



Мониторинг и исследование основных климатообразующих факторов и индикаторов климатической изменчивости на основе данных дистанционных измерений

Нерушев А.Ф., Вишератин К.Н., Коршунов В.А., Ивангородский Р.В.

НПО «Тайфун», Обнинск

ЦЕЛЬ ДОКЛАДА

- ❑ Представить основные закономерности временных вариаций основных климатообразующих факторов и индикаторов климатической изменчивости, полученные в последние годы в НПО «Тайфун» с помощью средств дистанционных измерений наземного и космического базирования.

Рассматриваемые вопросы

- ❑ Динамика изменчивости концентраций парниковых газов в приземном воздухе и толще атмосферы над центральным регионом России.
- ❑ Данные мониторинга стратосферного аэрозоля и перистой облачности на лидарных станциях Росгидромета.
- ❑ Изменчивость скорости ветра в свободной атмосфере и характеристик струйных течений.
- ❑ Статистические модели временной изменчивости CO₂ и скорости ветра.

Экспериментальный материал и используемые методы

- ❑ В докладе рассмотрены 2 основных климатообразующих фактора: *парниковые газы и стратосферный аэрозоль*, а также ветер в свободной атмосфере как *индикатор климатической изменчивости*.
- ❑ **Парниковые газы: метод ИК-спектроскопии**
 - CO₂ и CH₄ – 1998-2022 (приземная концентрация),
– 2015-2022 (средняя по высоте).
 - N₂O – 2015-2022.
- ❑ **Стратосферный аэрозоль и перистая облачность: 2012-2022.**
Лидарные измерения (532 и 355 нм).
- ❑ **Ветер в свободной атмосфере по данным радиометра SEVIRI (6,2 мкм): 2007-2022.**



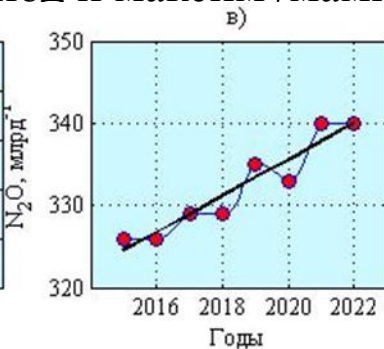
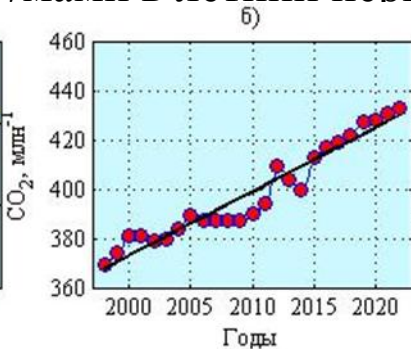
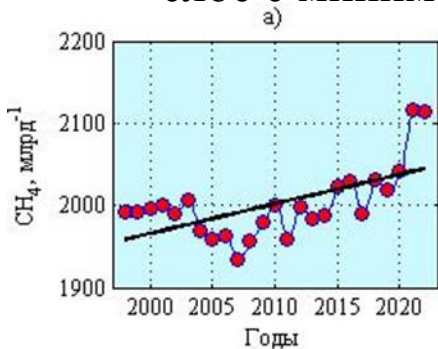
Спектрометрический блок комплекса МР-32



Лидар АК-3

Парниковые газы (Концентрации CH₄, CO₂ и N₂O в приземном слое)

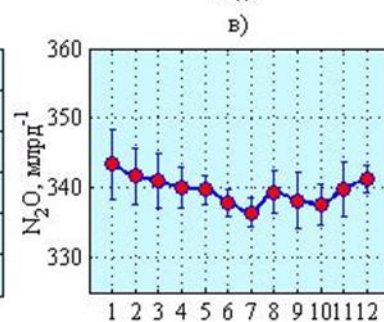
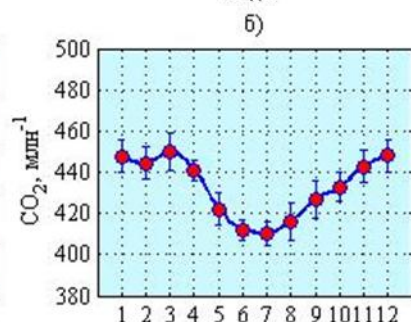
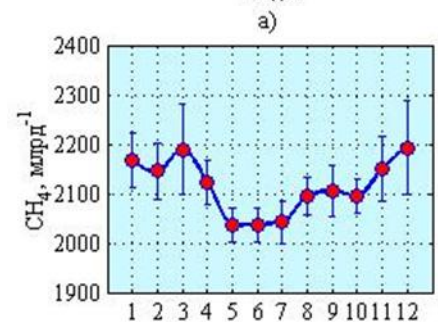
- ❑ Систематическая погрешность: CH₄ ≤ 2%, CO₂ ≤ 1%.
- ❑ Случайная погрешность: CH₄ ~ 1,5%, CO₂ ~ 0,5%.
- ❑ Для ст. “Обнинск” общей тенденцией является рост парниковых газов в приземном слое с минимумами в летний период и максимумами – в зимний.



