

Взаимодействия природных пожаров, дымов и метеорологических процессов в Сибири и восточной Арктике

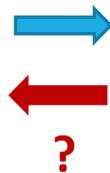
И.Б. Коновалов, Н.А. Головушкин

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук (ИПФ РАН)
г. Нижний Новгород, Россия

VIII Всероссийский объединенный метеорологический и гидрологический съезд
29-31 октября 2024 года, г. Санкт-Петербург

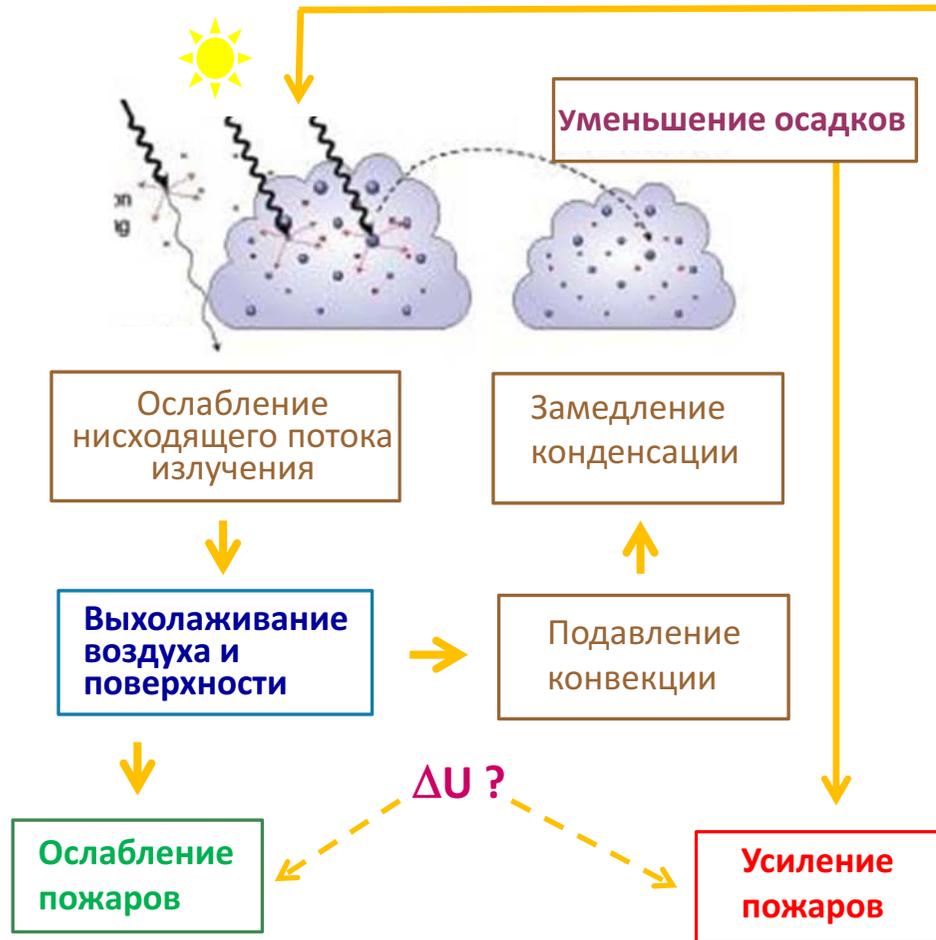
Предмет и мотивация исследований взаимосвязей дымового аэрозоля, метеорологических процессов и пожаров

- Одним из основных источников атмосферного аэрозоля – частиц с размерами от десятков нанометров до десятков микрометров – в Северной Евразии являются природные пожары, прежде всего, те, которые ежегодно происходят в Сибири.
- Дымы, образующиеся в результате природных пожаров, могут оказывать значительное влияние на радиационный баланс в атмосфере и климатические процессы, в том числе в Арктике.
- Влияние дымов на метеорологические (погодные) явления изучено в гораздо меньшей степени, хотя и имеются серьезные указания на то, что это влияние может быть существенным.
- Почти совсем не исследовано обратное влияние вызываемых дымами возмущений метеорологических процессов на пожары, в которых эти дымы образуются.

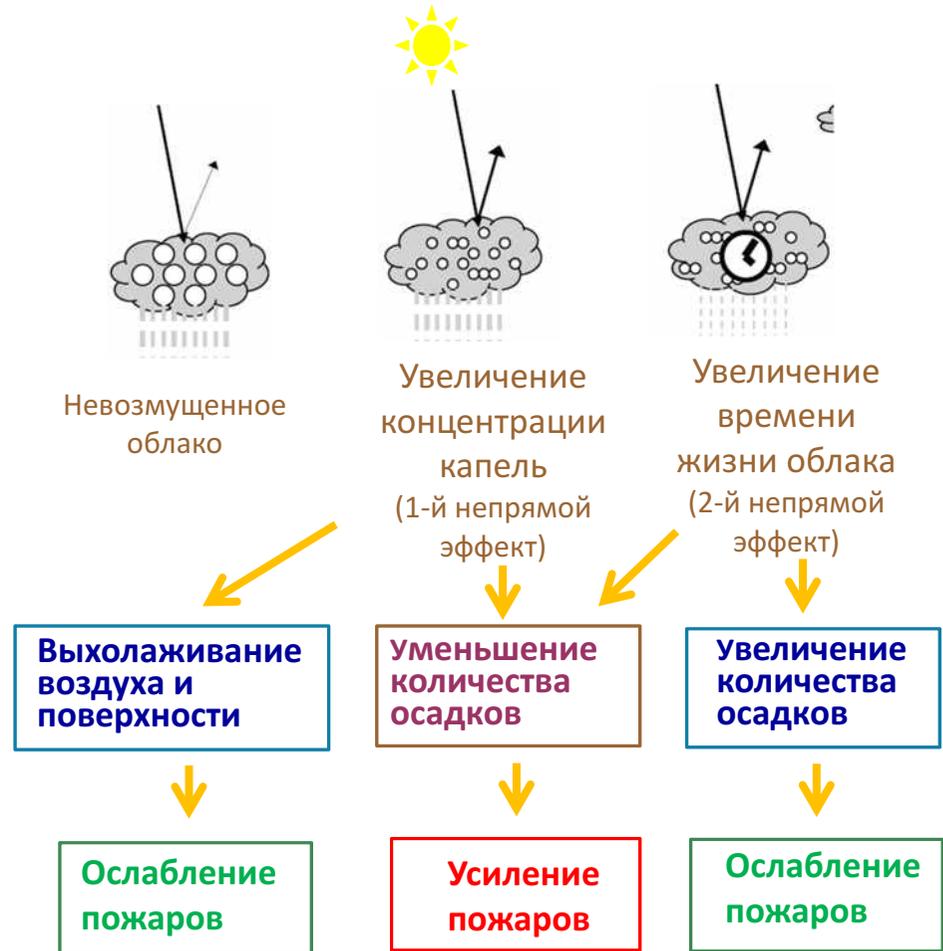


Механизмы взаимосвязи в системе «пожары-дымы-погода»

