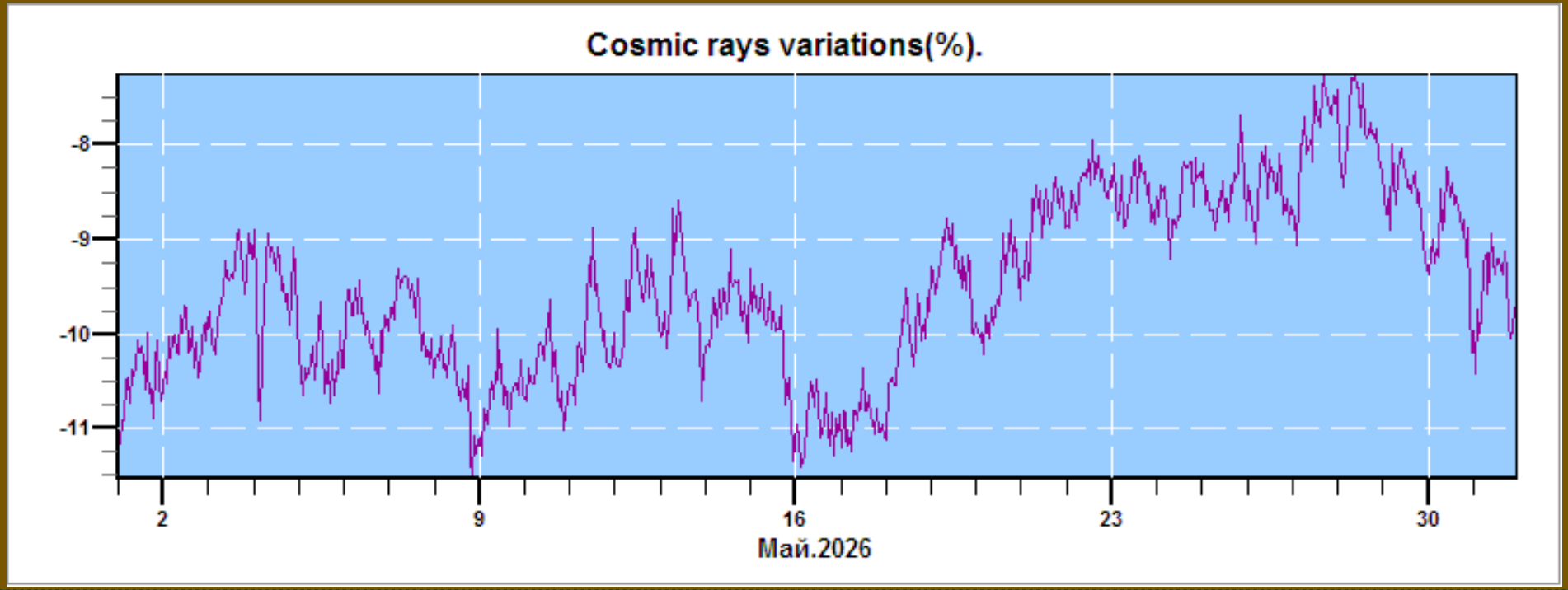
Особенности солнечно-суточной анизотропии космических лучей по данным низкоширотного нейтронного монитора ст. Афины

Н. С. Шлык, А. В. Белов,
В. Г. Янке, М. А. Абунина

ИЗМИРАН

Солнечно-суточная анизотропия космических лучей (КЛ)

- От Thompson (1939), Duperier (1946), Forbush (1969) до наших дней
- Проявление солнечной цикличности и Форбуш-эффекты
- Данные с наземных детекторов, ионизационных камер и аэростатов



НМ MOSC, http://cr0.izmiran.ru/mosc/

Методы выделения солнечно-суточной анизотропии КЛ

Локальные

- Гармонический/Фурье анализ данных отдельных детекторов
- Patel et al., 1968; Forbush, 1973; Mathews et al., 1969 …

