


# КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ: НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В УСЛОВИЯХ НОВЫХ ВЫЗОВОВ

Докладчик: Стерин Александр Маркович, д. ф.-м. наук, главный научный сотрудник ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

---

*Участие в подготовке материалов: Н.Н. Коршунова, А.В. Хохлова, А.С. Лавров, Л.Ф. Козлова\**

\* Имеется слайд с перечнем ссылок

- 
- **Е.К. Федоров, Ю.А. Израэль, Г.В. Груза - Стержневое направление развития ВНИИГМИ-МЦД (видение, организация, реализация):** Принятие решений о создании, организация и развитие ВНИИГМИ-МЦД как центра, осуществляющего исследовательскую и технологическую цепь, начиная от сбора и накопления данных от систем наблюдения, включая статистическую обработку и анализ данных, формирование климатических информационных продуктов, баз и банков данных, и завершая научными исследованиями в области диагностики и прогнозирования климатических изменений
  - **«Бесшовная технология», цели: климатические исследования, мониторинг и обслуживание**
  - Реализация этих стратегических направлений деятельности ВНИИГМИ-МЦД продолжается и в настоящее время
  - **Девиз Всемирного метеорологического дня 23 марта 2026 года (подчёркивается важность данных наблюдений):**
  - **«Наблюдая сегодня, защищаем завтра».** Этот девиз напоминает нам, что из чисто описательной науки метеорология превратилась в фундаментальный инструмент прогнозирования и смягчения последствий глобальных изменений, от которых зависит безопасность и благополучие человечества.

## Г.В. Груза в период работы во ВНИИГМИ-МЦД



1977

# Все начиналось с данных



Я никогда не гадаю. Теоретизировать, не имея данных, — это грубейшая ошибка. Незаметно начинаешь искажать факты, чтобы они соответствовали теориям, вместо того, чтобы теории соответствовали фактам.

*Сэр Артур Конан Дойл, автор рассказов о Шерлоке Холмсе*

# Предвосхищая БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ и НАУКУ О ДАННЫХ



- Неоценимо сочетание у Г.В. Грузы профессионализма как в своей предметной области (метеорология, климатология, физика атмосферы), так и в области математики и статистики, в области информационных технологий.
- **Сейчас это объединяют в понятие DATA SCIENCE – НАУКИ О ДАННЫХ:**
- В конце 70-начале 80 годов под руководством и при участии Г. В. Грузы была создана в САНИИ и в САРВЦ (г. Ташкент) автоматизированная система сбора с каналов связи, обработки и архивации аэрологической информации (ведущий исполнитель -В.В. Майстрова, внедрение и эксплуатация– Е.Я.Раньков, А.И. Бедрицкий)
- ИНСТРУМЕНТАРИЙ для РАБОТЫ С ДАННЫМИ и ВЫПОЛНЕНИЯ ЭМПИРИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
- Под руководством Г В Груза разработан пакет специализированных программ ВЕСТА (Вероятностно-статистический анализ Данных), в нем реализованы многие расчетные методы СТАТИСТИЧЕСКОЙ КЛИМАТОЛОГИИ
- Г В Груза оказал значительное влияние на разработку Языка Описания Гидрометданных (ЯОД) и Системы Управления Гидрометеорологическими Данными (СУД АИСОРИ)
- Два направления работы с данными, мониторинга и анализа: приземные данные и аэрологические данные. Соответственно, во ВНИИГМИ возникли отделы климатологии и аэрологии

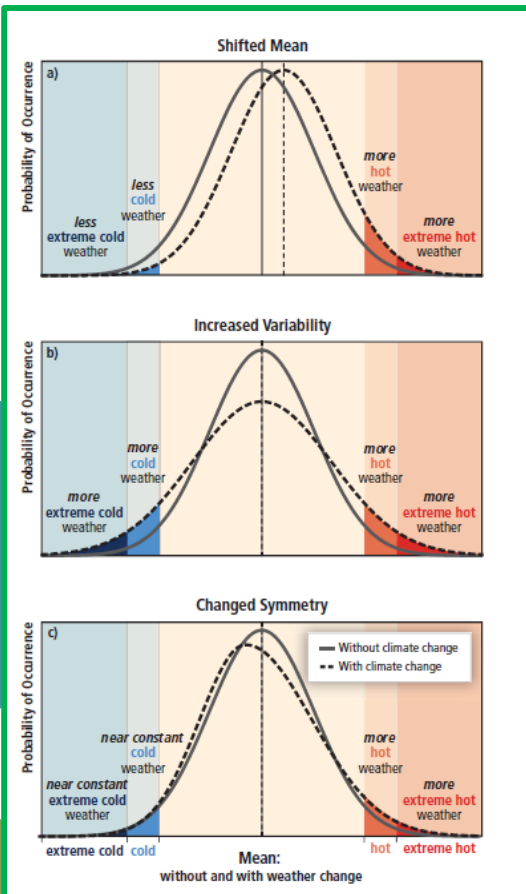
# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): приземные данные