**Межгодовая изменчивость
средних годовых значений**

Линейные тренды:

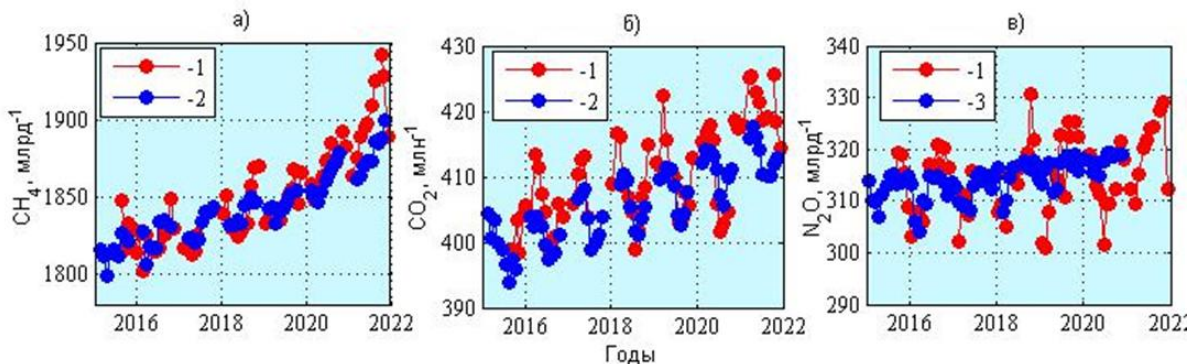
CO₂ (2.6 ± 0.6) млн⁻¹ в год
CH₄ (3.6 ± 1.2) млрд⁻¹ в год
(9.3 ± 2.7) млрд⁻¹ в год (с 2007г.)
N₂O (2.2 ± 0.9) млрд⁻¹ в год



**Сезонный ход
концентраций в
приземном слое
атмосферы в 2022 году**

Парниковые газы (Общее содержание в толще атмосферы)

- ❑ Систематическая погрешность: $\text{CH}_4 \sim 6,6\%$ (~ 125 ppb), $\text{CO}_2 \sim 2,9\%$ (~ 12 ppm).
- ❑ Случайная ошибка единичного измерения: $\text{CH}_4 \sim 1,9\%$, $\text{CO}_2 \sim 1,1\%$.

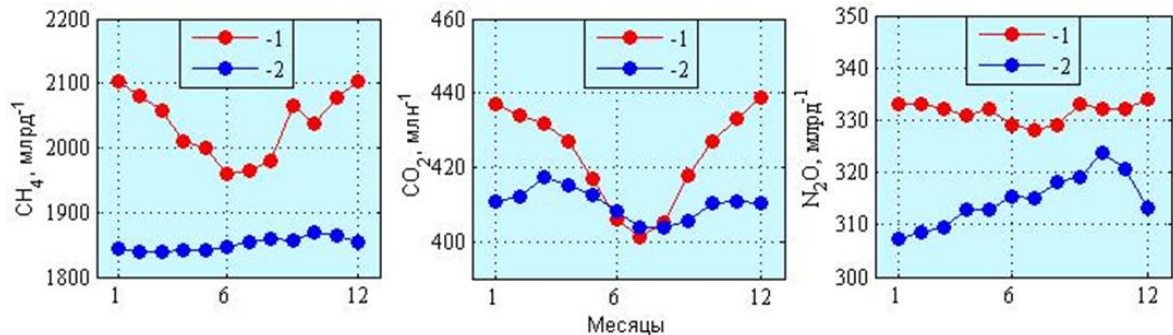


Вариации средних годовых значений средней по высоте объемной концентрации

- 1 – ст. «Обнинск»,
- 2 – спутниковые данные GOSAT,
- 3 – данные ст. «Карлсруэ»

Линейные тренды

CH_4 : 10.2 ± 3.7 млрд⁻¹ в год
 CO_2 : 2.1 ± 0.7 млн⁻¹ в год
 N_2O : 0.9 ± 0.4 млрд⁻¹ в год