Глобальные

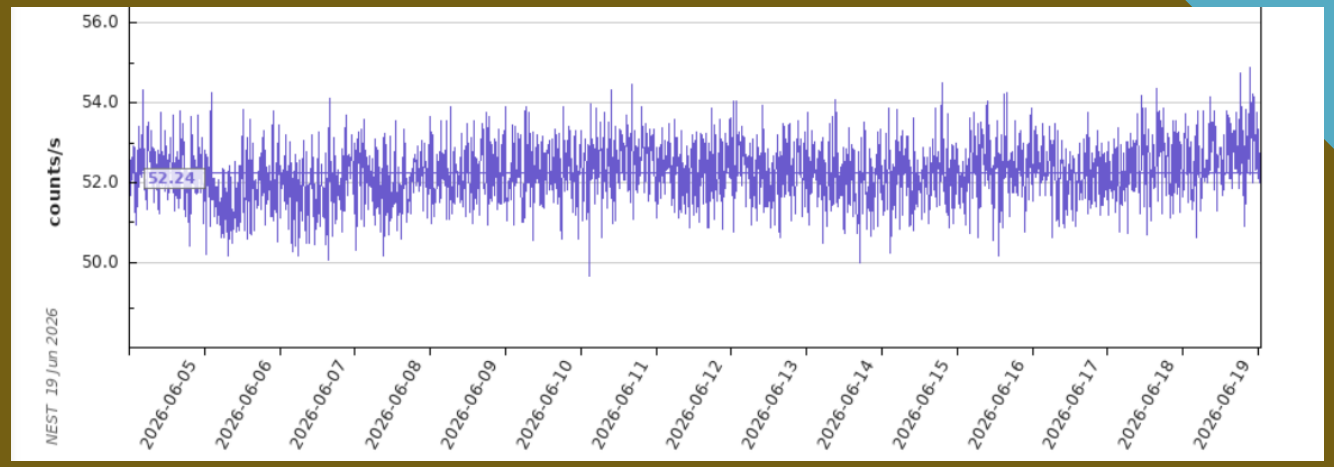
- Моделирование на основе данных мировой сети детекторов
- Krymsky et al., 1966; Nagashima, 1971; Belov et al., 1973 …

Задачи работы

- Применить ранее разработанный метод выделения солнечно-суточной анизотропии КЛ для данных ст. НМ Афины с 2000 по 2025 гг.
- Сравнить полученные характеристики анизотропии КЛ с результатами применения локального метода к данными других станций и метода глобальной съёмки для 10 ГВ частиц.

Нейтронный монитор ст. Афины NM ATHN

- В работе с ноября 2001 г. по настоящее время
- 6 счетчиков NM64
- Минутные и часовые данные доступны в реальном времени http://cosray.phys.uoa.gr/
- 37°58' N - 23°47' E, высота 260 м
- Жесткость 8.53 ГВ



Белов А.В. и др. Выделение солнечно-суточной анизотропии космических лучей локальным и глобальным методами // Геомагнетизм и Аэрономия. – Т. 63. – № 3. – С.306–320 – 2023. https://doi.org/10.31857/S0016794022600594

Основные шаги

Сглаживание скорости счета НМ

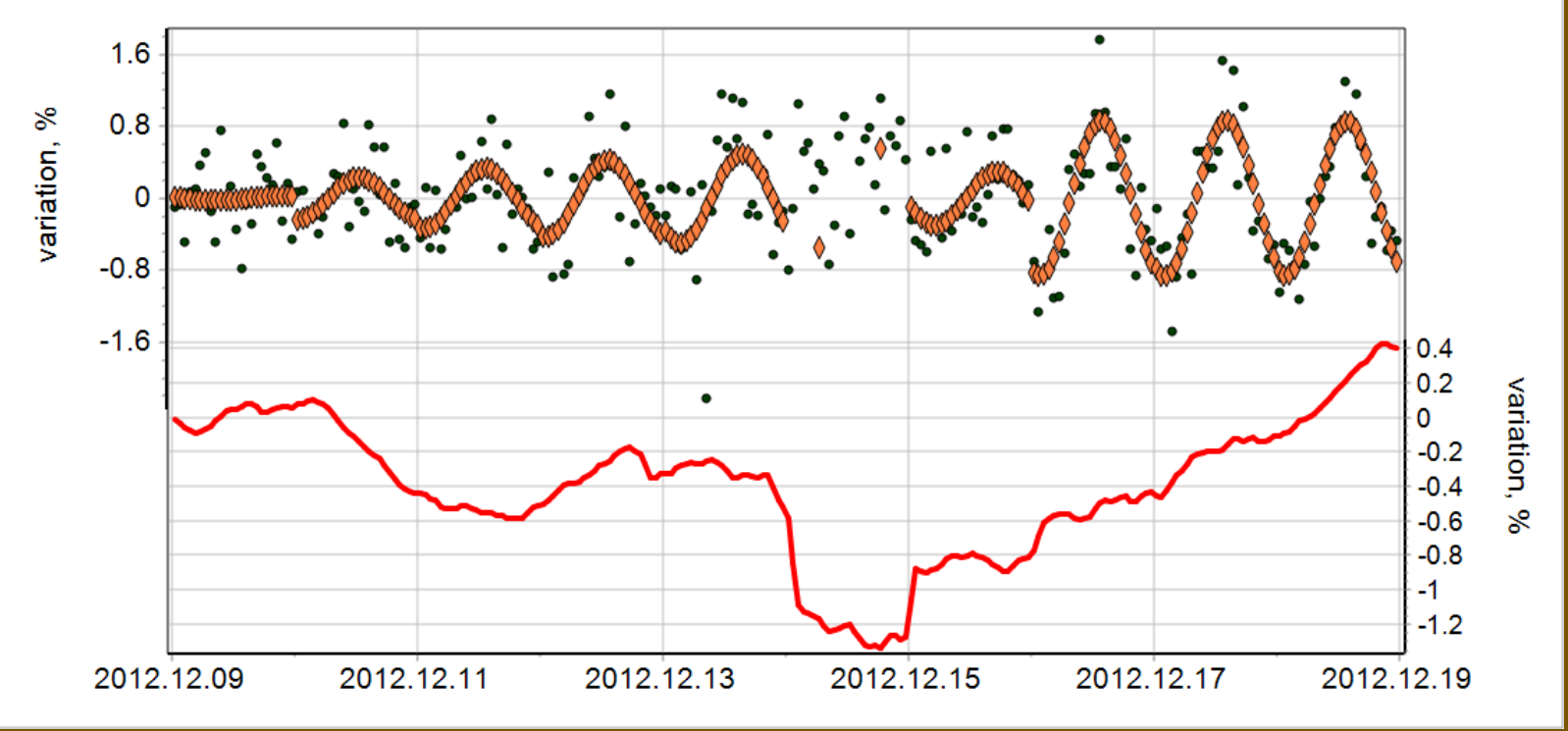
Гармонический анализ (2 гармоники)