## ВЫЗОВЫ

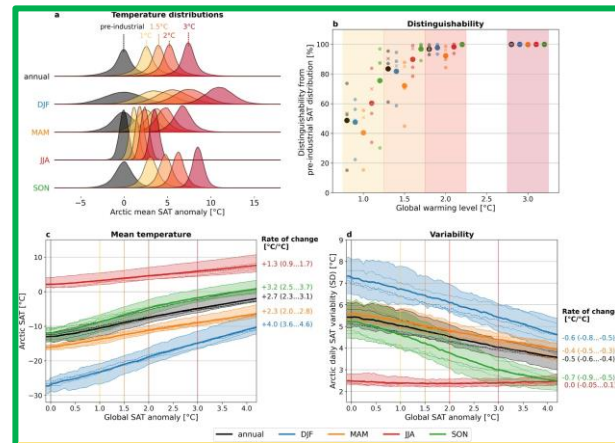
Рост частоты, интенсивности, пространственных масштабов экстремальных явлений, увеличение наносимых ущербов

### Экстремальные явления:

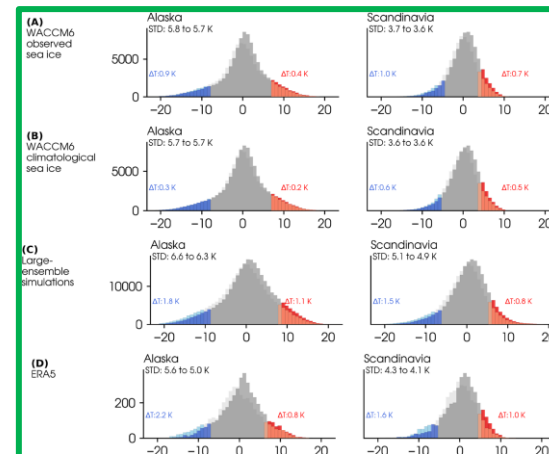
Наряду с анализом изменений средних значений, анализ изменений изменчивости  
Наряду с изменениями моментов первого и второго порядка нужна дальнейшая  
детализация: моменты высших порядков, квантили, детальная картина изменений  
плотности распределений, непараметрические методы статистики  
Выбор единиц измерений и их преобразования – тоже важны!



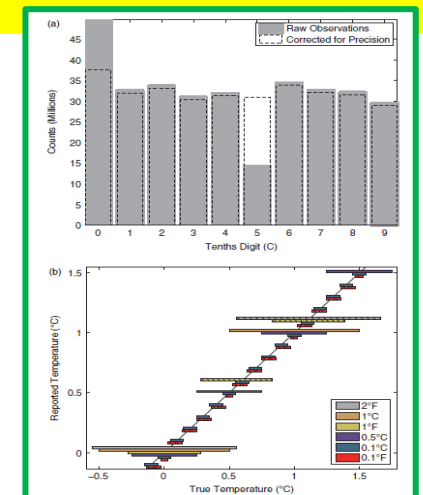
Источник: ОД 6 МГЭИК



Источник: Giesse et al., (2017): The Shifting Distribution of Arctic Daily Temperatures Under Global Warming - Future Earth



Источник: Siew et al. 2026: Detectable Human Influence... Atm.Sci.Letters



Источник: Rhines et al. 2015: Decoding the precision of historical temperature observations, QJRM, S

# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): приземные данные

## ВЫЗОВЫ

Рост частоты, интенсивности, пространственных масштабов экстремальных явлений, увеличение наносимых ущербов

Реанализы – сглаживают поля, и в особенности детальная картина изменений моментов высоких порядков и плотности распределений метеовеличин может существенно искажаться

В ряде публикаций последних лет отмечается необходимость использования постанционных данных  
Интерес к постанционным данным не уменьшается, наоборот, восстанавливается!

Итак: сейчас тем более рано полностью переходить к реанализам, утверждая при этом, что работаем с ДАННЫМИ!

## ВЫЗОВЫ

Рост частоты, интенсивности, пространственных масштабов экстремальных явлений, увеличение наносимых ущербов

Для многих современных методов анализа и моделирования желательно иметь числовые характеристики гидрометеорологических процессов и явлений

Однако в данных относительно многих явлений – лишь бинарные ответы: ДА\НЕТ, либо две-три градации

# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

Вызовы:

Тропосферное усиление трендов температуры в тропической зоне

В последних исследованиях показано улучшение соответствия оценок положительных трендов в верхней тропосфере в тропиках, рассчитанных на основе наблюдений, результатам моделирования

Улучшение соответствия показано для спутниковых данных наблюдений

Улучшение соответствия показано для радиозатменных данных

**Нет пока убедительного соответствия для радиозондовых данных!!**

Что скажет по этому поводу ОД 7 МГЭИК?

Источник: Keil, P. (2023).

