



V Всероссийская конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова. 19–21 ноября 2024 г. Москва

Статистические модели и прогнозы временной изменчивости характеристик поля ветра и содержания парниковых газов по данным дистанционных измерений

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

НПО «Тайфун», Обнинск

ЦЕЛЬ ДОКЛАДА

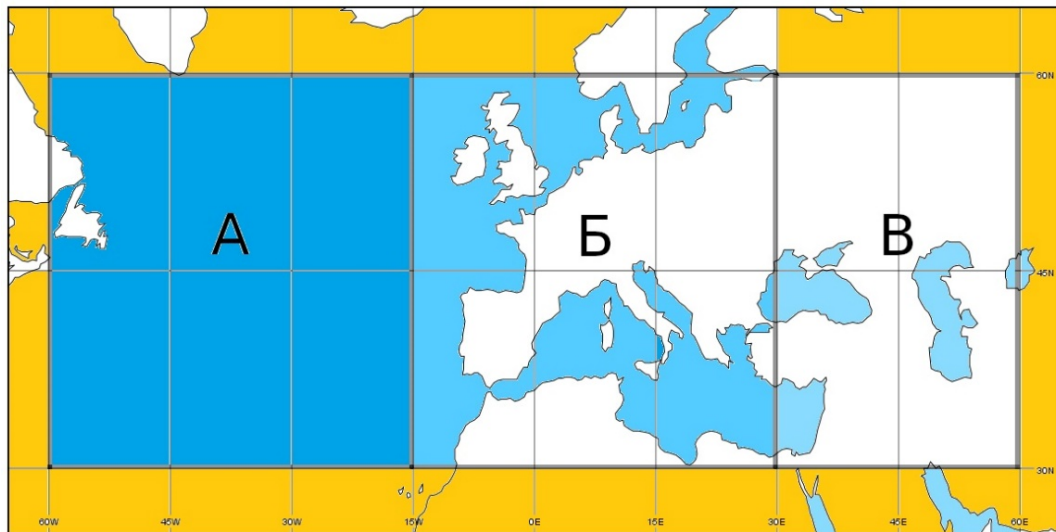
- ❑ Представить **статистические модели** временной изменчивости характеристик полей ветра и содержания парниковых газов, разработанные на основе обработки данных многолетних дистанционных измерений с помощью наземных и космических средств, а также **прогнозы** этих характеристик на несколько лет.
- ❑ Под характеристиками полей ветра в свободной атмосфере будем понимать:
 - ❑ среднемесячные значения скорости горизонтального ветра, усредненные по некоторой площади,
 - ❑ характеристики высотных струйных течений (φ , S , V_m),
 - ❑ характеристики мезомасштабной турбулентной диффузии (K_d , S_d).
- ❑ Под содержанием парниковых газов – их интегральное содержание в атмосфере или **концентрацию в приземном воздухе**.

Используемые данные и методы их измерений

- ❑ **Парниковые газы** (станция «Обнинск»): метод ИК-спектроскопии (CO_2 , CH_4 , N_2O). Временной ряд среднемесячных значений концентрации CO_2 : 1998-2023 гг. (Baranov et al. Proc. SPIE. 2000. V. 4341)
- ❑ **Характеристики ветра в свободной атмосфере** – по данным радиометра SEVIRI (6,2 мкм). 2007-2023 (2018) гг. (Нерушев А.Ф., Крамчанинова Е.К. Иссл. Земли из космоса. 2011. № 1.)



Спектрометрический
блок комплекса МР-32



Вся область (30-60)N, (60W – 60E).
(Vall).

А – Атлантика (60-15)W. (Vatl).

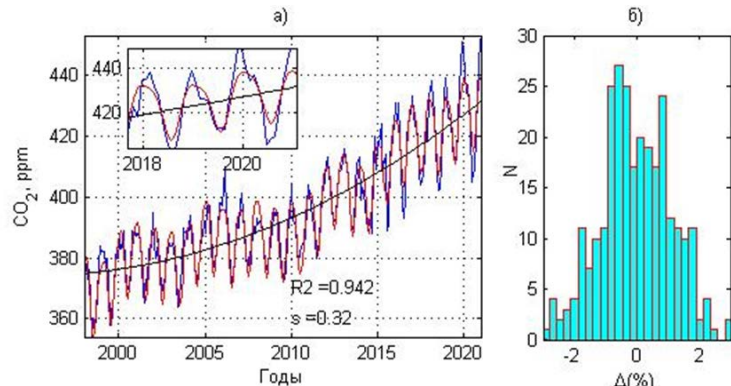
Б – Европа (15W-30E). (Veur).

В – Евразия (30-60)E. (Vetr).

Статистическая модель для анализа и прогноза вариаций CO₂

Используется простая статистическая модель, включающая тренд и сумму гармонических составляющих: $M(t) = Tr_n(t) + \sum A_i \cos(2\pi t/T_i + \Psi_i)$.

