



Двадцать вторая международная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". ИКИ РАН, 11-15 ноября 2024 г.

# **Статистические модели и прогнозы временной изменчивости характеристик поля ветра в свободной атмосфере на основе спутниковой информации**

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

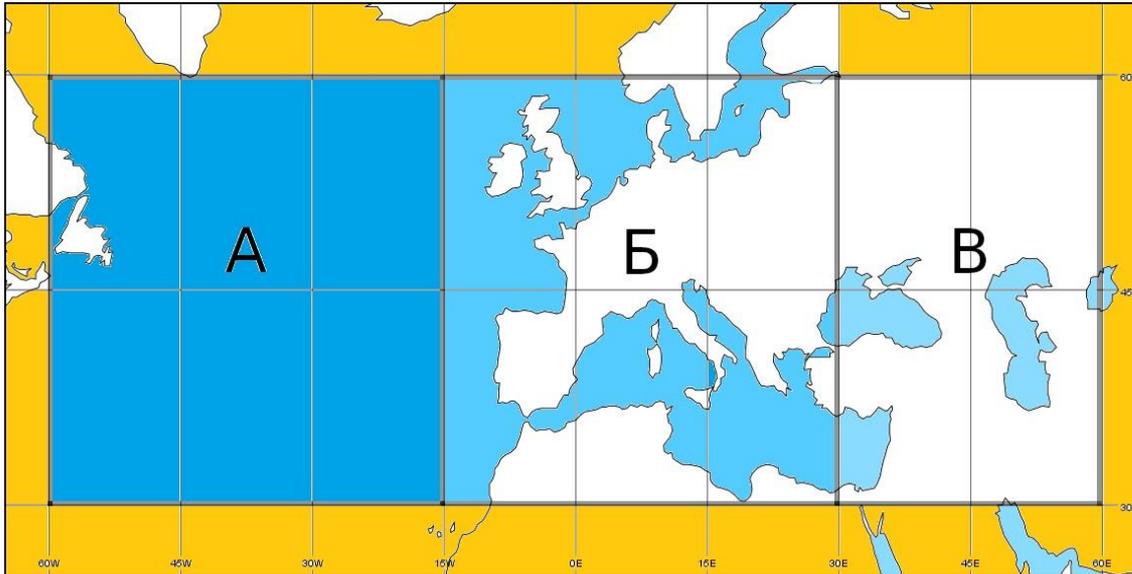
НПО «Тайфун», Обнинск

# ЦЕЛЬ ДОКЛАДА

- ❑ Представить **статистические модели** временной изменчивости характеристик полей ветра, разработанные на основе обработки данных многолетних измерений радиометра SEVIRI европейских геостационарных метеорологических спутников второго поколения, 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 ( $\varphi$ ,  $S$ ,  $V_m$ ),
  - ❑ характеристики мезомасштабной турбулентной диффузии ( $K_d$ ,  $S_d$ ).

# Рассматриваемая область и метод

- ❑ В докладе рассматривается видимая со спутника область атмосферы и её составные части.
- ❑ Поля ветра, характеристики струйных течений и мезомасштабной турбулентной диффузии рассчитываются по данным канала 6,2 мкм радиометра SEVIRI.



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).

# Модель множественной линейной регрессии

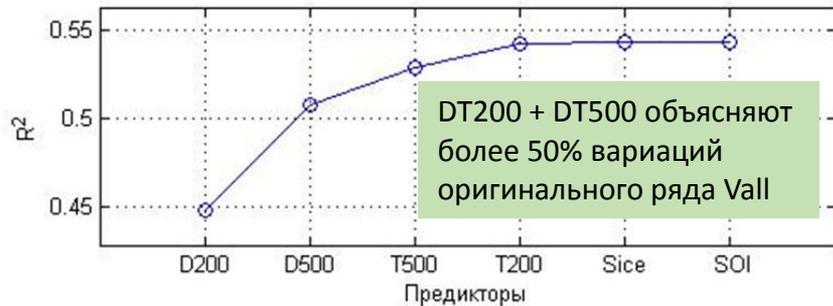
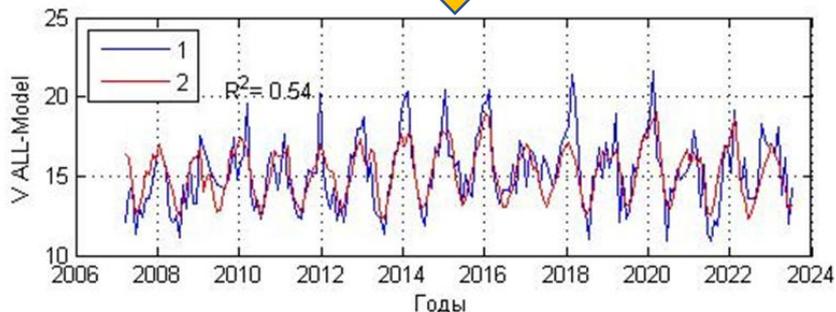
$$Y(t) = a_1 P_1(t) + a_2 P_2(t) + \dots + a_N P_N(t) + E(t).$$