Аэрозольно-радиационное взаимодействие (АРВ)



Аэрозольно-облачное взаимодействие (АОВ)

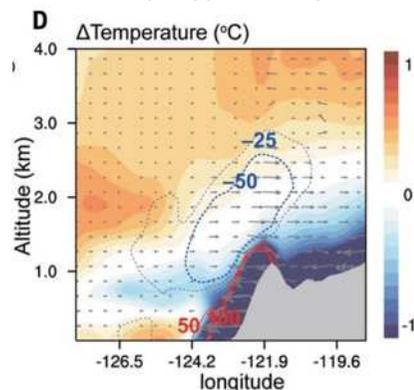


Влияние взаимодействий дымов и погоды на пожары в прибрежных регионах согласно расчетам с WRF-Chem

[Huang et al., *Science*, 2023]

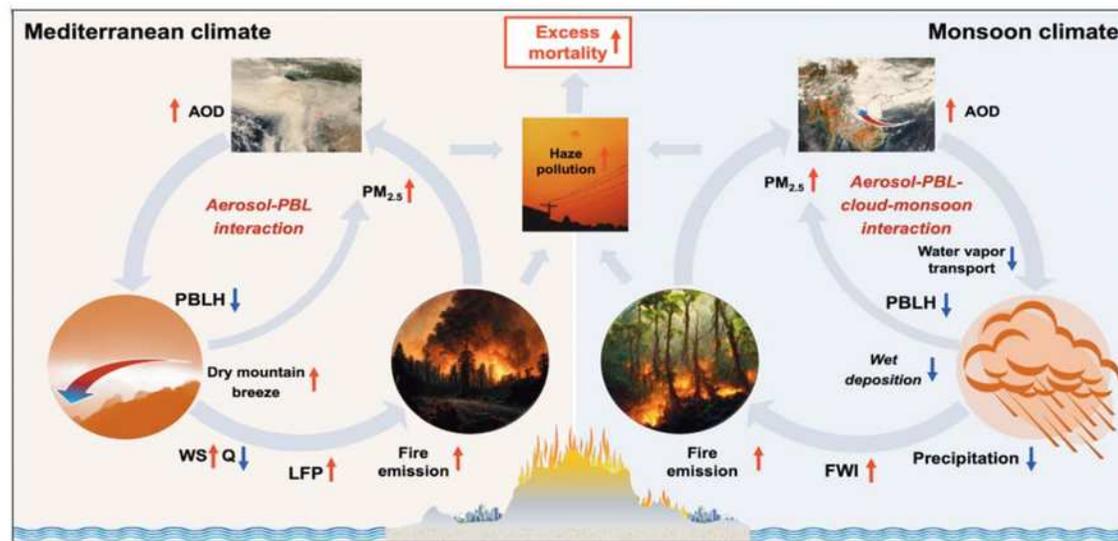
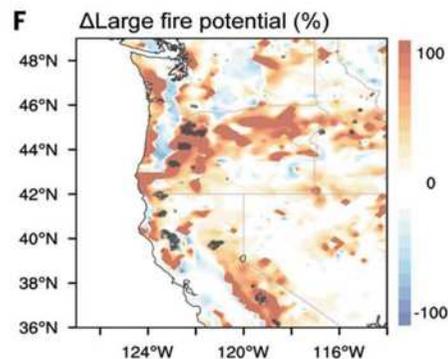
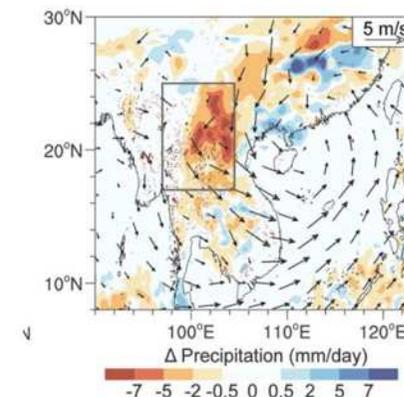
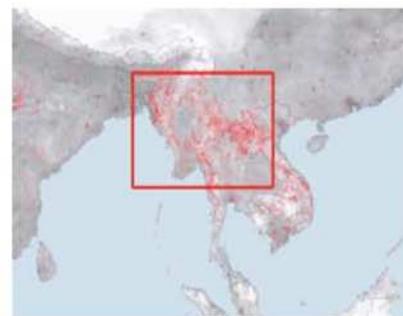
Западное побережье США

Изменения температуры воздуха и скорости ветра



Юго-восточная Азия

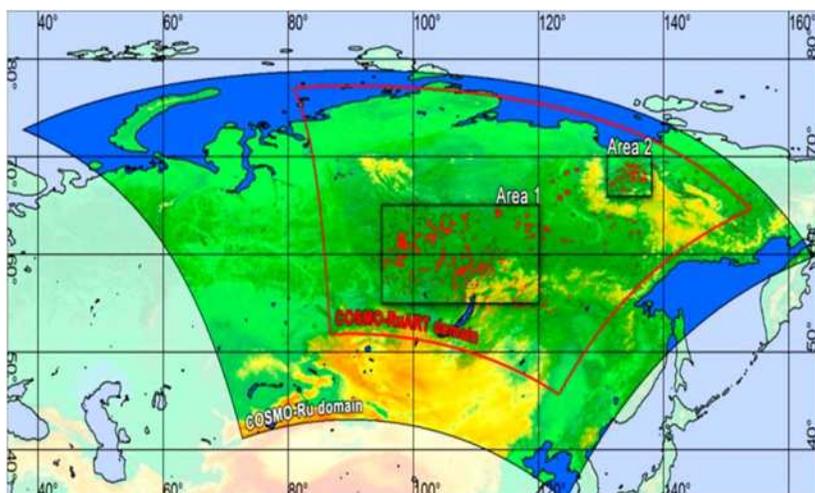
Изменения количества осадков и скорости ветра



Все выявленные эффекты вызваны АРВ.