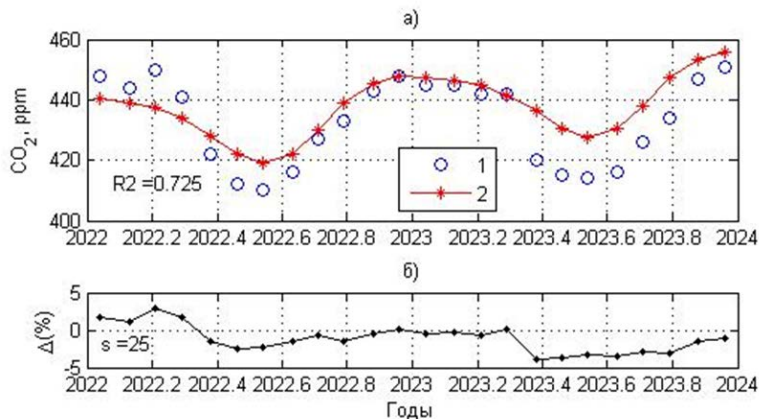
Вишератин К.Н. Изв. РАН ФАО. 2007. Т.43. №4



Оценка модели. Сопоставление вариаций концентрации CO₂ на ст. Обнинск в 1998-2021 гг. с моделью.

(а) – вариант модели с 6 гармониками.

(б) – гистограмма разности между расчетом по модели и экспериментом



Валидация модели. Сопоставление вариаций концентрации CO₂ на ст. Обнинск в 2022-2023 гг. с моделью.

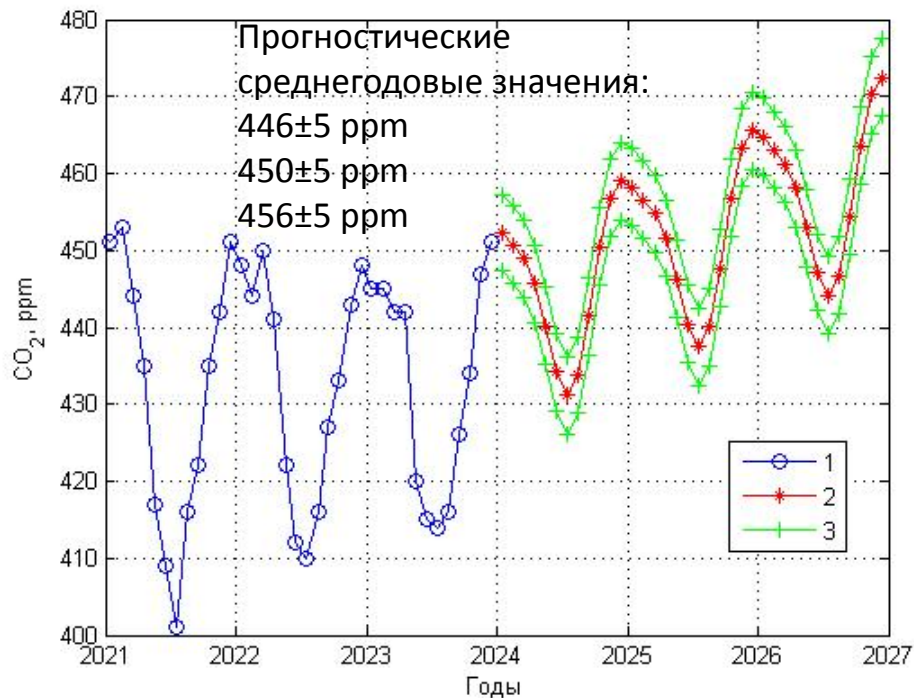
(а) – вариант модели с 6 гармониками.

(б) – относительная разность между расчетом по модели и экспериментом

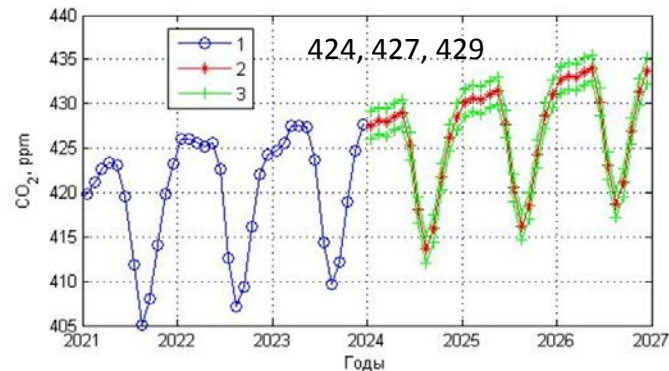
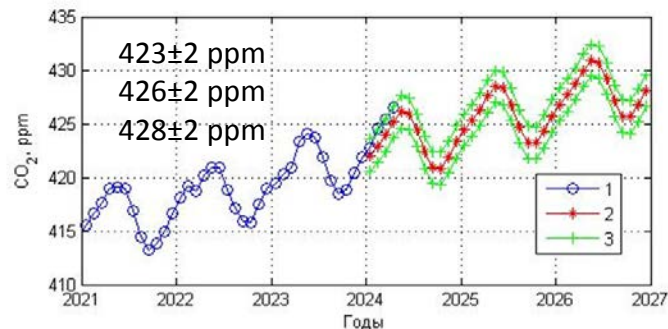
Прогноз вариаций CO₂ на 2024-2026 гг.