- ❑ В качестве независимых переменных (  $Y$  ) выступают перечисленные выше характеристики поля ветра, рассчитанные по данным спутниковых измерений.
- ❑ В качестве предикторов (  $P$  ) используются следующие среднемесячные геофизические временные ряды:
  - ❑ квазизональные (усредненные по долготной области (70 W – 70 E) 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) по данным Arctic Data Archive System;
  - ❑ различные **индексы крупномасштабной атмосферной циркуляции** (NAO, AO, SOI, QBO и др.) по данным Центра прогнозов Национального управления по исследованию океана и атмосферы США.

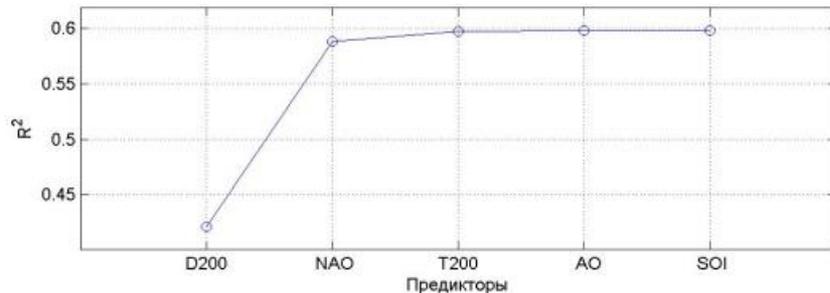
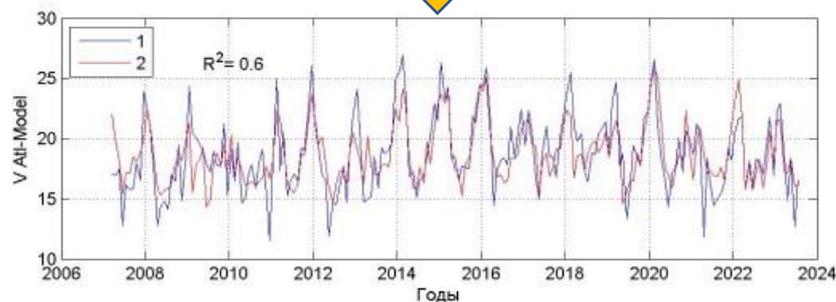
# Модель временной изменчивости скорости ветра в свободной атмосфере