Расчет дисперсии между ожидаемой и наблюдаемой вариацией

Исключение дней с большой дисперсией

Исключение нелинейности в изотропной части вариаций

Сглаживание скорости счета и гармонический анализ



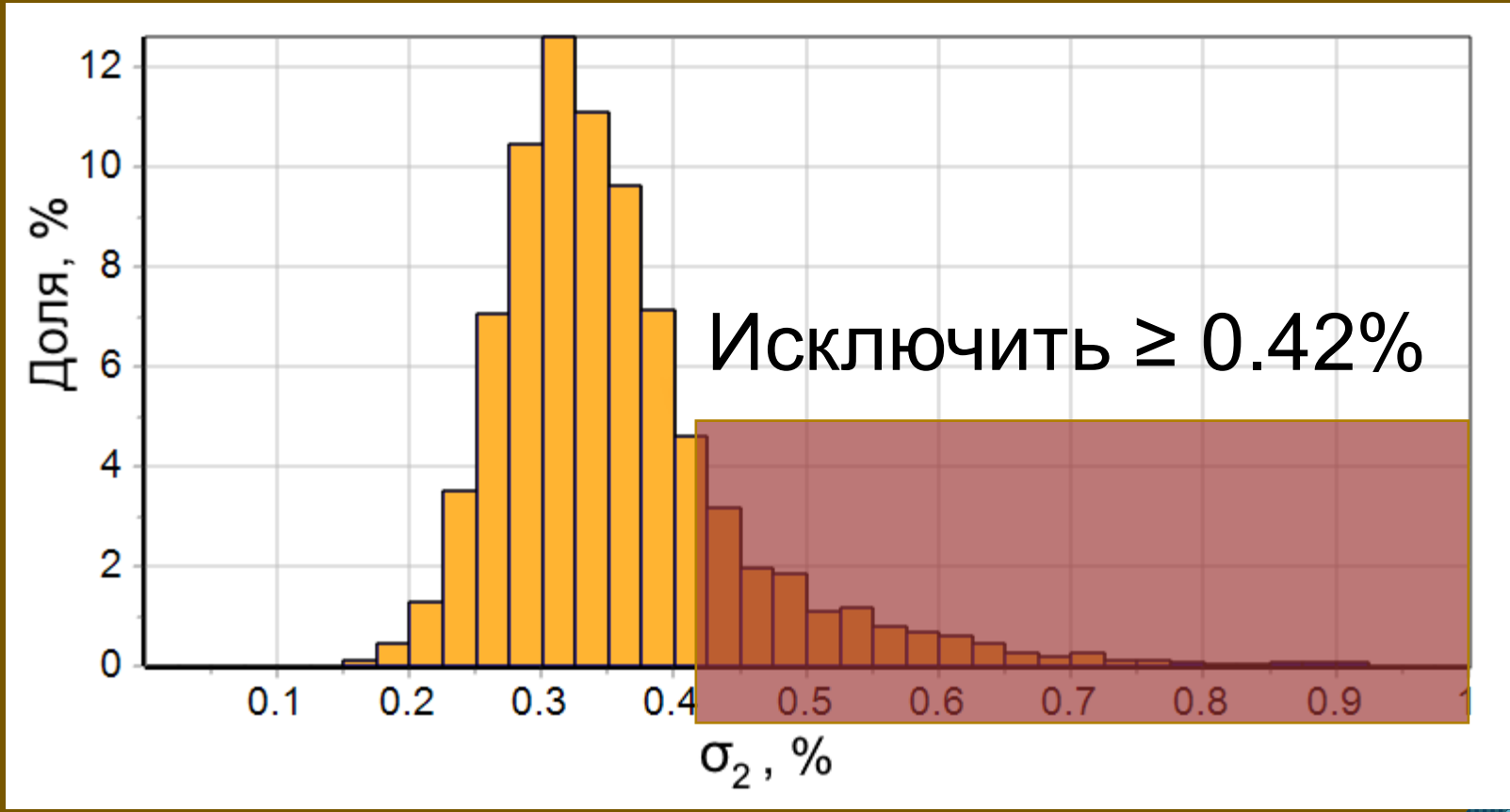
$$\delta_k = c_0 + c_1\cos(\varphi_k) + c_2\sin(\varphi_k) + c_3\cos(2\varphi_k) + c_4\sin(2\varphi_k),$$