Прогноз вариаций приземной
концентрации CO₂ на ст. Обнинск.

1- наблюдения, 2-прогноз, 3-погрешность



Прогноз вариаций концентраций
CO₂ на ст. Мауна-Лоа (вверху) и
Барроу (внизу)



Модели для анализа и прогноза характеристик ветра

Модель множественной линейной регрессии

$$Y(t) = a_1 P_1(t) + a_2 P_2(t) + \dots + a_N P_N(t) + E(t).$$

□ Предикторы (P) :

- квазизональные значения температуры тропосферы (T_{tr}) в широтной зоне (40-50) N на разных уровнях и их разности на уровнях 200 и 500 гПа между низкими (0) и высокими (80) широтами;
- площадь арктического морского льда (SICE);
- различные индексы крупномасштабной атмосферной циркуляции (NAO, AO, SOI, QBO и др.)

Модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (ARIMA – AutoRegressive Integrated Moving Average)

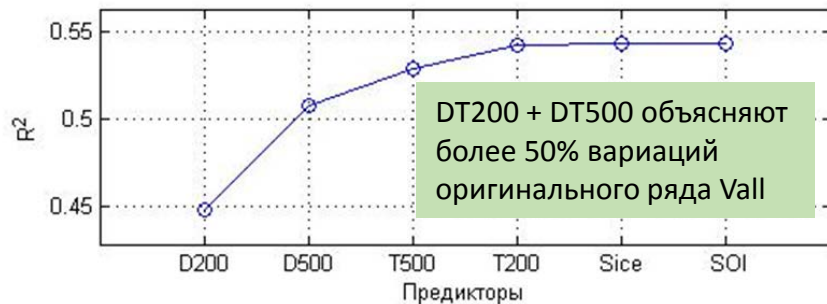
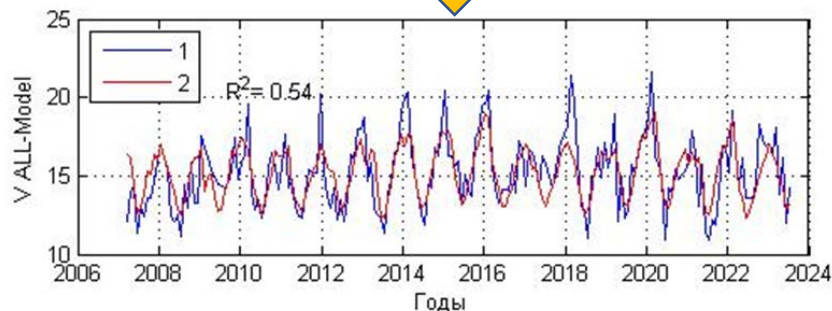
$$x_t = \xi + \varphi_1 x_{t-1} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + \varepsilon_t - \mu - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q},$$

где ε – случайная ошибка, φ и θ – параметры модели, ξ и μ – константы.

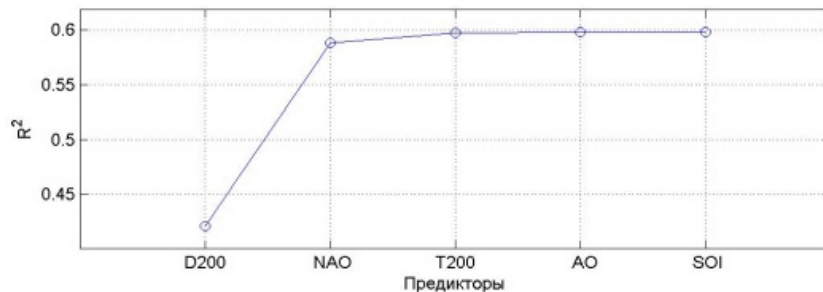
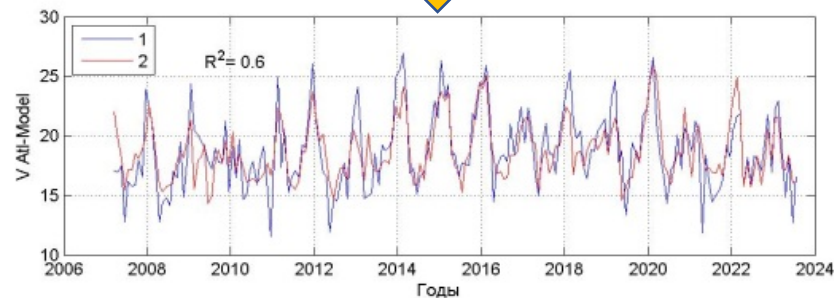
Модель временной изменчивости скорости ветра в свободной атмосфере