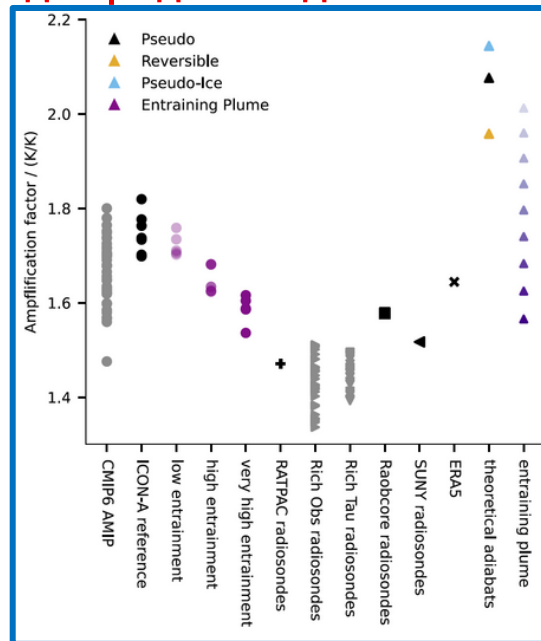
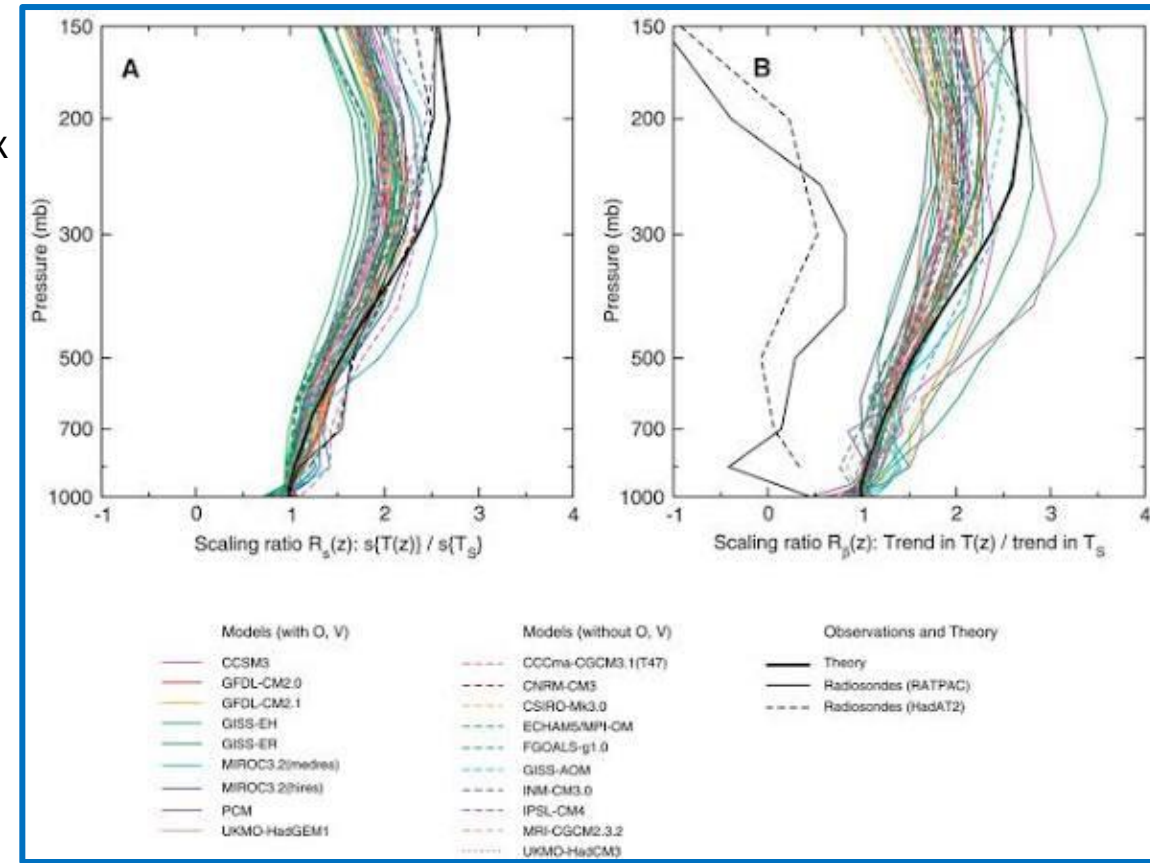


Figure from Keil (2023)



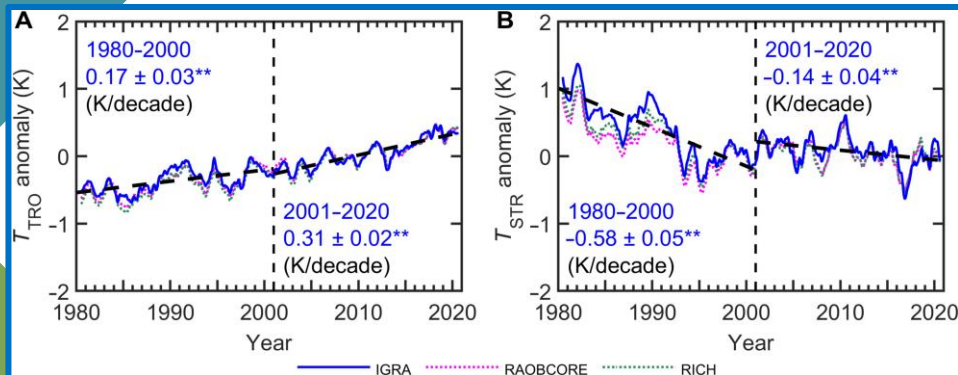
Источник: Santer B., et al. (2005): Amplification of surface temperature trends and variability in the tropical atmosphere/.Science

# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

## Вызовы:

Подтверждение трех важнейших сигналов климатических изменений температуры в атмосфере при анализе радиозондовых данных

1. Потепление в тропосфере (антропогенный процесс, эмиссия парниковых газов). Происходит в 21 веке с увеличивающейся скоростью
2. Значительное похолодание в нижней стратосфере до конца 90-х годов прошлого века (антропогенный процесс - разрушение озонового слоя, сохранение баланса между тропосферой и стратосферой).
3. Перелом на рубеже веков : значительное уменьшение скорости похолодания в нижней стратосфере в 21 веке (существенное уменьшение эмиссии озоноразрушающих веществ, влияние теплеющей с увеличивающейся скоростью тропосферы)



Источник: **Meng et al., Sci. Adv. 7, eabi8065 (2021) 5 November 2021**

В том числе для H -высоты НГТ:

A. Trends in the natural variability-removed time series			
Trend	Data source	1980–2000	2001–2020
<u>H (m/decade)</u>	IGRA2	50.3 ± 7.2	53.3 ± 6.7
	✓ GPS RO	–	44.4 ± 8.1
	RAOBCORE	83.7 ± 7.2	76.9 ± 9.4
	RICH	74.0 ± 7.0	79.8 ± 9.9
T <sub>TRO</sub> (K/decade)	IGRA2	0.17 ± 0.03	0.31 ± 0.02
	RAOBCORE	0.20 ± 0.03	0.29 ± 0.02
	RICH	0.20 ± 0.03	0.33 ± 0.02
T <sub>STR</sub> (K/decade)	IGRA2	–0.58 ± 0.05	–0.14 ± 0.04
	RAOBCORE	–0.41 ± 0.05	–0.14 ± 0.04
	RICH	–0.44 ± 0.05	–0.10 ± 0.04

B. Trends in the original time series			
Trend	Data source	1980–2000	2001–2020
<u>H (m/decade)</u>	IGRA2	57.8 ± 9.8	58.8 ± 10.4
	✓ GPS RO	–	56.8 ± 12.1
	RAOBCORE	102.2 ± 12.4	75.0 ± 10.9
	RICH	92.2 ± 12.8	78.4 ± 11.6
T <sub>TRO</sub> (K/decade)	IGRA2	0.18 ± 0.04	0.34 ± 0.04
	RAOBCORE	0.22 ± 0.04	0.32 ± 0.04
	RICH	0.23 ± 0.04	0.36 ± 0.03
T <sub>STR</sub> (K/decade)	IGRA2	–0.72 ± 0.08	–0.09 ± 0.06
	RAOBCORE	–0.52 ± 0.07	–0.13 ± 0.06
	RICH	–0.56 ± 0.07	–0.09 ± 0.06