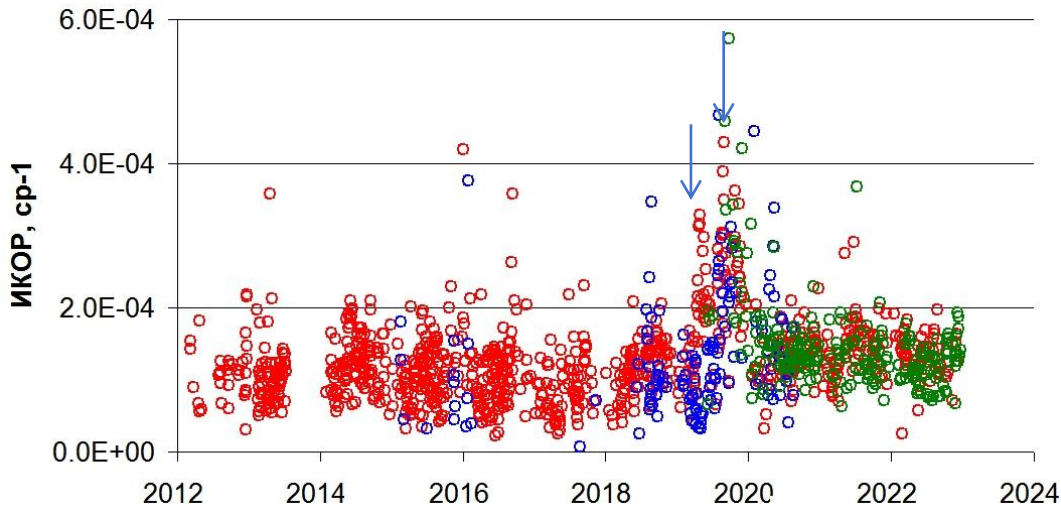


Сезонный ход

усредненных за 2015-2021 гг.
приземных (1) и средних по высоте
(2) концентраций CH_4 , CO_2 и N_2O

Стратосферный аэрозоль

- ❑ Главный источник стратосферного аэрозоля – сернистые соединения природного и антропогенного происхождения.
- ❑ Время жизни аэрозоля от мощных вулканических извержений (с высотой выброса > 20 км) **нескольких лет**, от менее интенсивных извержений среднеширотных вулканов (с высотой выброса ≈ 15 км) – **от полугода до года**.

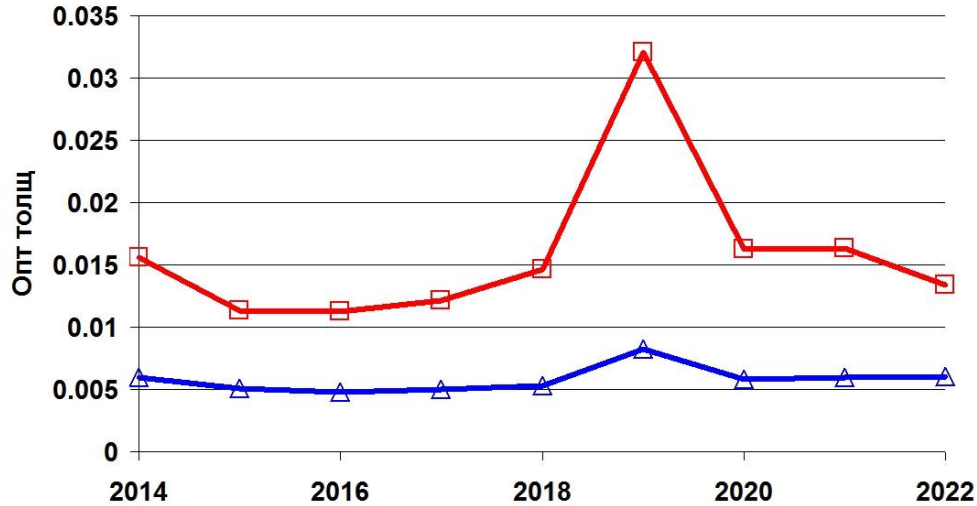


Содержание аэрозоля в стратосфере характеризует интегральный коэффициент обратного аэрозольного рассеяния (ИКОР)

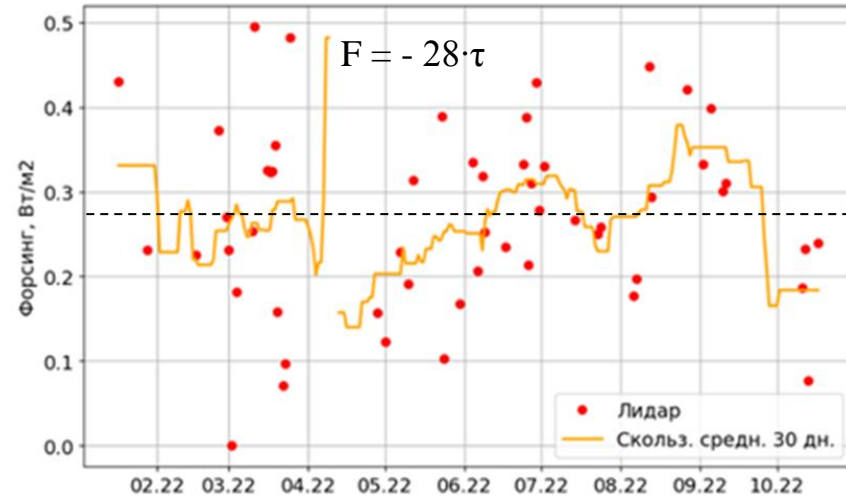
Временной ход ИКОР в слое 15-30 км по данным измерений на лидарных станциях Обнинска, Новосибирска и Знаменска (красные, синие и зеленые кружки)