Исходные ряды (1) и расчет по модели (2) (вверху), зависимость объясненной дисперсии от вклада предикторов (внизу)

Вся область



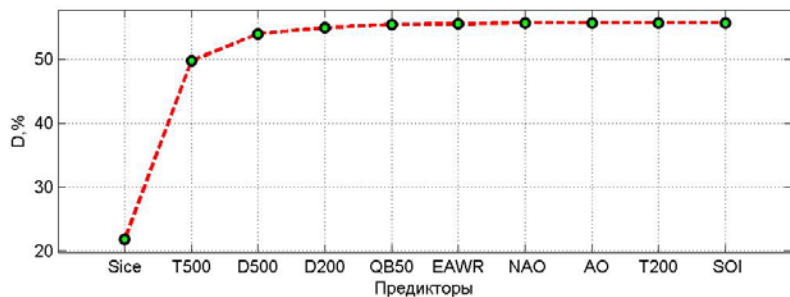
Атлантика



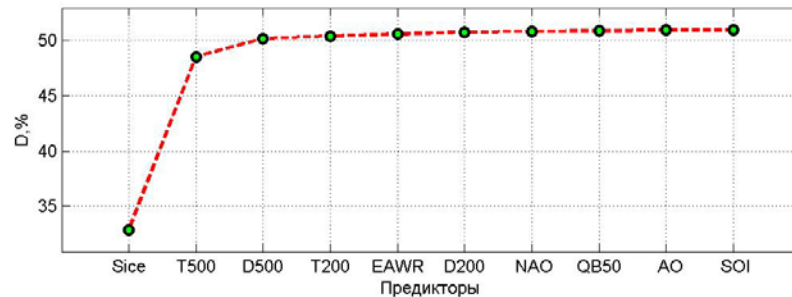
Модель временной изменчивости характеристик высотных струйных течений

Исходные ряды (1) и расчет по модели (2) (вверху), зависимость объясненной дисперсии от вклада предикторов (внизу)

Широта центра СТ

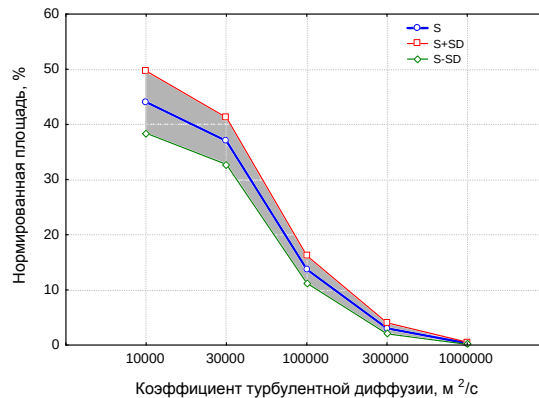
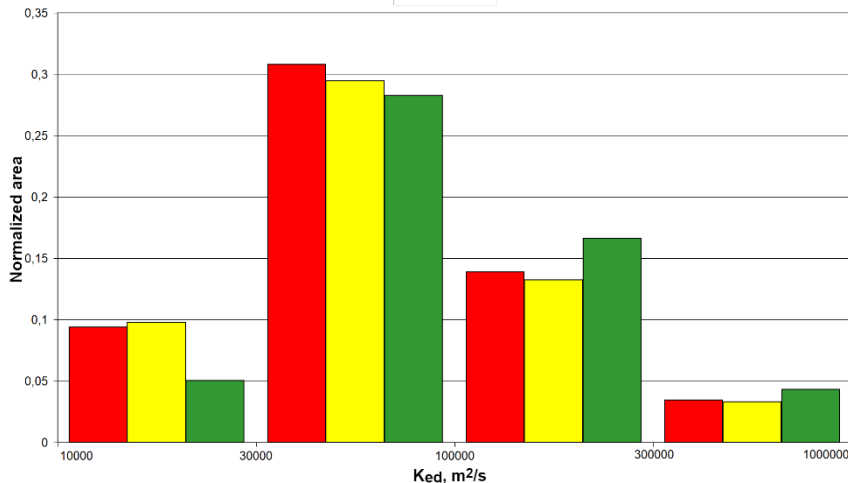
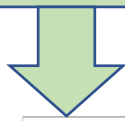


Средняя площадь СТ



Характеристики турбулентности в ясном небе (ТЯН)