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

Вся область



Атлантика

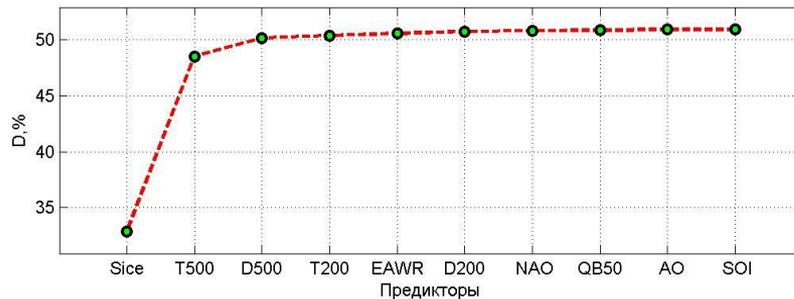
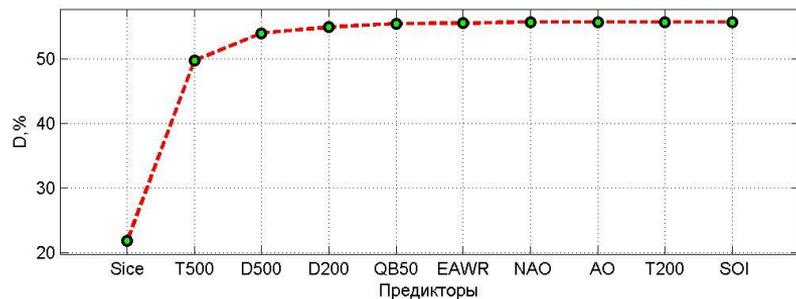
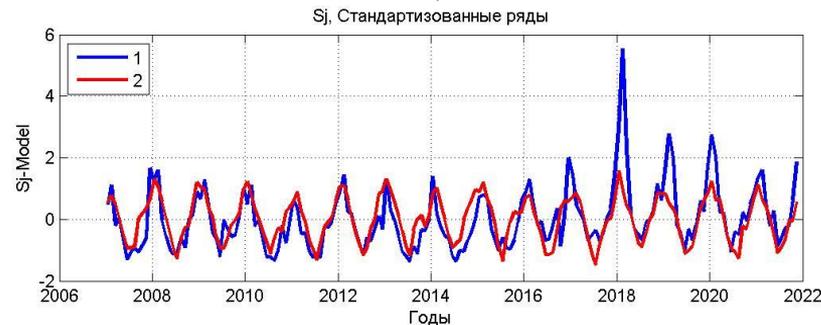


# Модель временной изменчивости характеристик высотных струйных течений

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

Широта центра СТ

Средняя площадь СТ

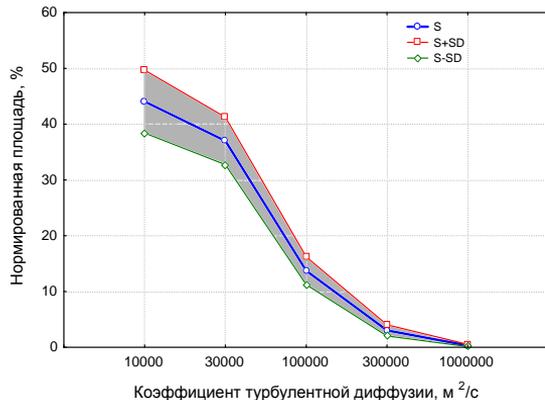
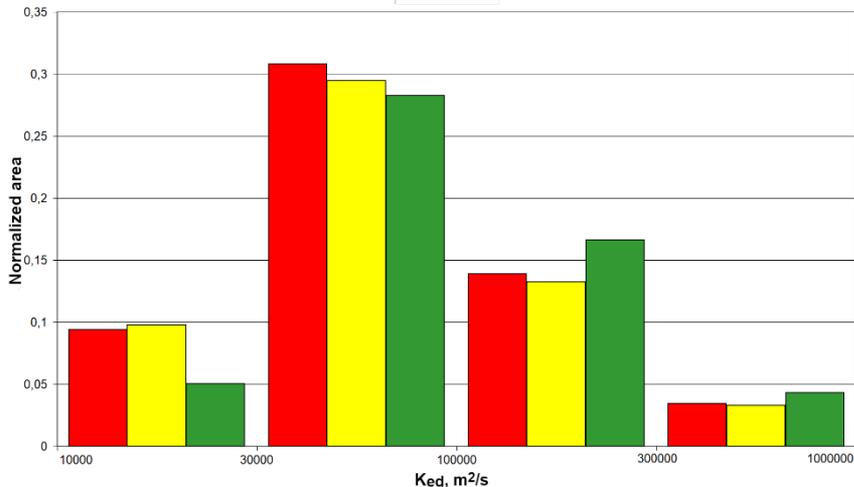