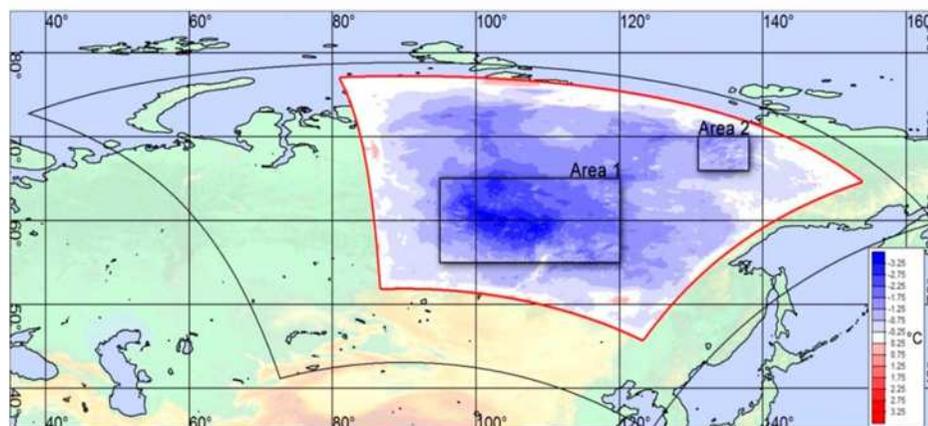
Влияние дымов на осадки в Сибири по данным расчетов с моделью COSMO-Ru

Kirsanov et al., Effect of Natural Forest Fires on Regional Weather Conditions in Siberia, *Atmosphere* 2020, 11, 1133.

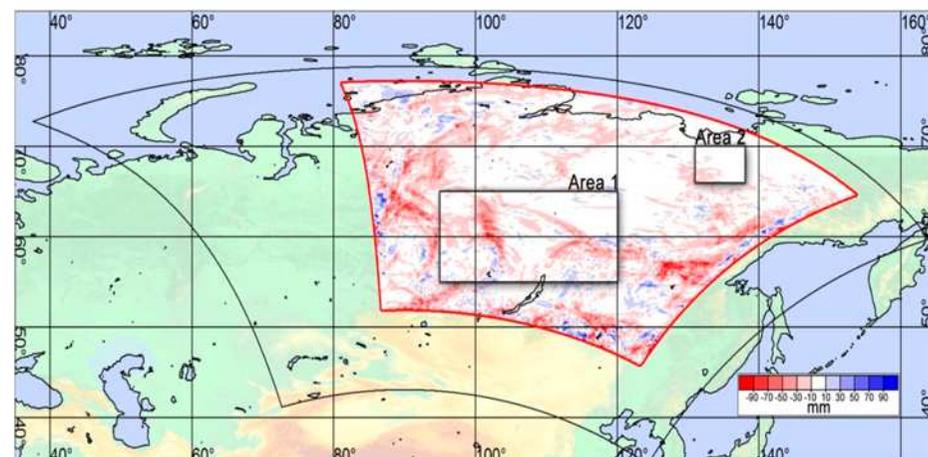


Рассмотренный период: 1 - 14 августа 2019 г.

Усредненные изменения температуры (2м) вследствие АРВ



Усредненные изменения количества осадков вследствие АРВ

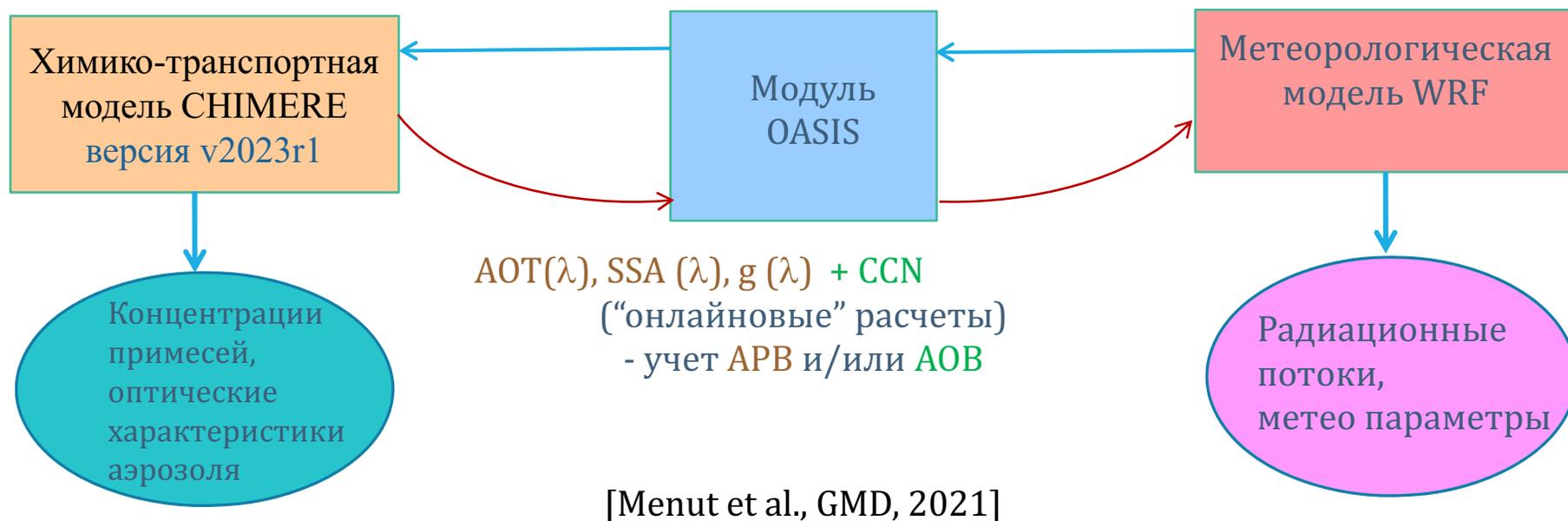


Исследования воздействий сибирских дымов на радиационные и метеорологические процессы с помощью модельного комплекса CHIMERE-WRF