Распределение средних величин площадей по диапазонам изменения K_d , характеризующим слабую, умеренную, сильную и очень сильную турбулентность



Зоны верхней тропосферы со значением $K_d \geq 10^4 m^2/c$ могут занимать до 50 % видимой со спутника области Северного полушария

Градации турбулентности:

Слабая : $3 \times 10^4 m^2/c > K_d \geq 10^4 m^2/c$

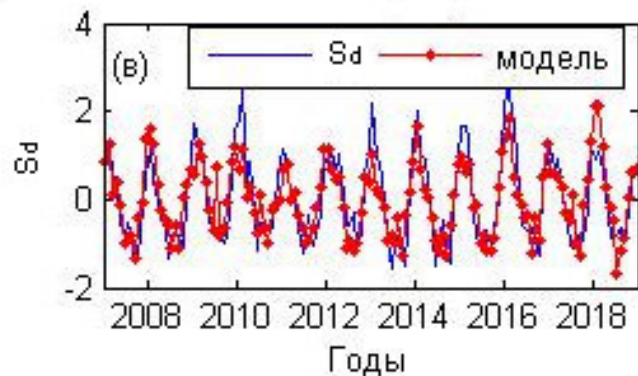
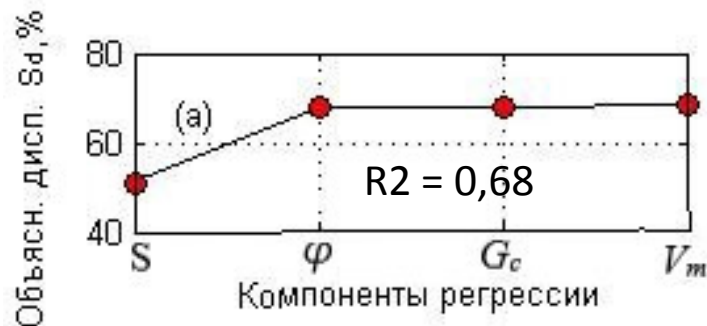
Умеренная: $10^5 m^2/c > K_d \geq 3 \times 10^4 m^2/c$

Сильная: $3 \times 10^5 m^2/c > K_d \geq 10^5 m^2/c$

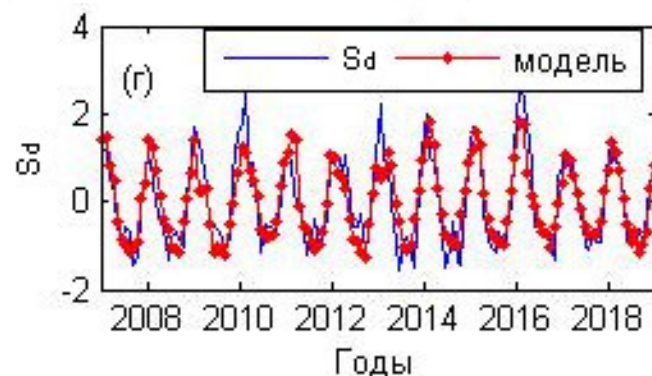
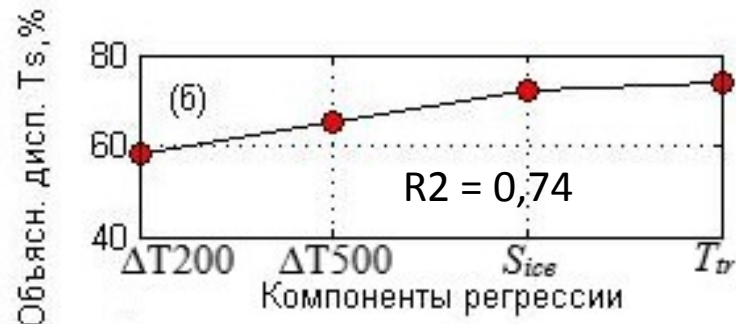
Оч. сильная: $10^6 m^2/c > K_d \geq 3 \times 10^5 m^2/c$