# Модель временной изменчивости параметров зон турбулентности

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



■ A ■ B ■ C



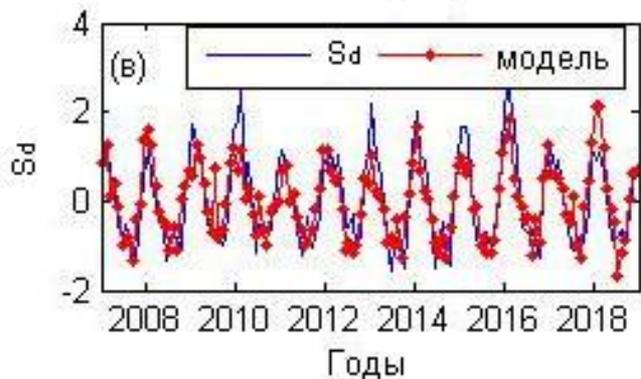
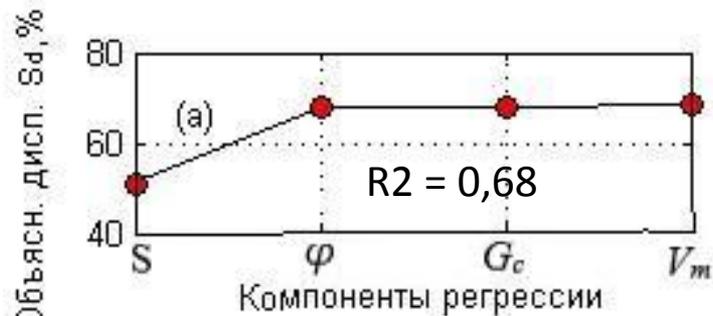
Зоны верхней тропосферы со значением  $K_d \geq 10^4 m^2/c$  могут занимать до 50 % видимой со спутника области Северного полушария

Градации турбулентности:

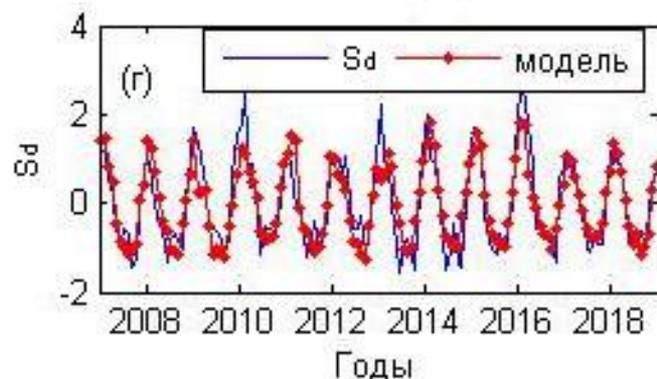
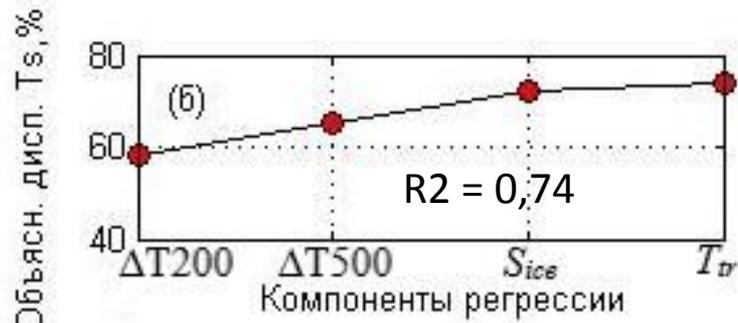
- Слабая :  $3 \times 10^4 m^2/c > K_d \geq 10^4 m^2/c$
- Умеренная:  $10^5 m^2/c > K_d \geq 3 \times 10^4 m^2/c$
- Сильная:  $3 \times 10^5 m^2/c > K_d \geq 10^5 m^2/c$
- Оч. сильная:  $10^6 m^2/c > K_d \geq 3 \times 10^5 m^2/c$

# Модель временной изменчивости параметров зон турбулентности

Предикторы –  
характеристики СТ



Предикторы –  
климатические параметры



- Используется модель **авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего** (ARIMA – AutoRegressive Integrated Moving Average).
- Модель представляет значения ряда, наблюдаемые в данный момент ( $x_t$ ), в виде конечной линейной комбинации предыдущих значений самого ряда и случайной ошибки ( $\varepsilon$ ) (авторегрессионный процесс), а также случайной ошибки и линейной комбинации предшествующих случайных ошибок (процесс скользящего среднего):