Konovalov et al., Proc. SPIE ; Atm. Ocean. Opt.; Atm. Env. (2023); Atm. Ocean. Opt. (2024)

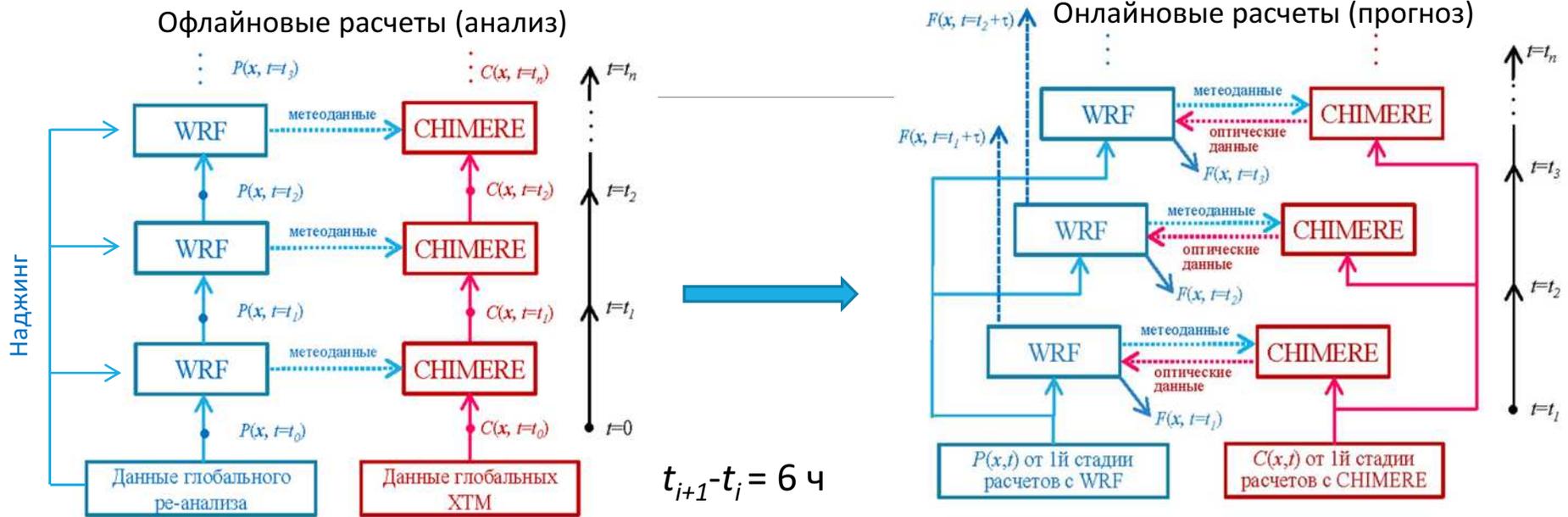
Konovalov et al., Wildfire-smoke-precipitation interactions in Siberia: Insights from a regional model study. Sci. Tot. Env. (2024)

Модельный комплекс CHIMERE-WRF (версия v2023)



Оценка влияния аэрозоля на погоду

Каким образом снизить (или устранить) зависимость оценок от начальных условий?



По данным онлайн расчетов с учетом и без учета эмиссий от сибирских пожаров оцениваем изменение величины X в зависимости от τ :

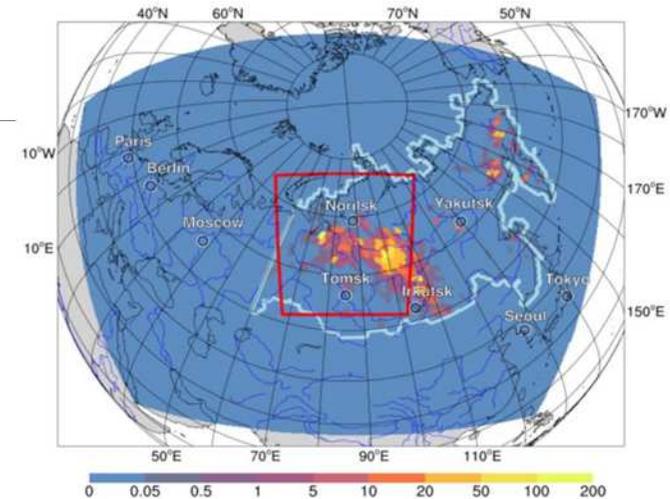
$$\Delta X(\tau) = N^{-1} \sum_i [X^{fire}(\tau, t_i) - X^{nofire}(\tau, t_i)], \quad t_i \in [t_1, t_2], \quad i = 1, \dots, N \quad \Delta X(\tau = 0) \equiv 0$$

fire - расчет с учетом сибирских пожаров; *nofire* - расчет без учета сибирских пожаров; i -номер расчета; t_i - начальный момент времени в расчете i

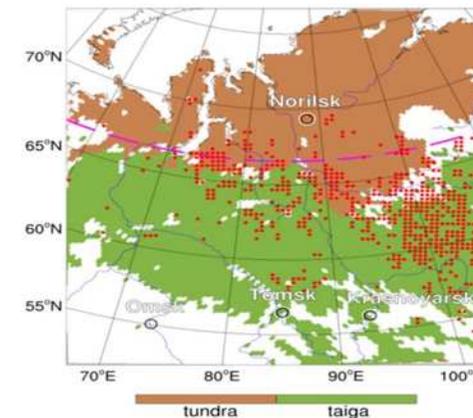
Конфигурация расчетов

- ❖ **Период исследования:** 1-31 июля 2016 г.
- ❖ **Модельные сетки:**
(1) 90×90 км², (2) 30×30 км², 32 уровней 50 гПа (WRF), 15 уровней до 200 гПа (CHIMERE)
- ❖ **Эмиссии от пожаров:** GFAS-CAMS, 0.1°×0.1°, разрешение по времени 1 ч
- ❖ **Антропогенные эмиссии:** CAMS, 0.1°×0.1°, разрешение по времени 1 месяц
- ❖ **Эволюция органического дымового аэрозоля:**
Оригинальная параметризация на основе метода VBS [Konovalov et al., ACP, 2021] с учетом коричневого углерода [Konovalov et al., AMT, 2021; RS, 2022]
- ❖ **Начальные и граничные условия для WRF:**
FNL reanalysis (1°×1°)
- ❖ **Параметризация глубокой конвекции:**
Схема Каина-Фритша (Kain-Fritsch scheme)