Модель временной изменчивости параметров зон турбулентности

Предикторы –
характеристики СТ



Предикторы –
климатические параметры

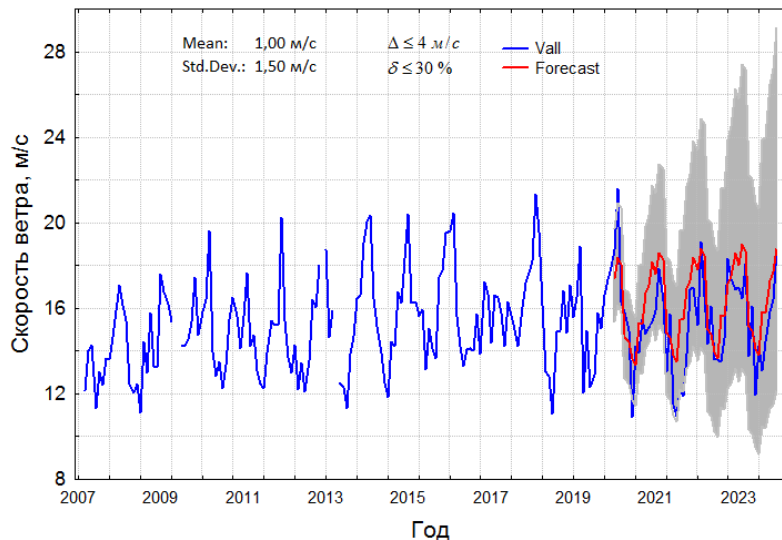


Проверка модели прогноза на реальных данных и оценка ее точности

Сравнение реальных данных скорости ветра над всей областью и прогноза на 4 года



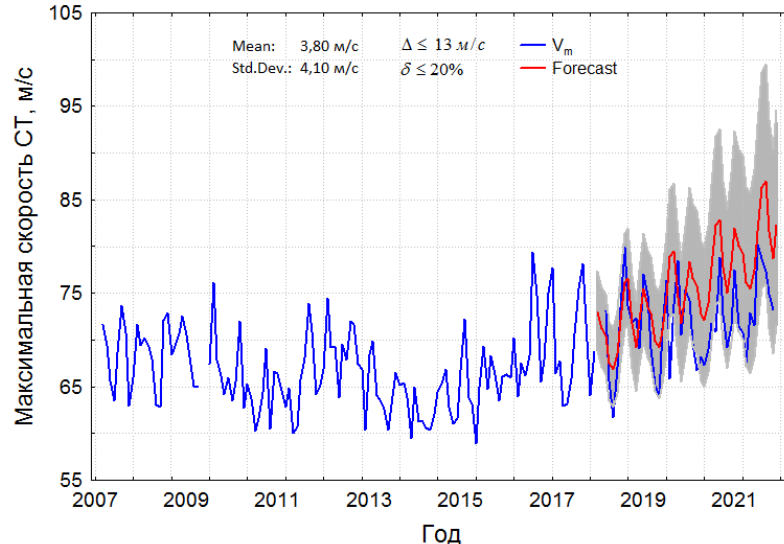
Сравнение оригинального ряда V_{all} и прогноза на 2020-2023 гг.



Сравнение реальных данных максимальной скорости СТ и прогноза на 4 года



Сравнение оригинального ряда V_m и прогноза на 2018-2021 гг.