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

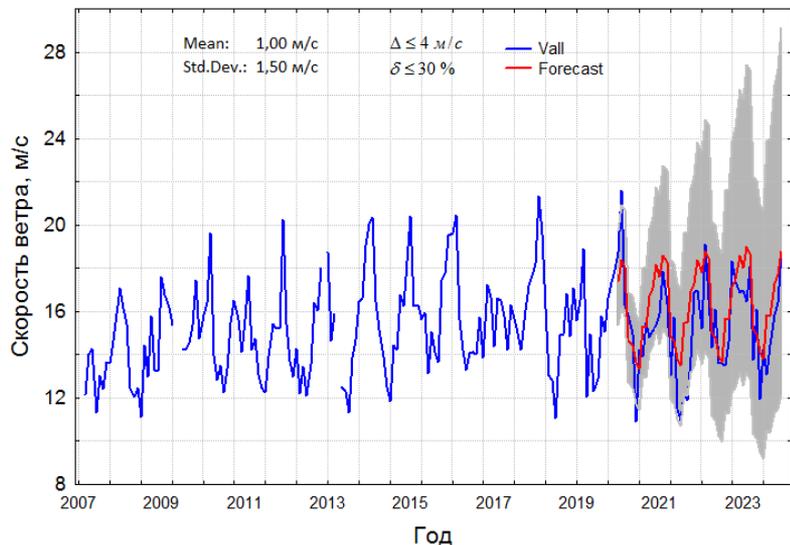
где  $\varphi$  и  $\theta$  – параметры модели,  $\xi$  и  $\mu$  – константы.

# Проверка модели прогноза на реальных данных и оценка ее точности

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



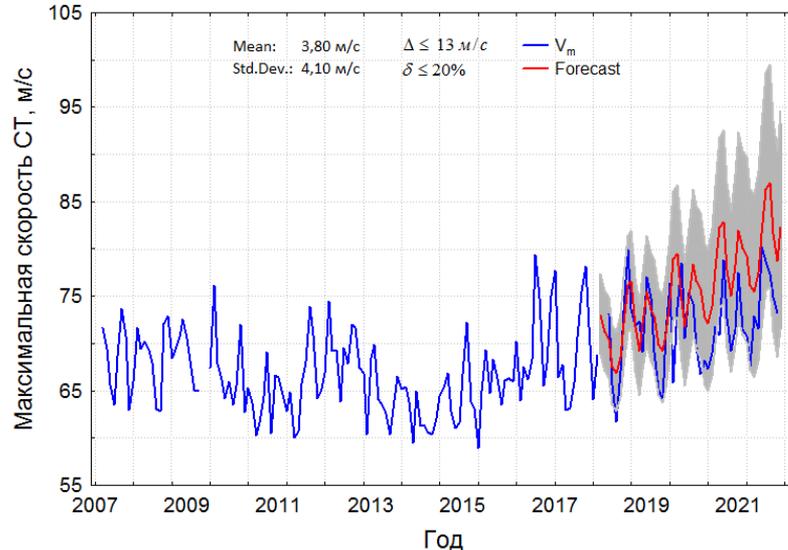
Сравнение оригинального ряда  $V_{all}$  и прогноза на 2020-2023 гг.