Источник: **Meng L., et al., (2021)**

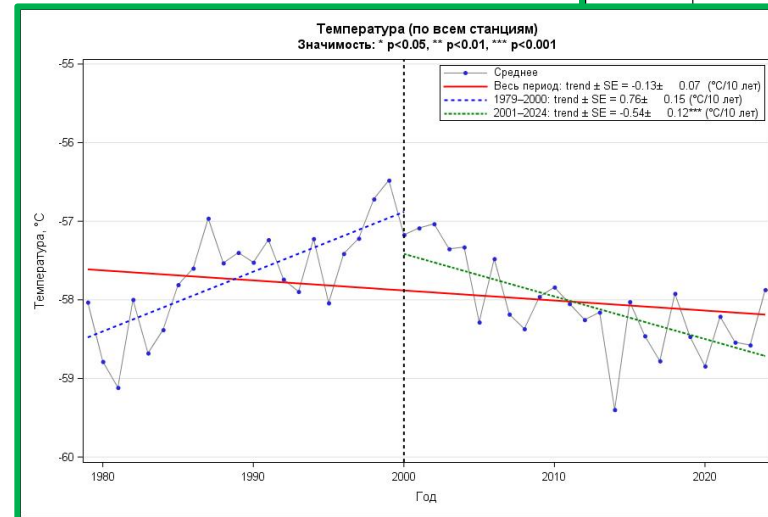
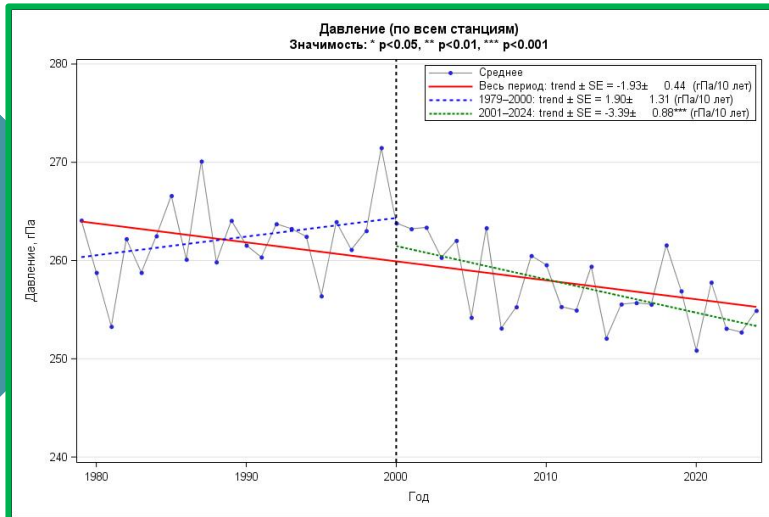
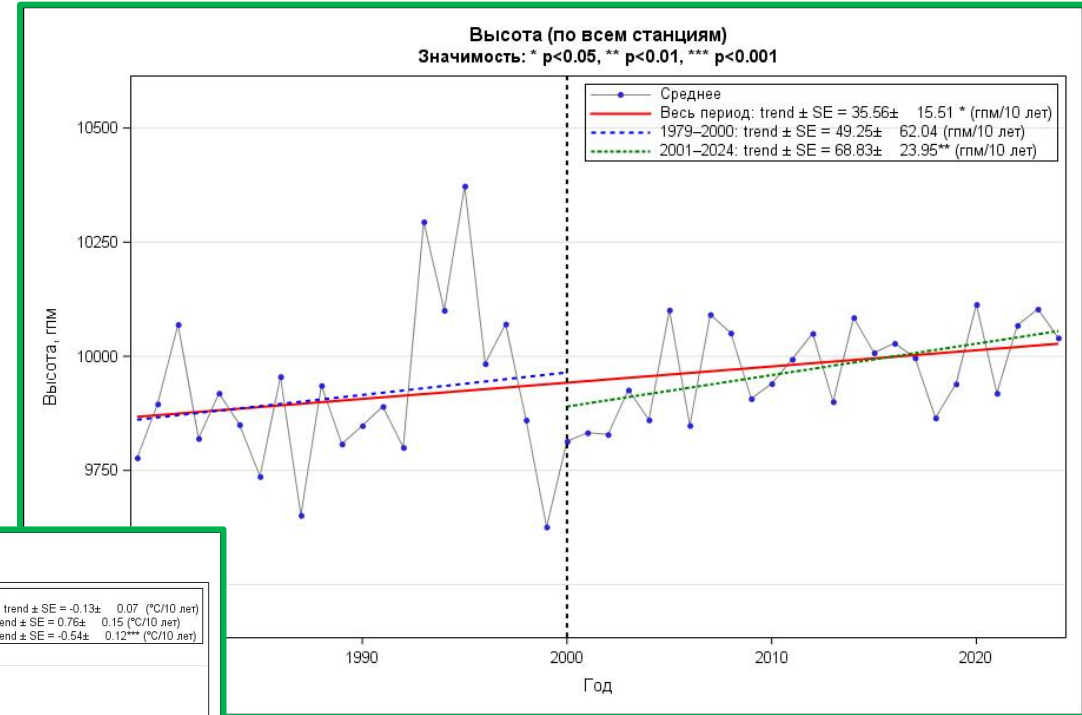
# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

## Вызовы:

Подтверждение важнейших сигналов температуры в атмосфере при анализе радиозондовых данных

GPS RO - Еще один независимый источник подтверждает существующие представления о процессах потепления и похолодания в свободной атмосфере

Изменения характеристик тропопаузы (в том числе на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ)) – хороший индикатор важнейших изменений в свободной атмосфере!