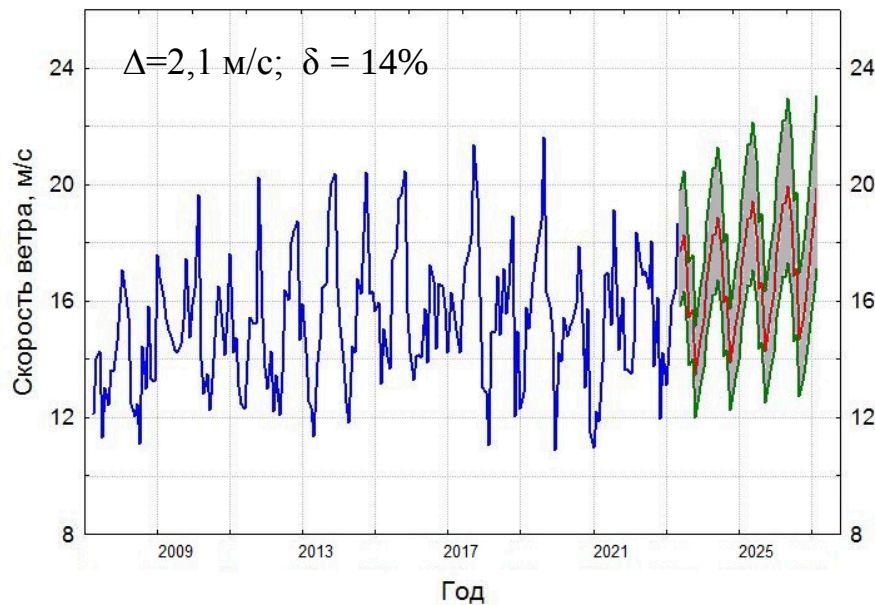


Прогноз временной изменчивости скорости ветра

Прогноз ветра над
всей областью



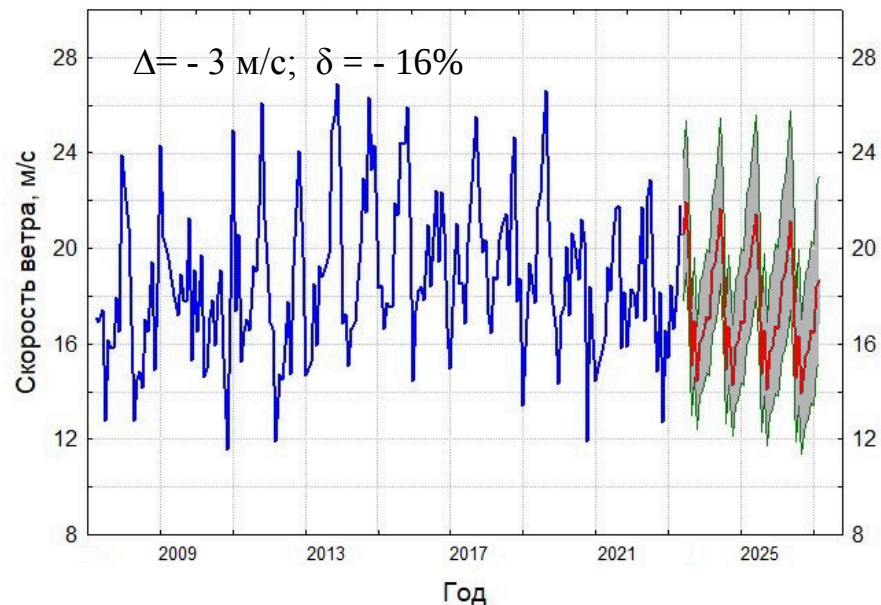
Оригинальный ряд Vall и прогноз на 2024-2027 гг.



Прогноз ветра над
Атлантикой

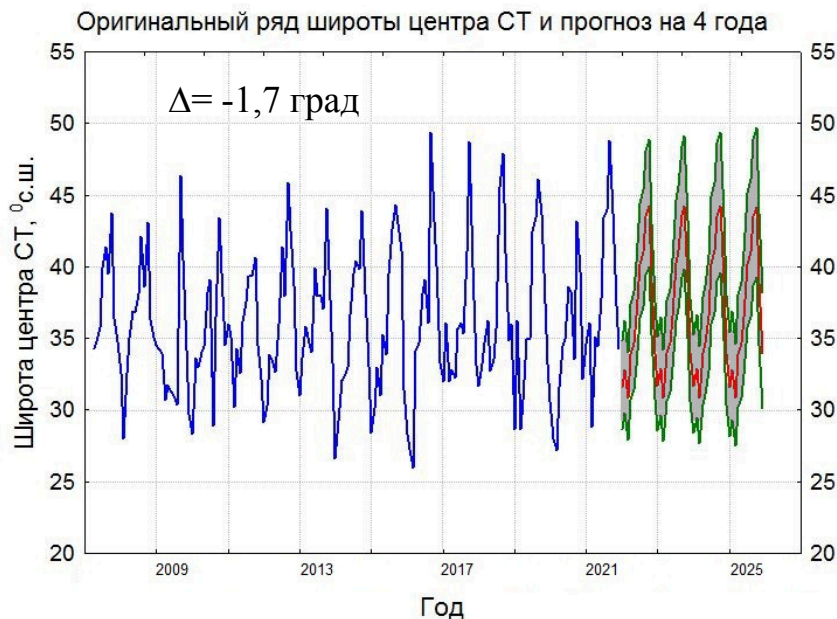


Оригинальный ряд VatI и прогноз на 2024-2027 гг.

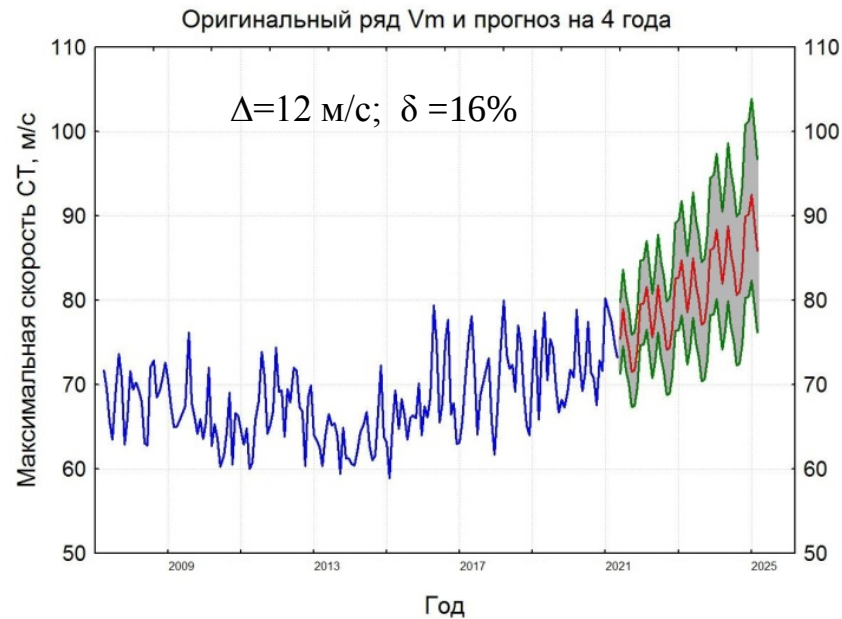


Прогноз временной изменчивости характеристик СТ на 2022-2025 гг.