Стратосферный аэрозоль

- ❑ Основным климатообразующим фактором стратосферного аэрозоля является его оптическая толщина.
- ❑ Количественно влияние аэрозоля на климат определяется величиной радиационного форсинга.



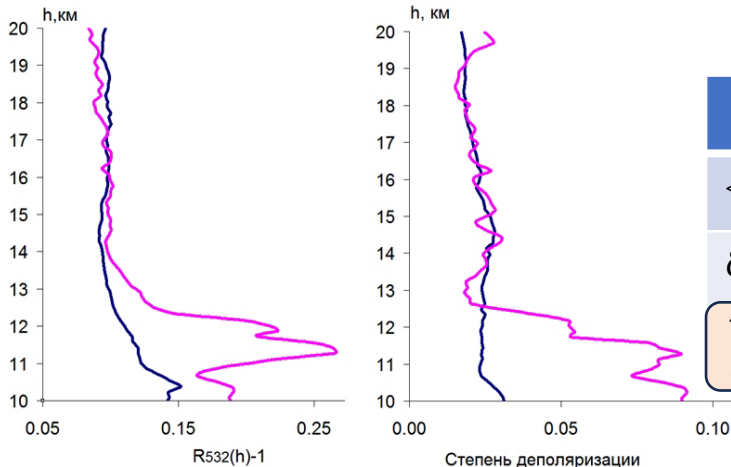
Временной ход среднегодовых значений оптической толщины в стратосферных слоях 10-30 км (квадраты) и 15-30 км (треугольники)



Временной ход радиационного форсинга стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км по данным измерений в 2022 г.

Аэрозоль природных пожаров

- ❑ В последние годы наблюдается тенденция увеличения содержания аэрозоля природных пожаров (АПП) в стратосфере. В отдельных эпизодах наблюдаются аэрозольные слои, вполне сопоставимые с вулканическими.
- ❑ Индикатором присутствия АПП является повышенная степень деполяризации обратного рассеяния.



Средние за I полугодие 2014 г. высотные профили отношения обратного рассеяния $R_{532}(h)$ и степени деполяризации для профилей сферического (синие линии) и смешанного (фиолетовые линии) типов

Параметры АПП для ряда временных интервалов

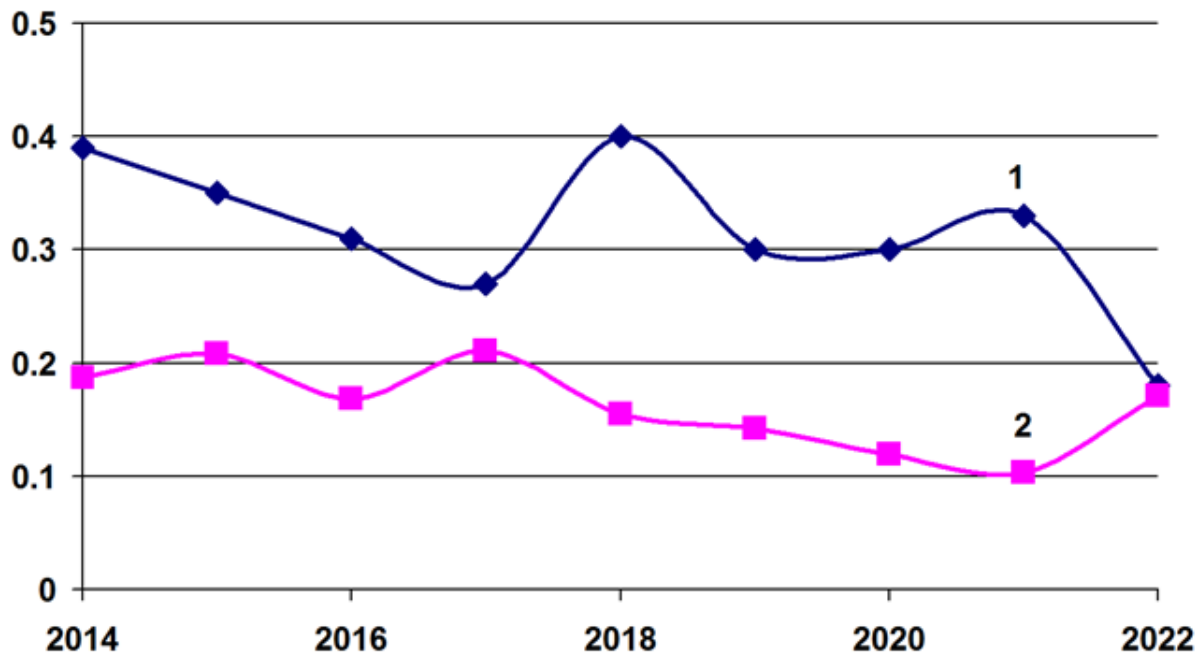
	2014	2017	2019	2021	2014-2021	2017-2021
$\langle \tau_{Sm} \rangle$	0.0016	0.0017	0.0045	0.0030	0.0015	0.0022
δ_{τ} , %	11.5	16	16	23	10	14