$$\delta_k^{obs} = \frac{N(k) - N_R(k)}{N_R(k)} \times 100\%.$$

Скорость счета НМ, сглаженная за 24 часа (нижняя кривая), результат гармонического анализа (ромбы) и средние почасовые отклонения от него (черные точки - изменения скорости счета).

Расчет дисперсии и исключение возмущенных дней

$$D = \sigma_2^2 = \frac{1}{19}\sum_{k=1}^{24}(\delta_k^{obs} - \delta_k)^2$$



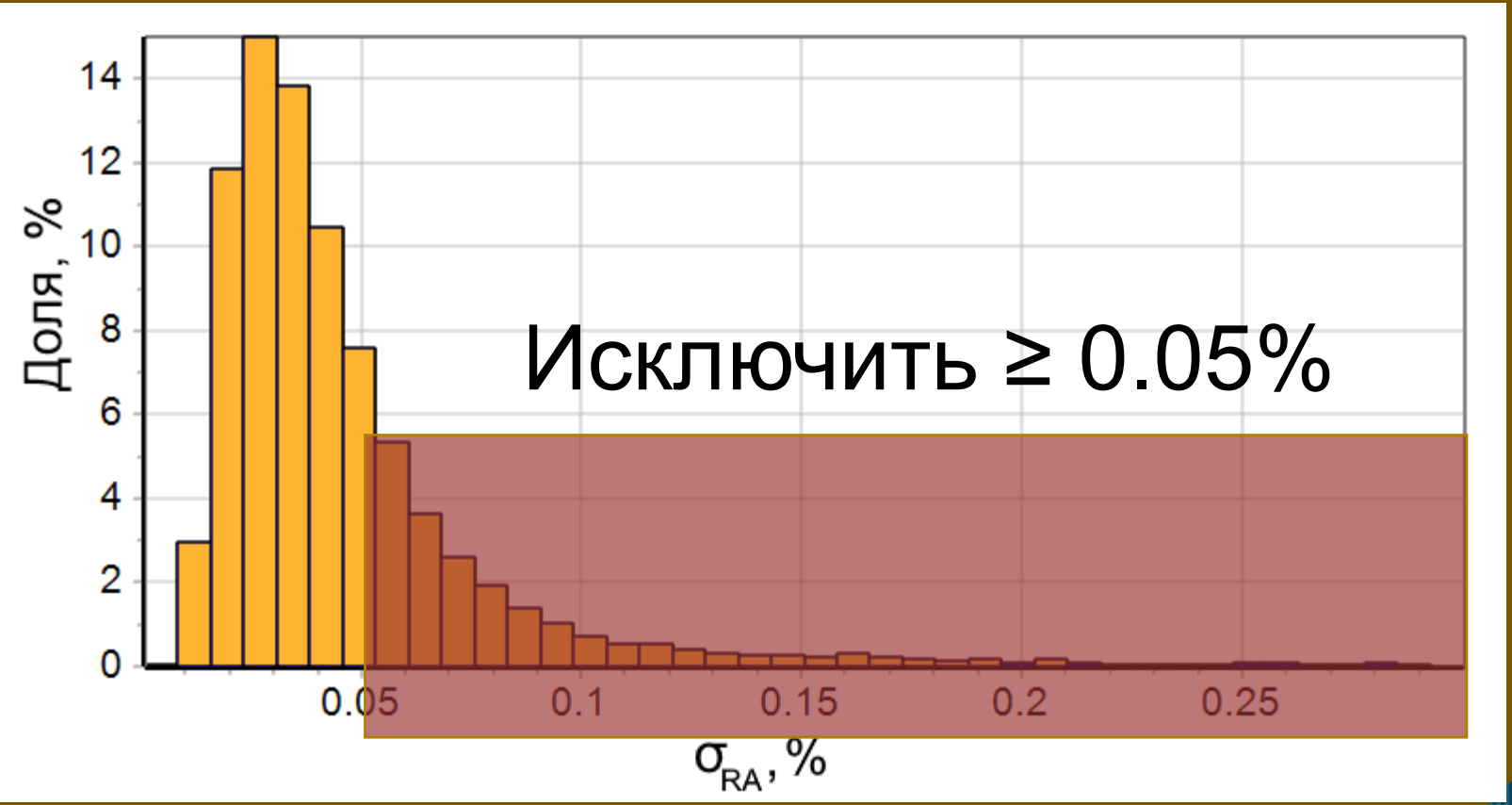
Распределение величины дисперсии σ_2 для всех (9860) дней работы НМ ATHN

