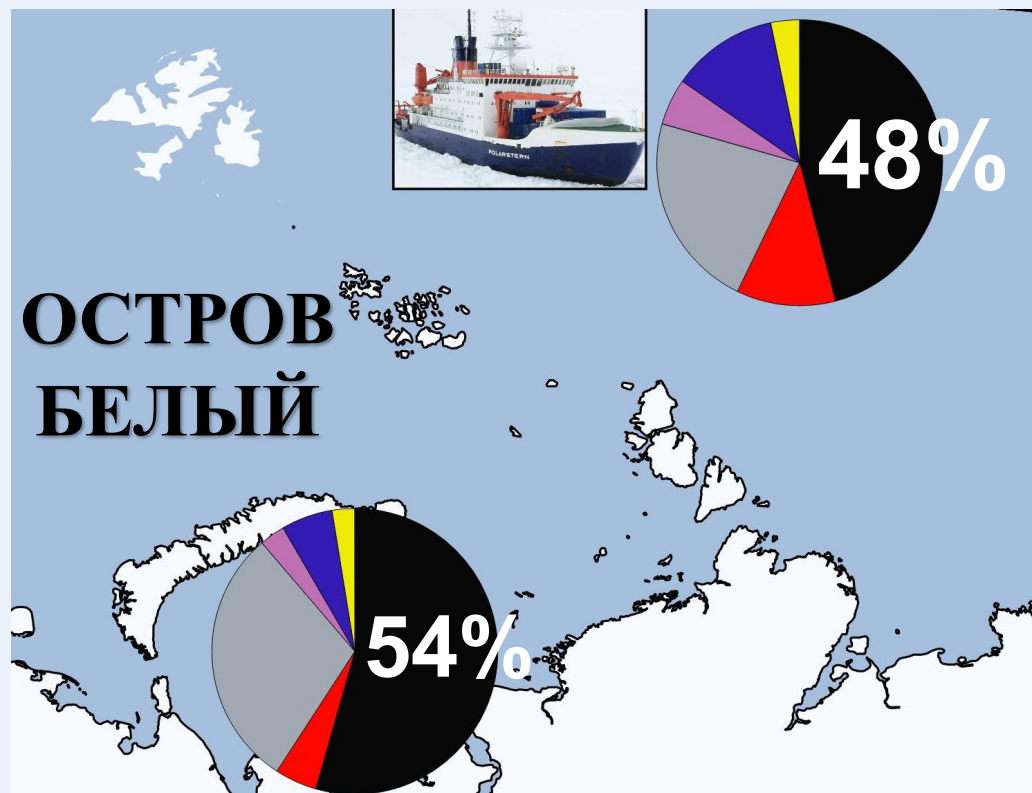


Жилой сектор

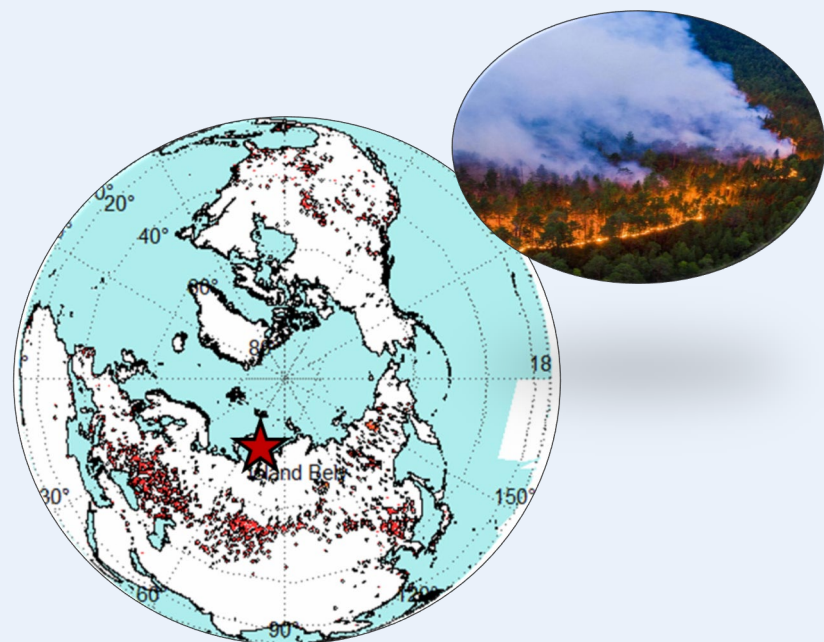


ОТКУДА ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В АРКТИКЕ ?

Вклад источников, теплый период
2019-2022 г. г.



ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ



ЖИЛОЙ СЕКТОР
ТРАНСПОРТ
ФАКЕЛЬНОЕ
СЖИГАНИЕ
СЖИГАНИЕ
БИОМАСС
ПРОИЗВОДСТВО
ОСТАЛЬНОЕ

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД в Западносибирском секторе Арктики

- ✓ впервые измерен уровень загрязнения
- самый высокий коэффициент поглощения среди полярных станций без ледяного покрова
- характерный MAC в два раза выше номинального
- многолетний сезонный тренд ВС демонстрирует сезон Арктической дымки с максимумом пожаров в июле
- близость к крупнейшим источникам позволила с высокой корреляцией провести моделирование и валидацию глобальных эмиссий ВС
- высотный перенос определяет вклад континентов и лесных пожаров
- доминирует факельное сжигание в холодный и лесные пожары в теплый период