τ_{sm} – оптическая толщина АПП,
 δ_{τ} – относительное увеличение оптической толщины за счет АПП

- В среднем за 2014-2021 оптическая толщина АПП составила 10% от сернокислотного.
- Поскольку АПП в отличие от сульфатного аэрозоля нагревает стратосферу, его влияние на радиационный баланс стратосферы может быть заметным.

Перистые облака верхнего яруса (выше 8 км)

- Перистые облака образуются в области тропопаузы. Их влияние на радиационные характеристики имеет сложный характер и зависит от оптической толщины, размеров и формы частиц.



Временной ход среднегодовых значений оптической толщины (2) перистых облаков и вероятности их появления (1) в интервале высот от 8 до 12 км по данным лидарных измерений.

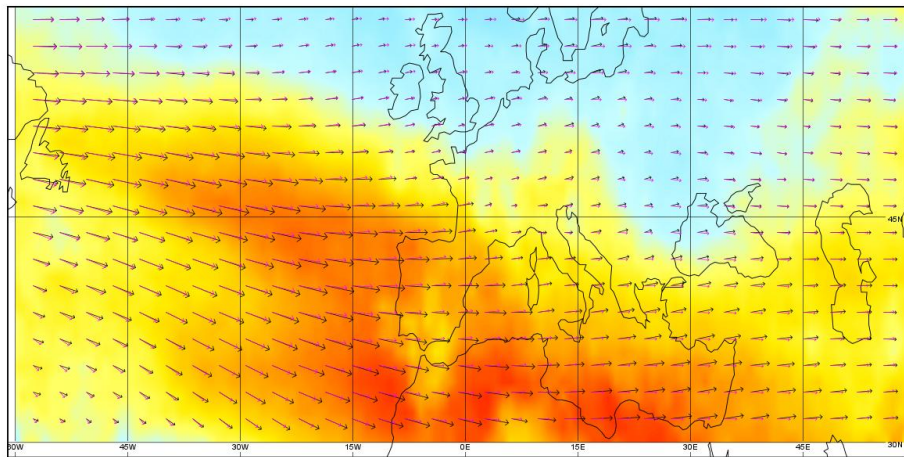
Средняя вероятность появления за 2012-2020 гг. – 0,33

Ветер в свободной атмосфере

- ❑ Скорость ветра в свободной атмосфере (V) зависит от атмосферных процессов, в том числе глобальных, и отражает роль климатических изменений и климатической изменчивости.
- ❑ Одним из эффективных инструментов контроля V является спутниковая система наблюдений.
- ❑ Результаты мониторинга представляются в виде карт среднемесячных или сезонных полей V и их аномалий.

Разница между зимой 2020 и средней зимой (за 2007-2016)