Прогноз широты
центра СТ

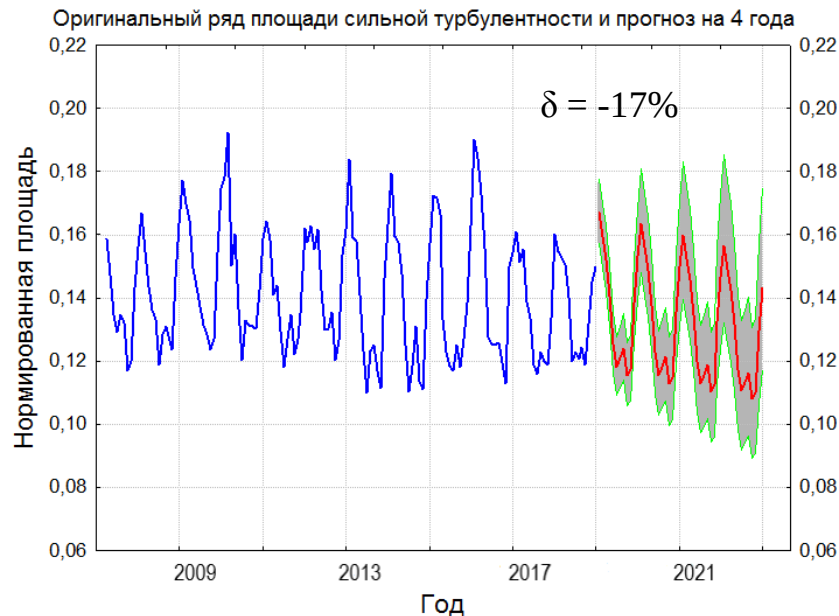


Прогноз максимальной
скорости СТ

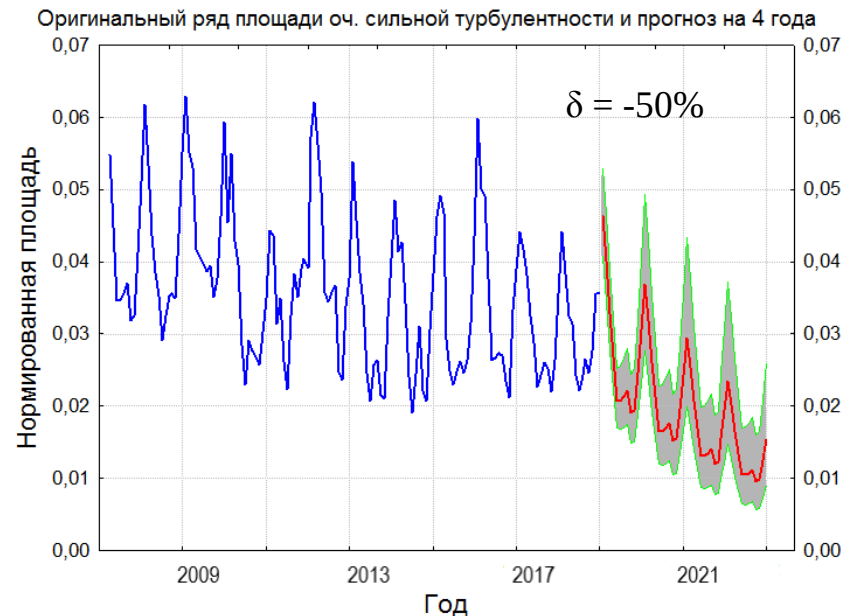


Прогноз временной изменчивости характеристик турбулентности

Прогноз площади
сильной ТЯН



Прогноз площади очень
сильной ТЯН



ОСНОВНЫЕ ВЫВООДЫ

- ❑ Определены основные факторы, влияющие на межгодовую изменчивость среднемесячных значений характеристик полей ветра в свободной атмосфере (скорости горизонтального ветра, параметров струйных течений и мезомасштабной турбулентной диффузии).
- ❑ Показано, что температурные параметры тропосферы и площадь арктического морского льда определяют от 50 до 70% объясненной дисперсии указанных характеристик полей ветра.
- ❑ На основе модели авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего построены прогнозы скорости горизонтального ветра, характеристик струйных течений и площадей с сильной турбулентностью на 4 года и оценены их точности.
- ❑ Используя статистическую модель, включающую тренд и сумму гармонических составляющих, выполнен прогноз вариаций приземной концентрации CO₂ на ст. Обнинск на 2024-2026 гг. и проведено сравнение с аналогичными прогнозами для фоновых станциях Мауна-Лоа и Барроу.

Спасибо за внимание !