[Konovalov et al., Sci. Tot. Env., 2024]



Эмиссии органического углерода (мг м⁻² сут⁻¹) в июле 2016 г. (данные GFAS-CAMS)

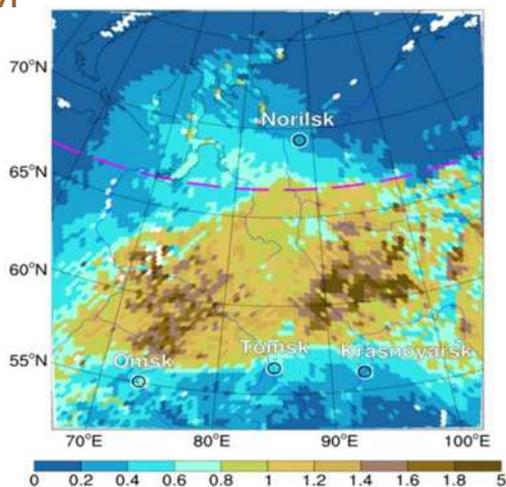


Территории тундры и тайги (данные USGS)

Расчеты и измерения АОТ и количества осадков

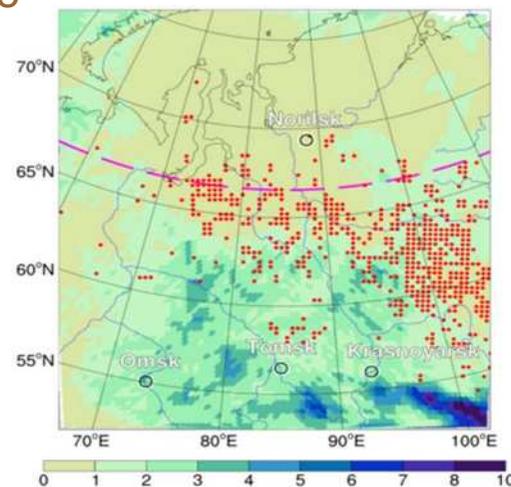
Аэрозольная
оптическая
толщина
(550 нм)

CHIMERE-WRF



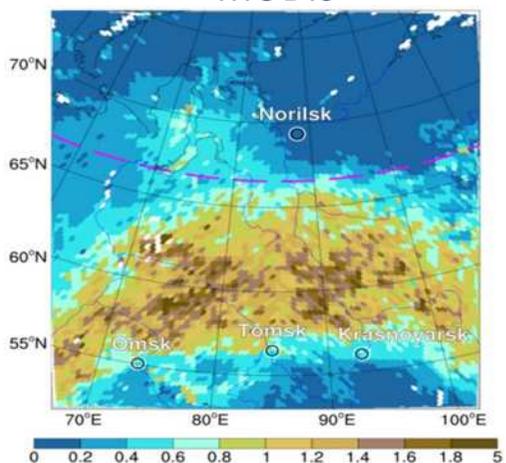
Количество
суточных
осадков
(мм)

CHIMERE-WRF



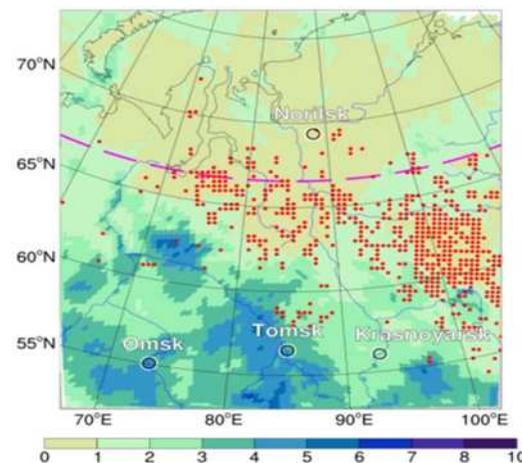
Данные усреднены за
период 1-31 июля 2016 г.