Исключение нелинейности в изотропной части вариаций

$$N = N_0 + b(t_k - 12),$$

$$\delta_r = \frac{N - N_0}{N_0} \times 100\%$$

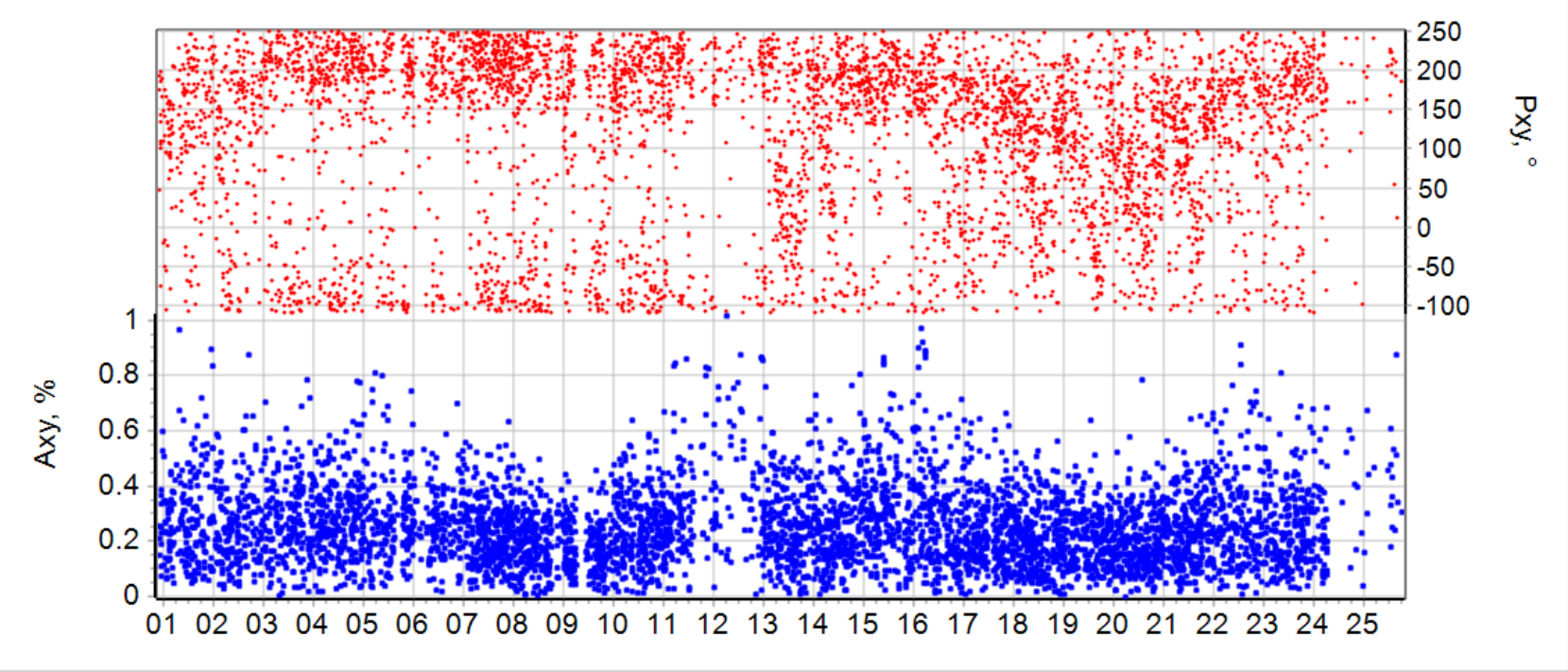
$$\sigma_{ra}^2 = \frac{1}{22}\sum_{k=1}^{24} \delta_r^2(t_k).$$