м/с

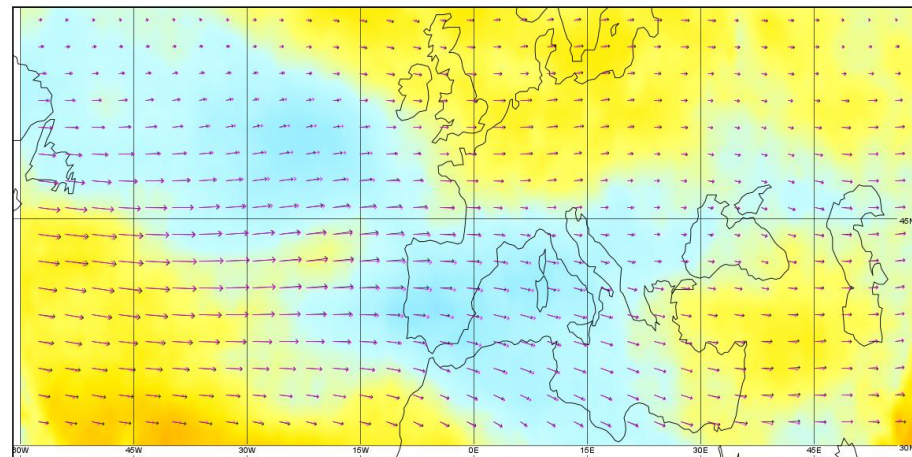


разница модулей скорости ветра

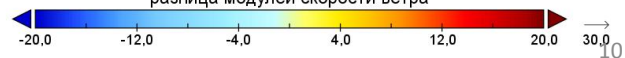


Разница между летом 2020 и средним летом (за 2007-2016)

м/с

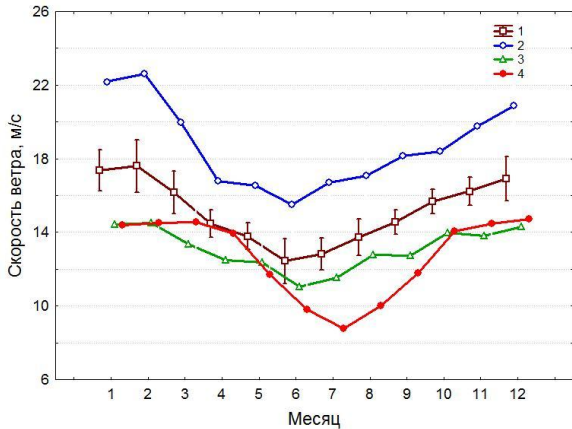


разница модулей скорости ветра



Ветер в свободной атмосфере

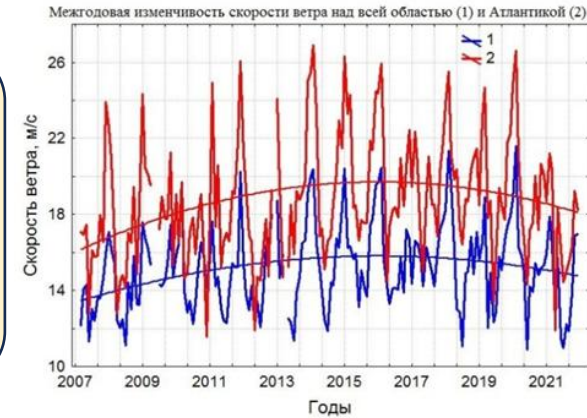
□ Основные закономерности пространственно-временной изменчивости V и характеристик СТ.



Средние значения, 01.2022
м/с

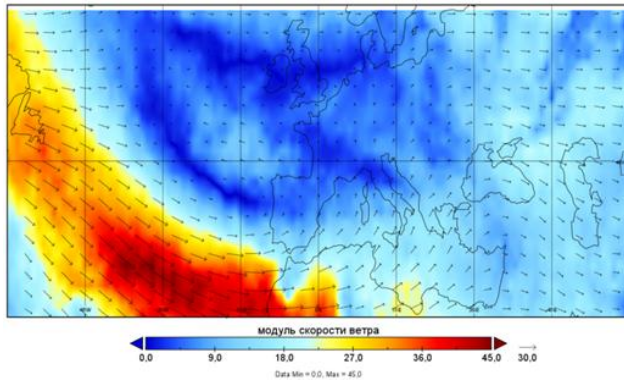
Годовой ход средних многолетних значений V , усредненной по площади всей области (1), Атлантики (2), Европы (3), ЕТР (4)

Изменчивость V над всей областью (1) и над Атлантикой (2)



В январе проявляется влияние СТ на V : Максимальные значения скорости СТ – в январе. Максимальный сдвиг центра СТ к экватору также в январе

Временная изменчивость максимальной скорости струйного течения



❑ *Модель множественной линейной регрессии*

- ❑ Временной ряд CO₂ моделировался суммой вкладов различных предикторов и шумовой составляющей:

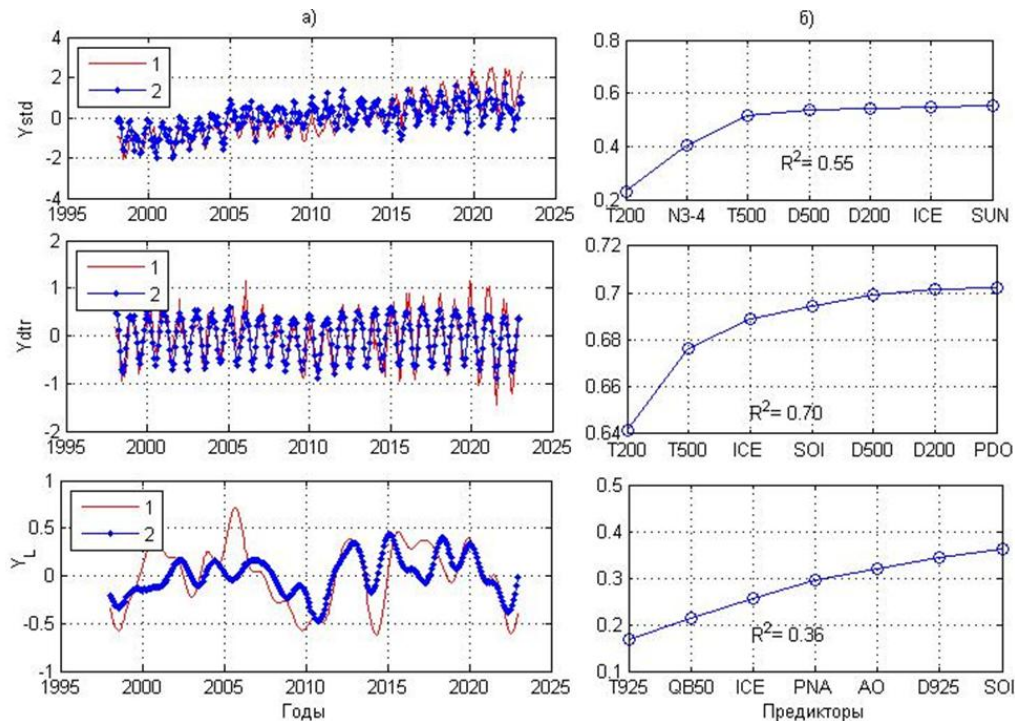
$$Y_R(t) = a_1 P_{L1}(t) + a_2 P_{L2}(t) + \dots + a_N P_{LN}(t) + E(t),$$

где t – время (порядковый номер месяца), $P_{LN}(t)$ – временной ряд предиктора N , a_N – коэффициенты регрессии, или коэффициенты влияния этих предикторов, $E(t)$ – остатки.

- ❑ В качестве предикторов для построения модели временной изменчивости CO₂ на ст. Обнинск использовались следующие среднемесячные геофизические временные ряды:
 - ❑ Усредненные по широте 50 – 70° с.ш. значения температуры тропосферы (T) на уровнях 200, 500 и 925 гПа и их разности (DT) между низкими и высокими широтами по данным реанализа NCEP/NCAR.
 - ❑ Числа Вольфа (SUN) в качестве индикатора вариаций солнечной активности.
 - ❑ Площадь арктического морского льда (ICE) по данным Arctic Data Archive System.
 - ❑ Различные индексы крупномасштабной атмосферной циркуляции по данным Центра прогнозов Национального управления по исследованию океана и атмосферы США.

Статистические модели временной изменчивости приземной концентрации CO₂

- ❑ Модель составлялась по критерию максимума коэффициента детерминации R^2 .
- ❑ В модель включались предикторы с наибольшим вкладом в объясненную дисперсию и исключались предикторы, вклад которых невелик (менее 2%).