MODIS



Красными точками
отмечены эмиссии от
пожаров

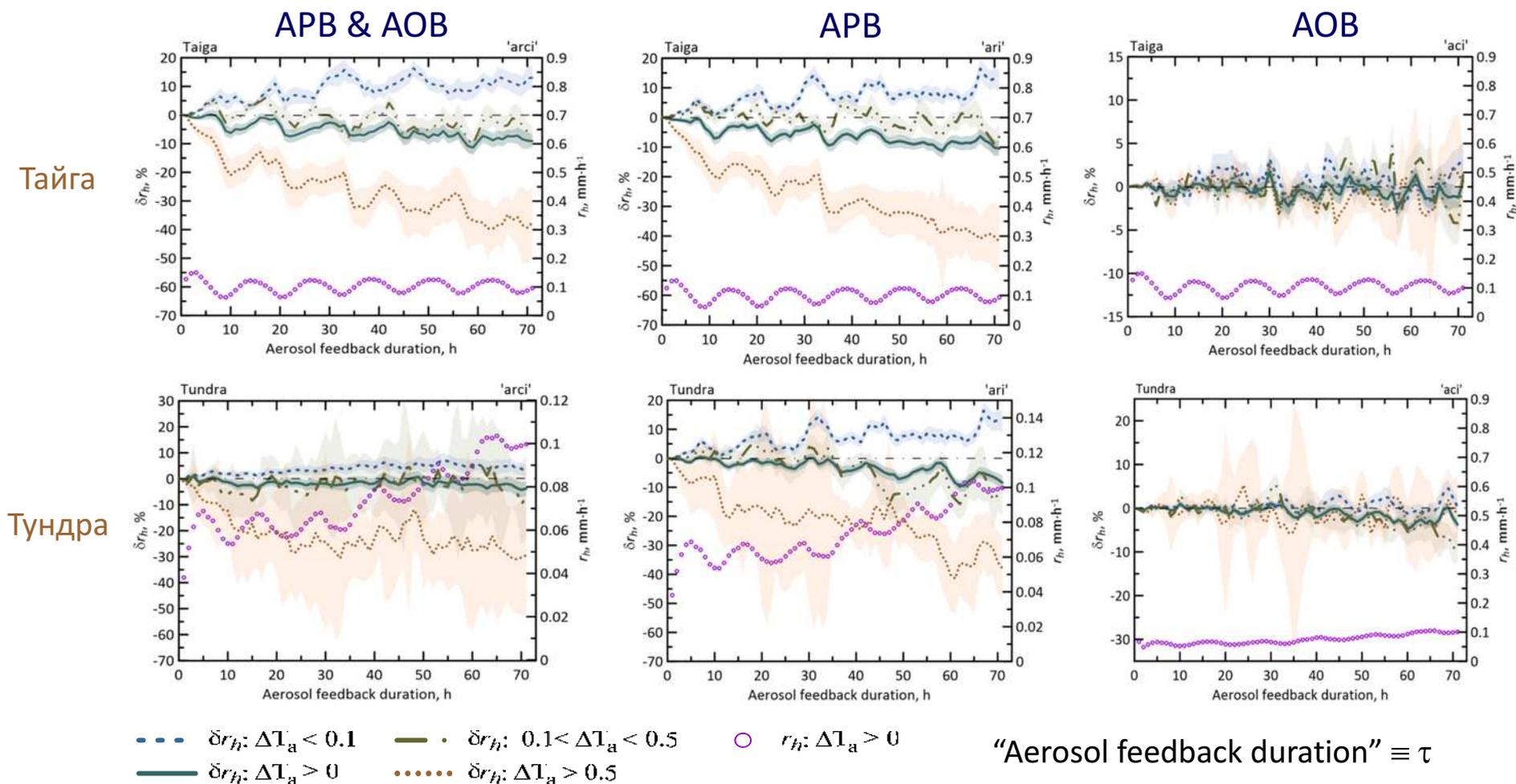
GPM



GPM_3IMERGHH v06:

Multi-satellite precipitation estimate with gauge calibration, half-hourly, 0.1° spatial resolution

Изменения интенсивности осадков (r_h) под воздействием сибирских дымов



Показанные величины получены путем усреднения значений r_h согласно 3-суточным модельным расчетам, которые были инициированы каждые 12 часов в период с 28 июня по 31 июля 2016.

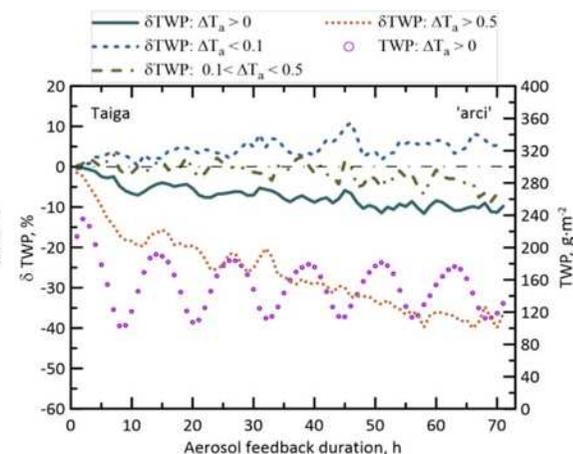
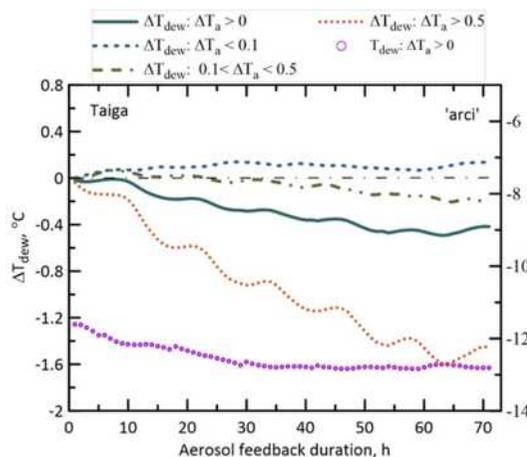
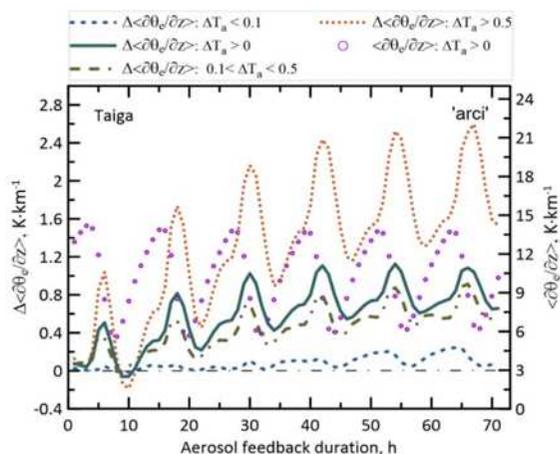
Изменения других метеорологических параметров (АРВ & АОВ)

Градиент экв. потенциальной температуры (θ_e) в нижнем 2км слое

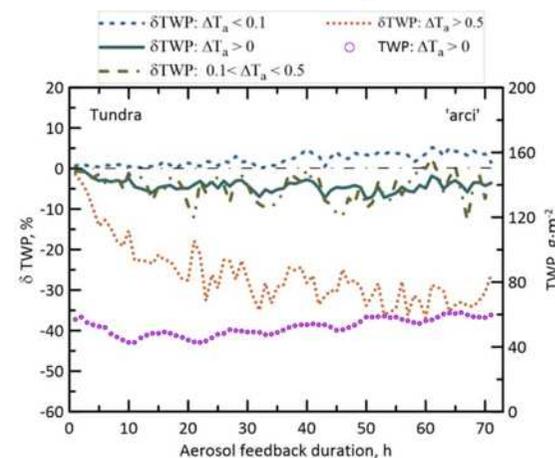
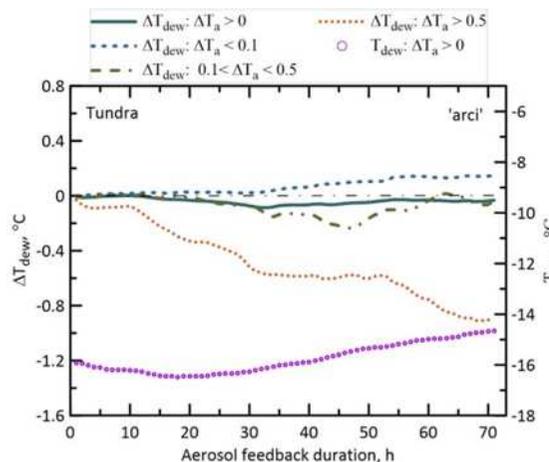
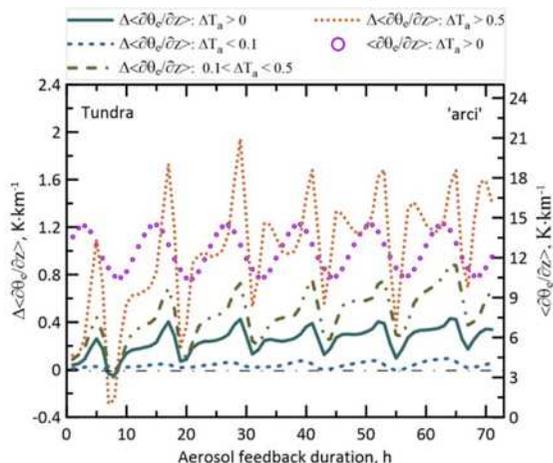
Точка росы (T_{dew}) в нижнем 2км слое