Распределение величины дисперсии σ_{ra} для всех (9860) дней работы НМ ATHN

$$Axy = \sqrt{A_x^2 + A_y^2},$$

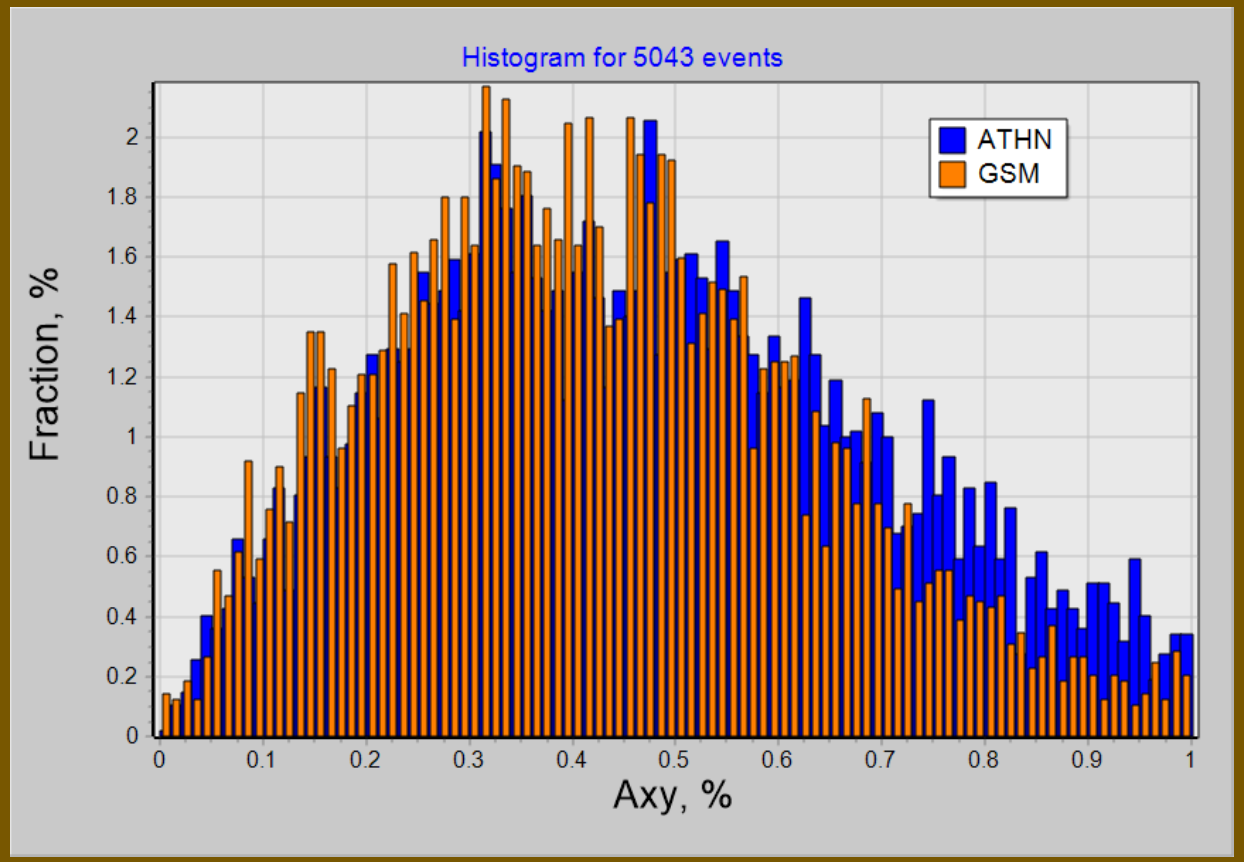
$$Pxy = \arctan \frac{A_y}{A_x},$$

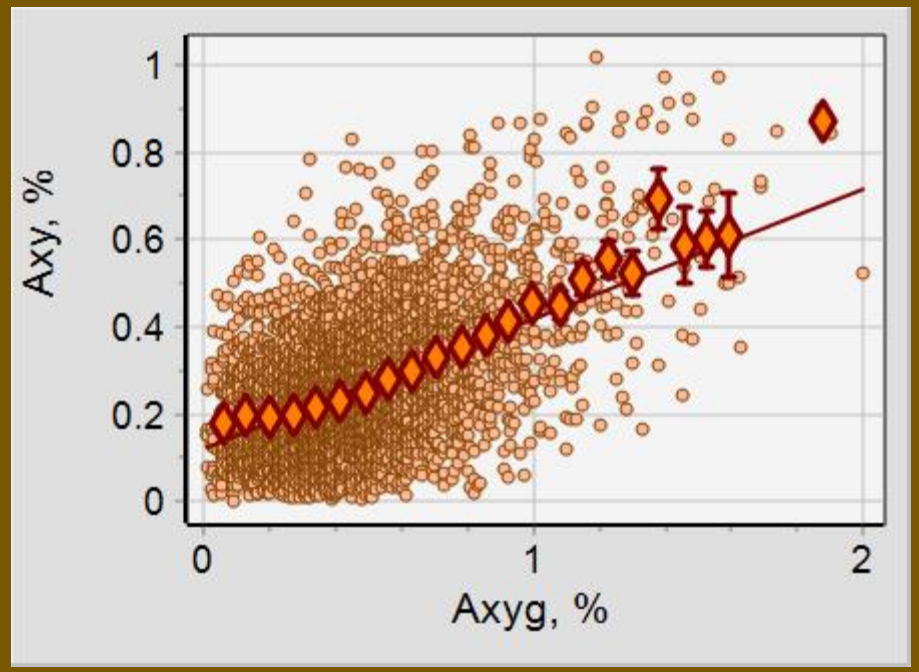


Амплитуда и фаза первой гармоники анизотропии КЛ для НМ ATHN за 2001-2025 гг.