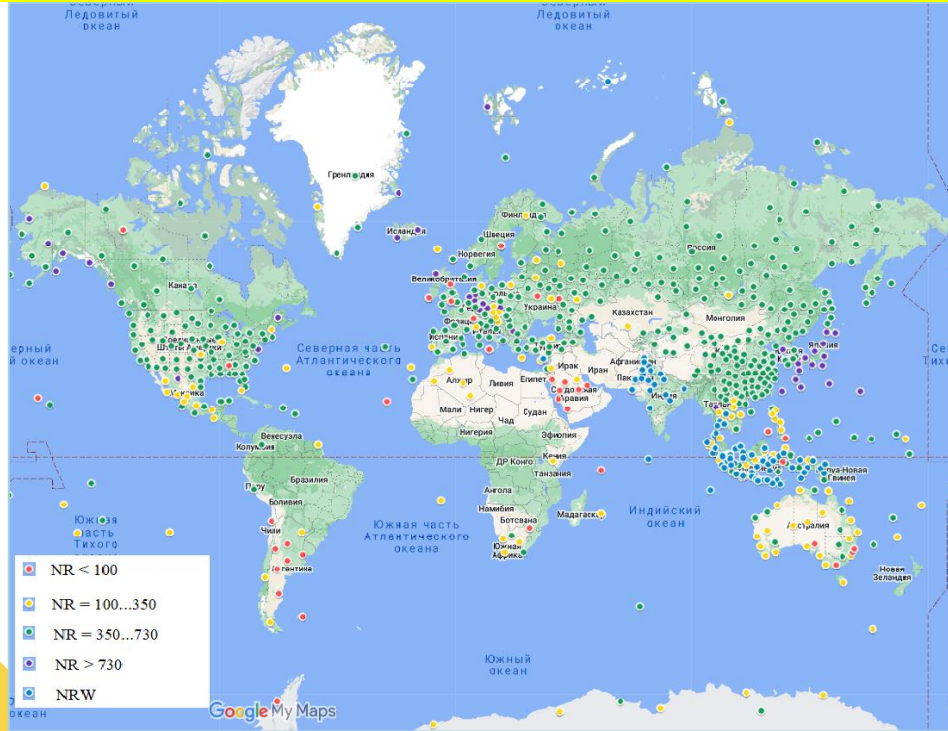
# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

(Источник: А.В. Хохлова и др.)

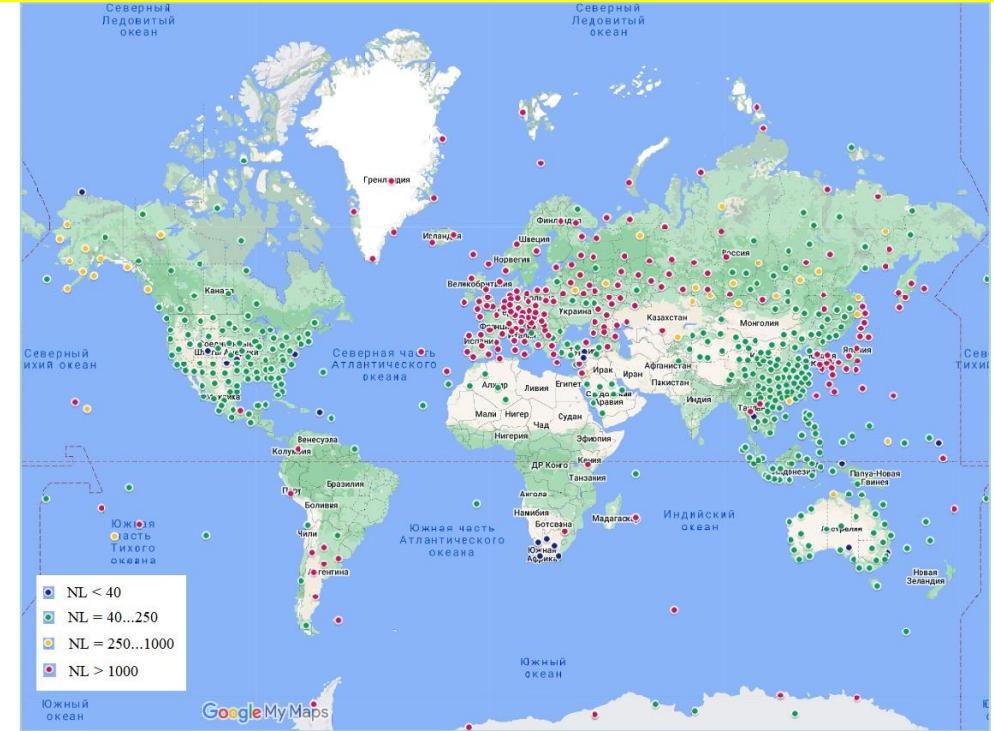
## Вызовы:

Необходимость детализации вертикальной структуры профилей характеристик атмосферы

Решение проблемы – данные Высокого Вертикального Разрешения (ВВР) – они распространяются в ТОКФ (Таблично Ориентированные Кодовые Формы)



Количество наблюдений в таблично-ориентированных кодах за 2021 год на аэрологических станциях, NR – радиозондовые наблюдения, NRW – станции, выполняющие только радиопилотные наблюдения  
The number of observations in BUFR codes for 2021 at aerological stations, NR – radiosonde observations, NRW – stations that perform only radio pilot observations



Среднее за 2021 год количество уровней NL, на которых выполнены измерения, в аэрологических сводках в ТОКФ по станциям  
The average number of levels NL for 2021, at which measurements were made, in the aerological reports in the TDCF

# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

(Источник: А.В. Хохлова и др.)