Водозапас облаков (TWP)

Тайга



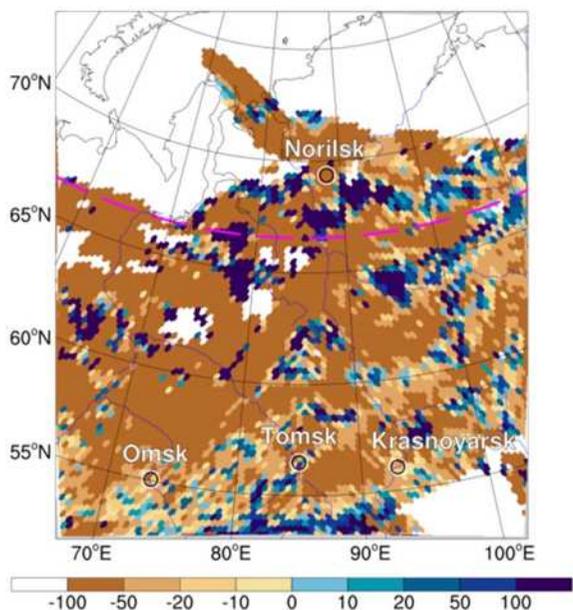
Тундра



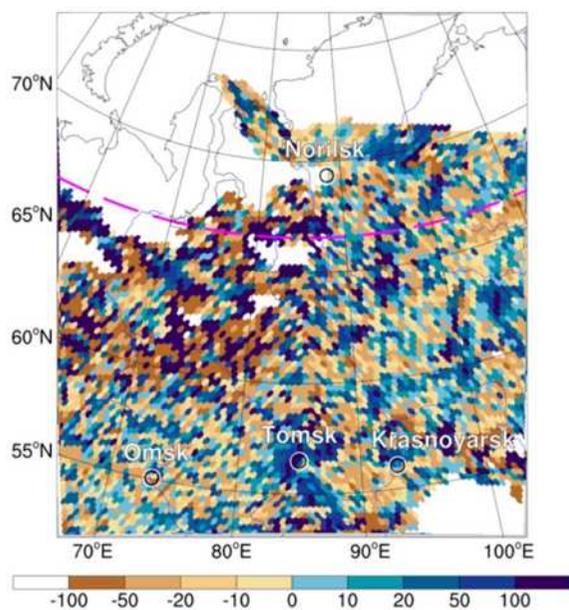
Влияние АРВ и АОР на пространственную структуру интенсивности осадков в плотных дымах

Относительные изменения интенсивности осадков под воздействием дымов (%)

Расчет с учетом только АРВ

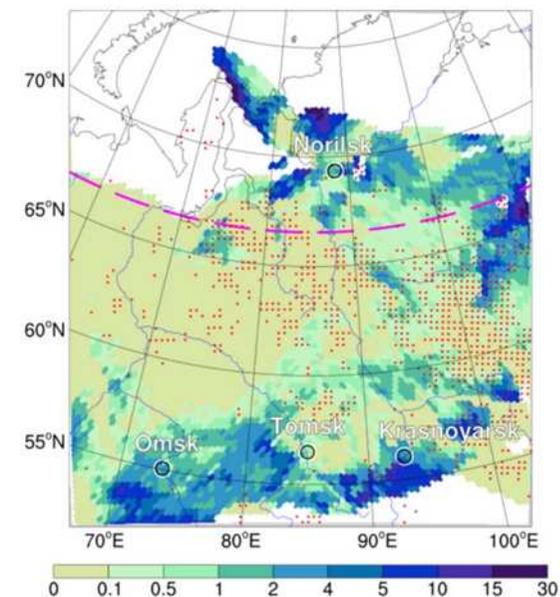


Расчет с учетом только АОВ



Средняя интенсивность осадков (мм сут⁻¹)

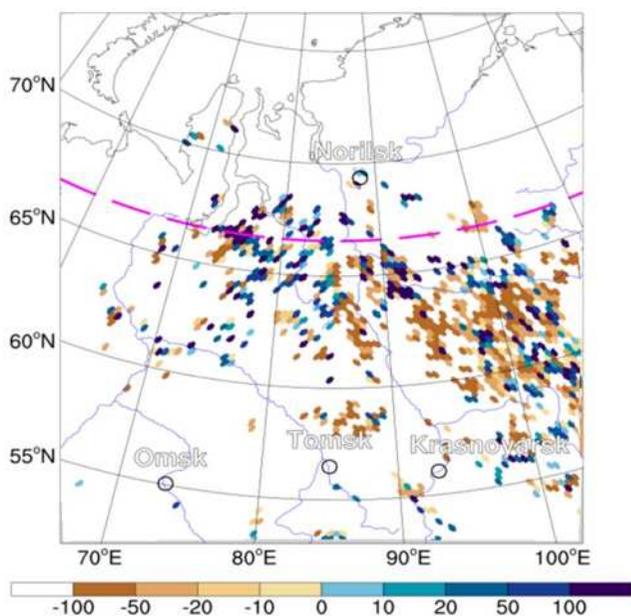
Расчет с учетом АРВ и АОВ без учета эмиссий от пожаров