Спокойные дни (5043 из 9860) ≈ **51 %**

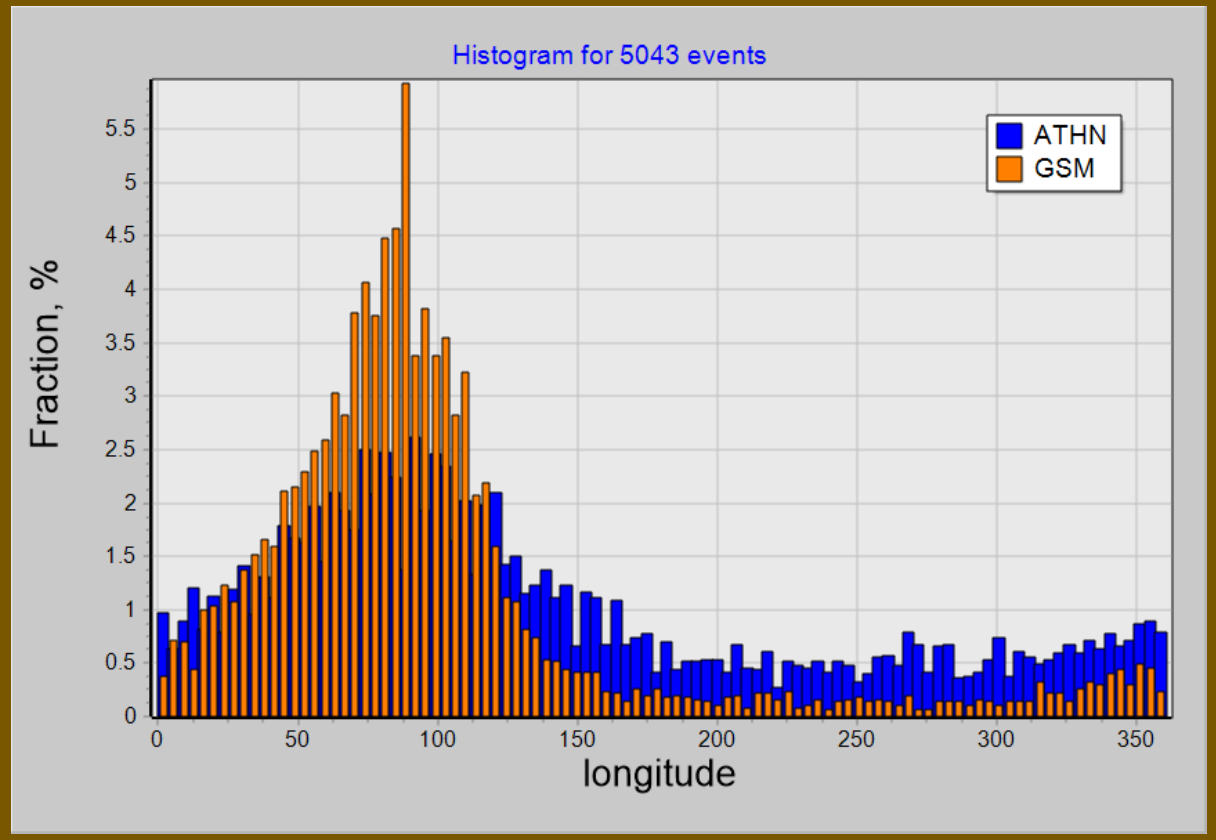
Сравнение величин амплитуды анизотропии КЛ





Наклон = 0.296 ± 0.008
C11 = 0.439 [Yasue et al., 1982]