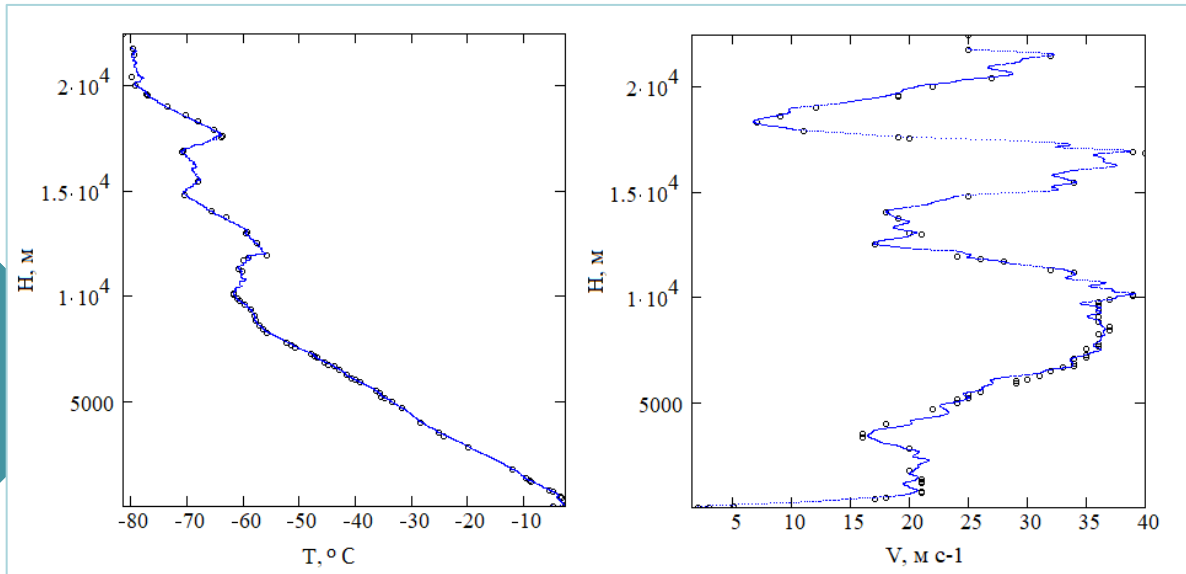
## Вызовы:

Необходимость детализации вертикальной структуры профилей характеристик атмосферы

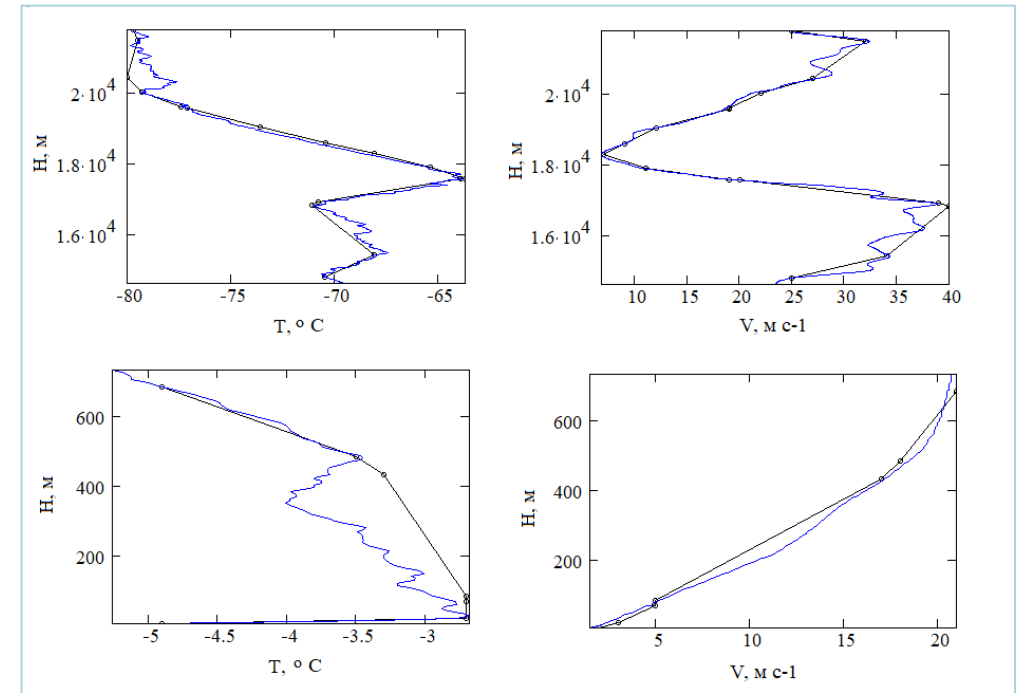
ТОКФ – Таблично ориентированный кодовый формат (формы)

Переход на ТОКФ, сбор, архивация и обработка данных ТОКФ. Данные ВВР (Высокого Вертикального Разрешения)

**Данные ВВР:** ТОКФ - возможность усвоения данных высокого вертикального разрешения (ВВР)  
Обычное количество уровней в зондировании составляет 60-100, объем одного 1 файла массива за месяц – 120-140 Мб,  
В одном зондировании ВВР - несколько тысяч уровней, Объем 1 файла массива АЭРОБАФР за месяц - 3,0-3,5 Гб.