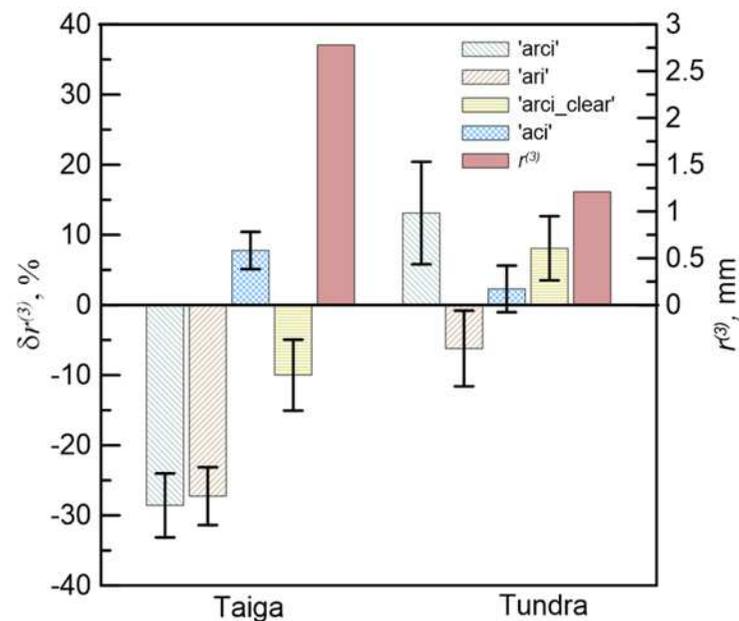
Показанные величины получены путем месячного усреднения модельных данных, соответствующих 72-часовой эволюции под воздействием дымов, для ситуаций с оптически плотными дымами ($AOT > 1$)

Изменения количества осадков на территориях с пожарами

Относительные изменения (%) 3-дневных аккумулярованных осадков вследствие АРВ и АОВ в ячейках со значимыми эмиссиями аэрозоля от пожаров ($E_{OC} > 5 \text{ мг м}^{-2} \text{ сутки}^{-1}$) согласно расчету с учетом АРВ & АОВ



Относительные усредненные изменения 3-дневных аккумулярованных осадков



Обратное влияние вызванных дымами изменений осадков на эмиссии от пожаров

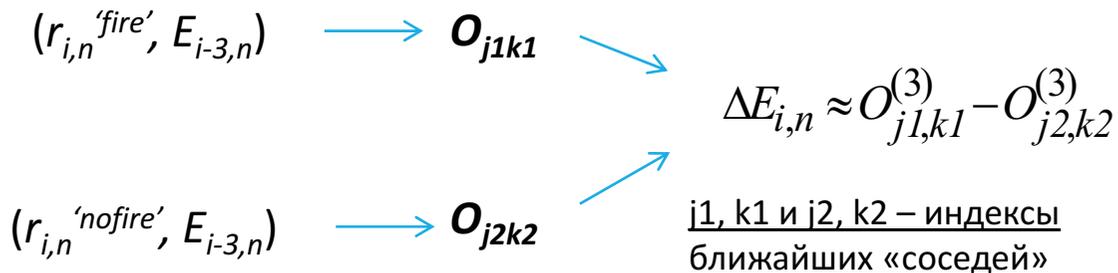
Рассматриваем зависимость эмиссий от пожаров в данный день i в произвольной модельной ячейке n , $E_{i,n}$, от эмиссий в день $i-3$, $E_{i-3,n}$, и аккумулялированных осадков, r , за 3 прошедших дня:

$$E_{i,n} = \upsilon(E_{i-3,n}, r_{i,n}) + \varepsilon_{i,n}$$

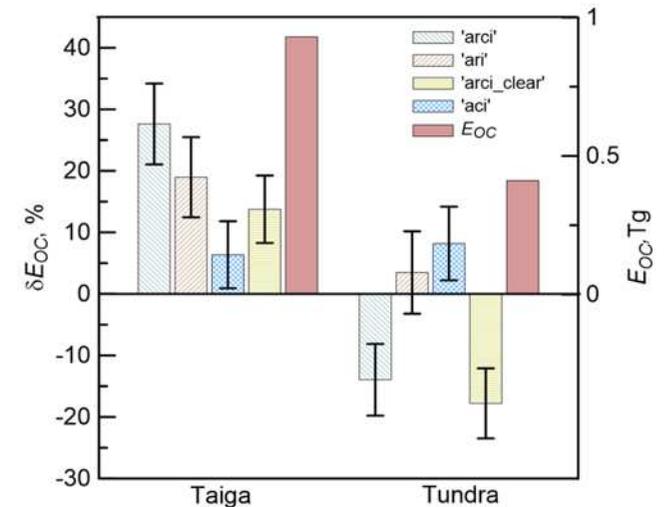
Аппроксимацию υ осуществляем на основе метода ближайших соседей при использовании данных по эмиссиям от пожаров GFAS и данных спутниковых измерений осадков IMERG.

Определяем набор наблюдательных пэттернов: $O_{jk} = (r_{j,k}, E_{j-3,k}, E_{j,k})$

Подбираем ближайшие пэттерны для осадков с учетом и без учета пожаров:



Относительные изменения суммарных эмиссий дымового аэрозоля от пожаров в результате влияния дымов на осадки



$$\delta E_{OC} = \frac{\sum_i \sum_n \Delta E_{i,n}}{\sum_i \sum_n E_{i,n}} \times 100 (\%)$$

Выводы и перспективы

- ❖ Дымы от сибирских пожаров существенно влияют на метеорологические процессы в Сибири и восточной Арктике, прежде всего на осадки и образование облаков.
- ❖ Воздействие дымов на осадки может обуславливать значительные эффекты положительной или отрицательной обратной связи между эмиссиями аэрозоля от пожаров и дымами.
- С целью лучшего понимания значимости выявленных эффектов для погоды и климата в Сибири и Восточной Арктике, требуются существенно увеличить временной и пространственный охват модельных экспериментов.
- Требуются дальнейшие модельные эксперименты с целью изучения и снижения неопределенностей результатов расчетов взаимодействий в системе «пожары-дымы-погода», связанных с конечным пространственным разрешением моделей и неопределенностями описания оптических и микрофизических свойств дымового аэрозоля.
- Требуется проверка и совершенствование параметризаций, которые описывают эмиссии от пожаров в зависимости от метеорологических условий и грозовой активности и предназначены для климатических моделей.

Представленные результаты были получены при поддержке РФФ (грант № 23-27-00172).