Сравнение реальных данных максимальной скорости СТ и прогноза на 4 года



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

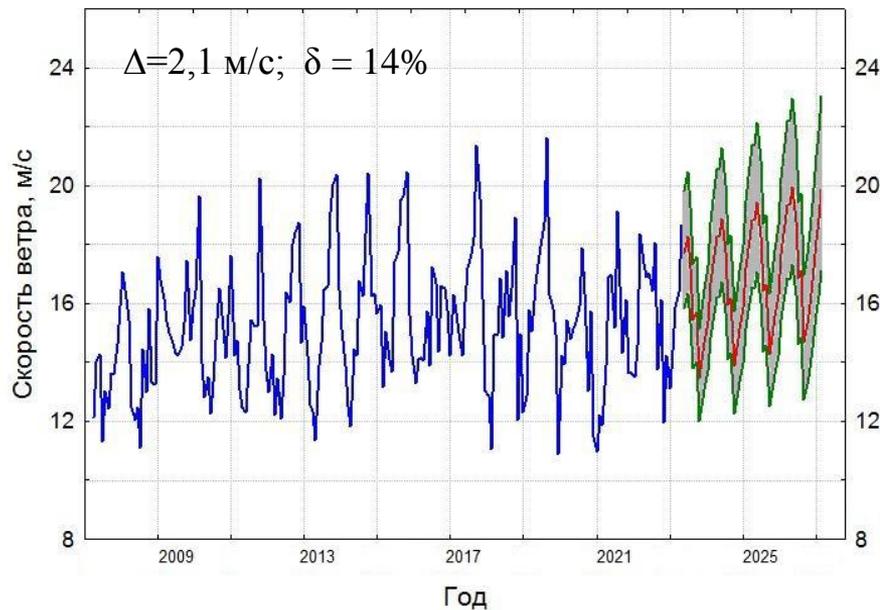


# Прогноз временной изменчивости скорости ветра

Прогноз ветра над  
всей областью



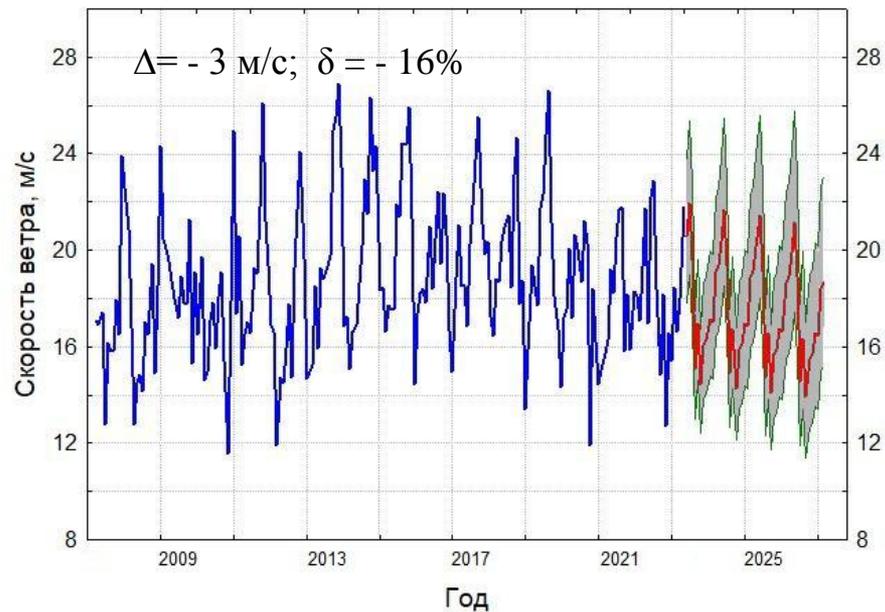
Оригинальный ряд Vall и прогноз на 2024-2027 гг.



Прогноз ветра над  
Атлантикой

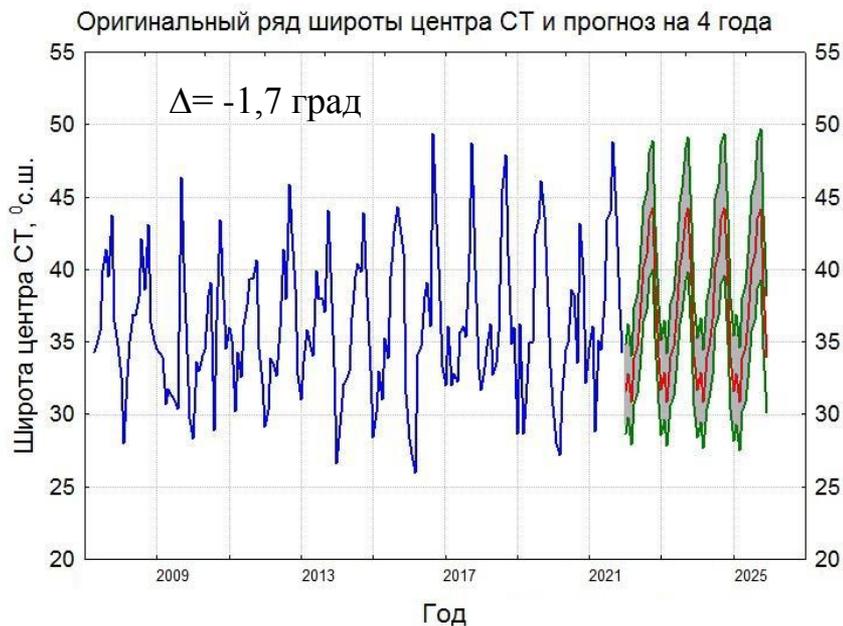


Оригинальный ряд VatI и прогноз на 2024-2027 гг.