Полные профили температуры (слева) и скорости ветра (справа) за срок 00 час 01.12.2019 для станции 02365 (Сундсваль, Швеция) по данным ВВР (синие точки) и ТАК (черные кружки)



Отдельные участки профилей температуры (слева) и скорости ветра (справа) за срок 00 час 01.12.2019 для станции 02365 (Сундсваль, Швеция) по данным ВВР (синие точки) и ТАК (черные кружки)

# Большие объемы данных (действительно, BIG DATA): аэрологические данные

(Источник: А.В. Хохлова и др.)

## Вызовы:

Необходимость детализации вертикальной структуры профилей характеристик атмосферы

ТОКФ – Таблично ориентированный кодовый формат (формы)

Переход на ТОКФ, сбор, архивация и обработка данных ТОКФ. Данные ВВР (Высокого Вертикального Разрешения)

Месяц	Повторяемость %		Мощность, м		Интенсивность, °С	
	Традиц.	ВВР	Традиц.	ВВР	Традиц.	ВВР
1	44.5	57.8	254	45	3.7	2.4
2	39.6	50.6	319	55	3.8	2.4
3	28.3	45.5	240	54	3.3	2.1
4	30.8	43.6	274	66	4.8	2.3
5	34.2	49.4	299	57	3.5	1.6
6	33.8	50.3	282	66	4.0	2.4
7	32.7	40.4	208	58	2.7	1.6
8	28.7	34.5	221	60	2.4	1.7
9	22.5	28.9	327	46	2.2	1.4
10	23.8	22.5	314	62	2.7	2.2
11	29.4	42.7	233	41	2.6	1.3
12	39.1	63.0	364	46	3.6	1.8

Месяц	Повторяемость		Мощность, м		Интенсивность, С		Выс. НГ, м	
	Тради.	ВВР	Тради.	ВВР	Тради	ВВР	Традиц.	ВВР
1	36.0	42.2	321	42	2.6	0.7	503	463
2	38.1	49.4	423	49	2.5	0.7	609	255
3	29.9	54.5	350	55	2.0	0.1	809	508
4	24.5	56.4	301	56	2.0	0.3	860	785
5	18.0	50.5	308	51	0.9	0.1	958	433
6	30.4	49.7	370	50	1.6	0.2	704	382
7	13.3	59.6	266	60	1.0	0.3	842	360
8	17.1	65.5	290	66	1.2	0.2	743	387
9	17.6	71.1	611	71	1.2	0.2	793	504
10	20.3	77.5	395	78	1.4	0.4	665	355
11	52.0	57.3	378	57	2.5	0.2	637	233
12	44.9	37.0	343	37	2.6	0.9	796	193

Характеристики приземных инверсий, станция 02365, период 2019-2021 гг.  
Characteristics of surface inversions, station 02365, period 2019-2021

Характеристики приподнятых инверсий, станция 02365, период 2019-2021 гг.  
Characteristics of elevated inversions, station 02365, period 2019-2021

Данные высокого вертикального разрешения (ВВР) - новый материал для исследования свойств атмосферы. Сравнение отдельных характеристик атмосферы по традиционному зондированию и по данным ВВР из сводок в ТОКФ показало, что основные характеристики практически совпадают. В то же время благодаря измерениям ВВР можно видеть, что атмосфера расслоена значительно сильнее, чем можно было видеть ранее. В частности, параметры температурных инверсий по данным ВВР оказываются существенно отличны. Однако работа с данными ВВР из ТОКФ ресурсоемка, обработка большого числа станций для ВВР – затруднительна – техническая проблема!!

# Перечень использованных источников

- Хохлова А.В., и др. (2022):** Архивация аэрологических данных в таблично-ориентированных кодовых формах: некоторые результаты. *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2022, т. 8, № 3, с. 88-103.
- Giesse, C., Notz, D., & Baehr, J. (2024).** The shifting distribution of Arctic daily temperatures under global warming. *Earth's Future*, 12, e2024EF004961. <https://doi.org/10.1029/2024EF004961>
- Meng L., et al., (2021):** Continuous rise of the tropopause in the Northern Hemisphere over 1980–2020/ *Sci. Adv.* **7**, eabi8065 (2021) 5 November 2021
- Rhines, Andrew, Martin P. Tingley, Karen A. McKinnon and Peter Huybers. (2015):** Decoding the precision of historical temperature observations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141: 2923–2933, October 2015 B DOI:10.1002/qj.2612
- Santer B.D., et al. (2005):** Amplification of surface temperature trends and variability in the tropical atmosphere DOI: 10.1126/science.1114867 *Science* 309, 1551 (2005);
- Siew, P. Yu F., Wu Yutian, Screen J. (2025).** Detectable Human Influence on Reduced Day-to-Day Temperature Variability in the Cold Season Driven by Arctic Sea-Ice Loss. *Atmospheric Science Letters Research Article*, 10 pp.
- Keil, P. (2023).** Tropical tropospheric temperatures, warming and involved mechanisms. PhD Thesis, Universität Hamburg, Hamburg. [doi:10.17617/2.3509472](https://doi.org/10.17617/2.3509472).

**Спасибо!**

---