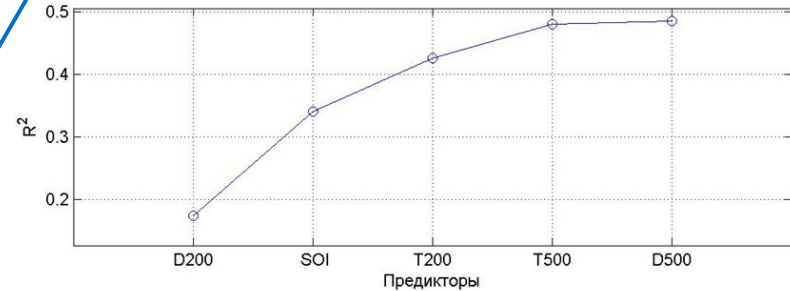
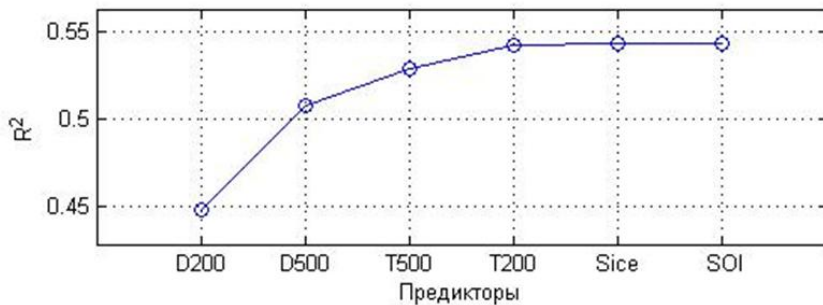
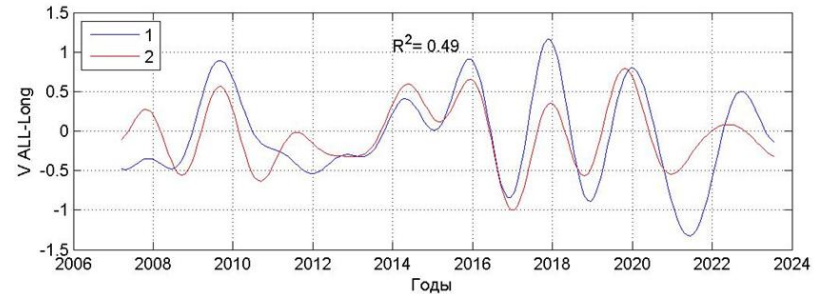
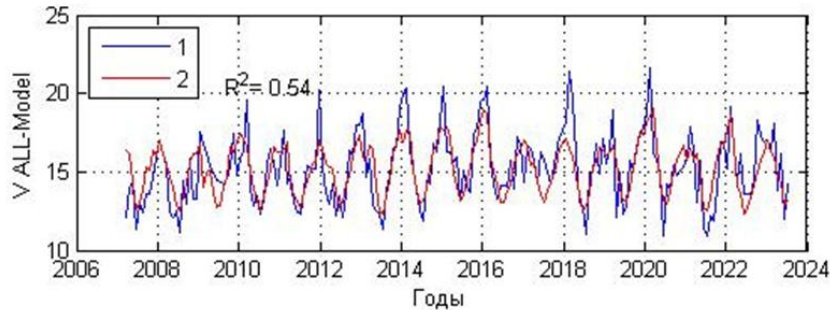


Модели вариаций приземной концентрации CO₂ на ст. Обнинск в 1998-2022 гг.

а) модели для трех вариантов, 1 – данные измерений, 2 – модель;
б) - зависимости объясненной дисперсии от вклада предикторов.

- N3-4 – вариации температуры поверхности Тихого океана для региона 5° ю.ш. – 5° с.ш., 120° з.д. – 170° з.д.;
- PDO – индекс десятилетнего Тихоокеанского колебания;
- PNA – (индекс Тихоокеанской/Североамериканской телеконнекции).

Статистическая модель временной изменчивости скорости ветра



Исходный ряд Vall (1) и расчет по модели (2) (вверху), зависимость объясненной дисперсии от вклада предикторов (внизу)

То же, но для длиннопериодных колебаний Vall

DT200 + DT500 объясняют более 50% вариаций оригинальных рядов Vall, включающих сезонный ход и тренд

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- ❑ По данным мониторинга основных парниковых газов на станции Обнинск отмечен значимый линейный тренд средних годовых величин как приземной концентрации, так и усредненной по высоте их объемной концентрации за весь период наблюдений.
- ❑ Наблюдается значительный рост приземной концентрации метана после 2007 г., отражающий его глобальный характер. При этом в последние 2 года были зарегистрированы рекордные уровни приземной концентрации метана – выше 2100 ppb.
- ❑ В последние годы наблюдается тенденция увеличения содержания аэрозоля природных пожаров (АПП) в стратосфере. АПП в отличие от сульфатного аэрозоля нагревает стратосферу, поэтому его влияние на радиационный баланс стратосферы может быть заметным.
- ❑ С 2014 года наблюдался спад оптической толщины перистых облаков и вариативное поведение вероятности их появления.
- ❑ На рубеже 2015-2017 гг. положительный тренд среднемесячных значений скорости ветра в верхней тропосфере сменяется на отрицательный. Падение максимальной скорости и широтного положения струйных течений на рубеже 2012-2013 гг. сменяется их ростом.
- ❑ Разработаны статистические модели временной изменчивости основного парникового газа (CO₂) и скорости ветра в свободной атмосфере. Модели описывают до 50-70% изменчивости CO₂ и скорости ветра.
- ❑ Наибольший вклад в вариации как приземной концентрации CO₂, так и скорости ветра вносит группа предикторов, связанных с вариациями температуры тропосферы. Индексы крупномасштабных процессов вошли в основном только в модели, описывающие длиннопериодные вариации.
- ❑ **Использование средств дистанционных измерений наземного и космического базирования позволяет эффективно проводить мониторинг основных парниковых газов, стратосферного аэрозоля и скорости ветра в свободной атмосфере, исследовать закономерности их пространственно–временных вариаций и влияние на климатическую изменчивость.**

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ !**

Thanks for Your Attention !