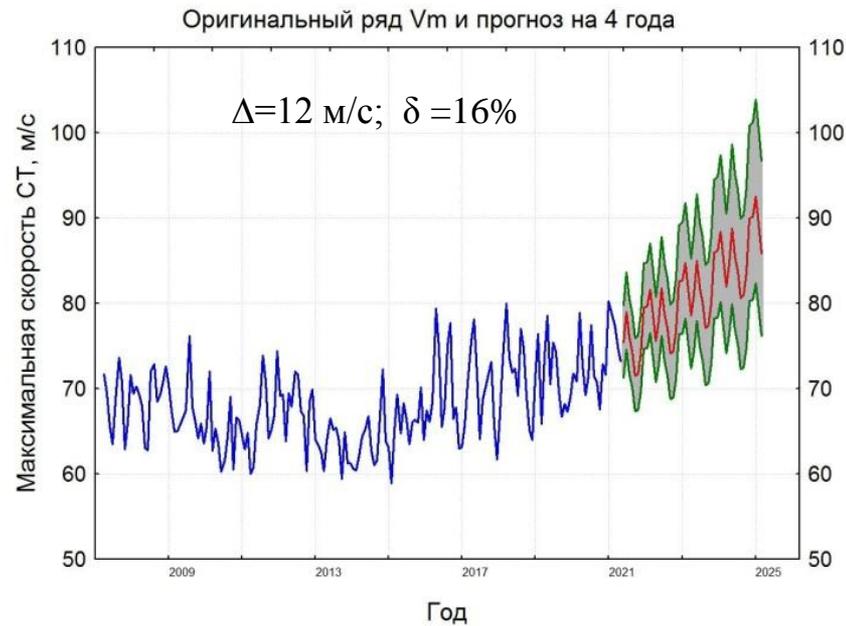


# Прогноз временной изменчивости характеристик СТ на 2022-2025 гг.

Прогноз широты  
центра СТ



Прогноз максимальной  
скорости СТ

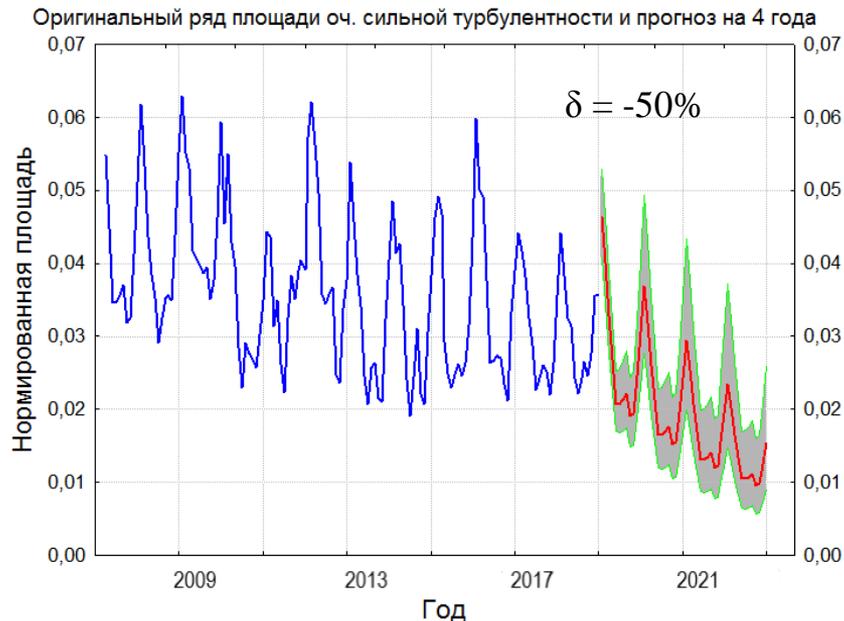


# Прогноз временной изменчивости характеристик турбулентности

Прогноз площади  
сильной ТЯН



Прогноз площади очень  
сильной ТЯН



# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- ❑ С помощью моделей множественной линейной регрессии 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% изменчивости указанных характеристик полей ветра.
- ❑ На основе модели авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего построены прогнозы скорости горизонтального ветра, характеристик струйных течений и площадей зон сильной и очень сильной турбулентности на 4 года и оценены их погрешности.

**Спасибо за внимание !**