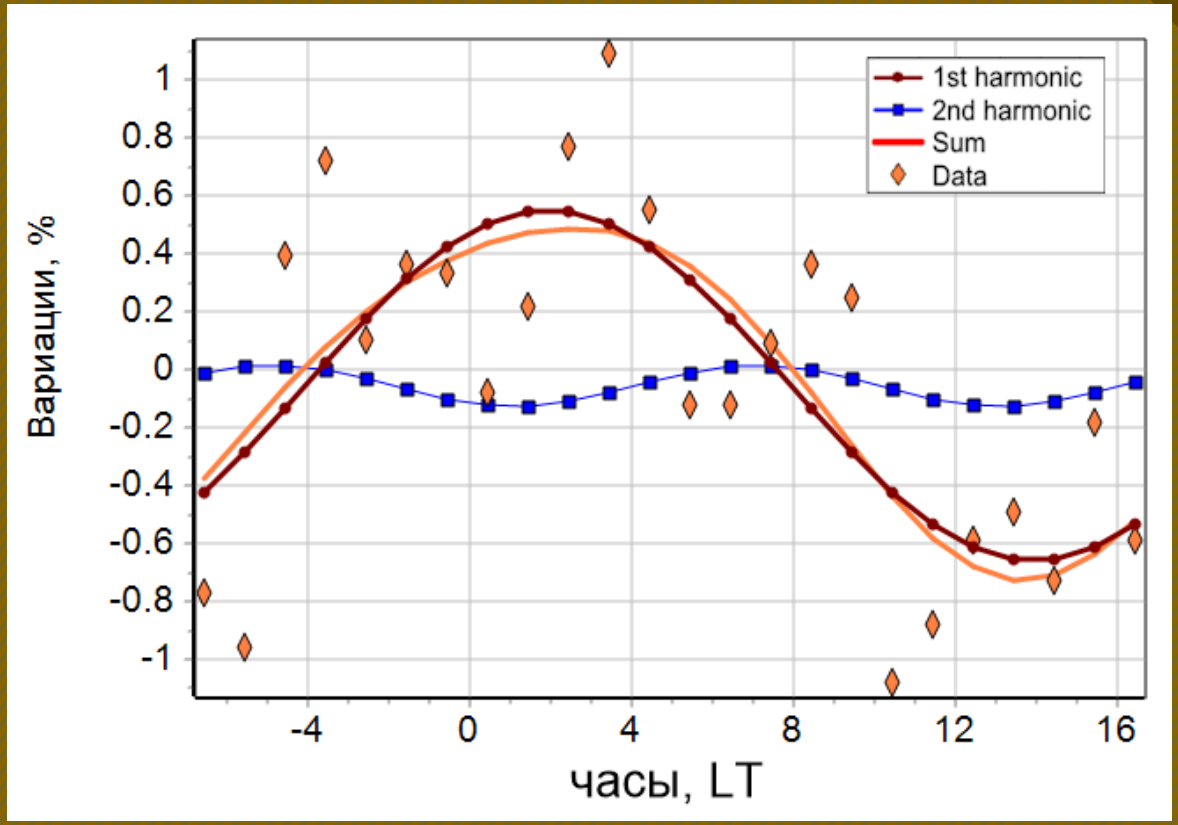
Сравнение величин фазы анизотропии КЛ

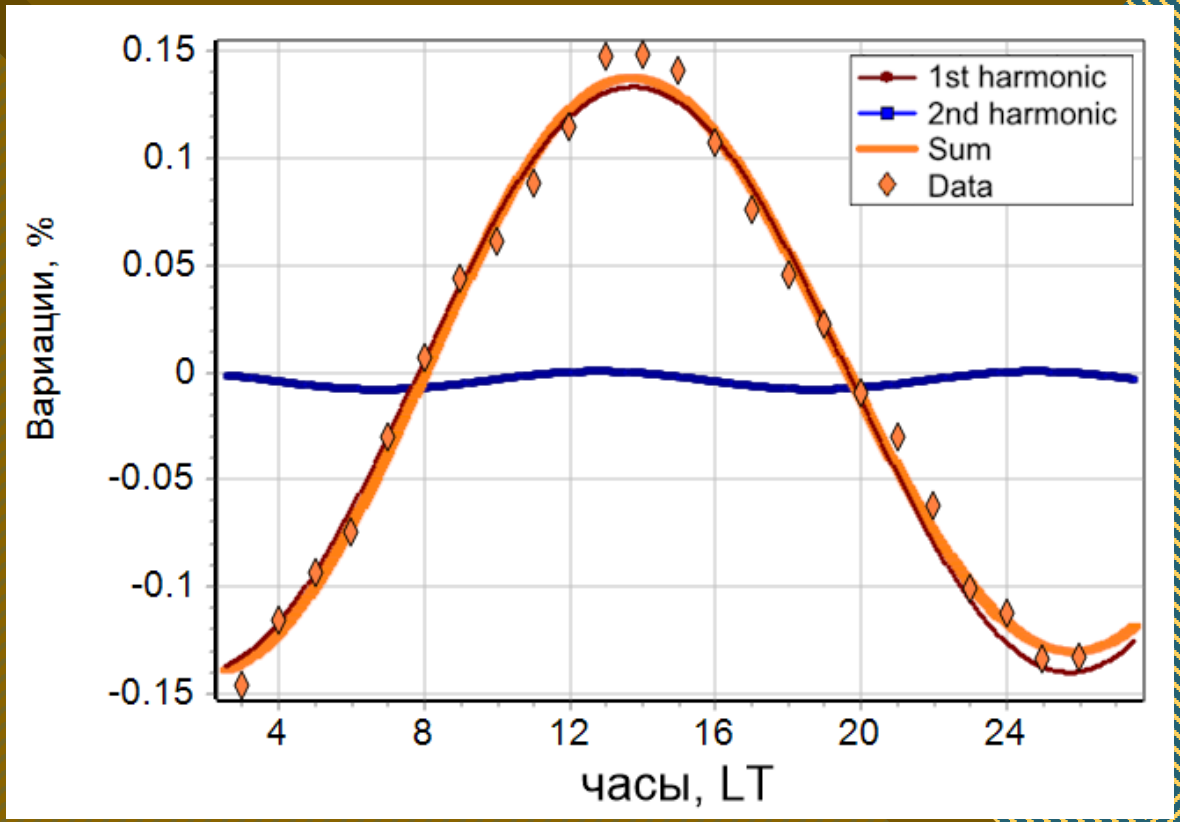


Плоский спектр, до 100 ГВ

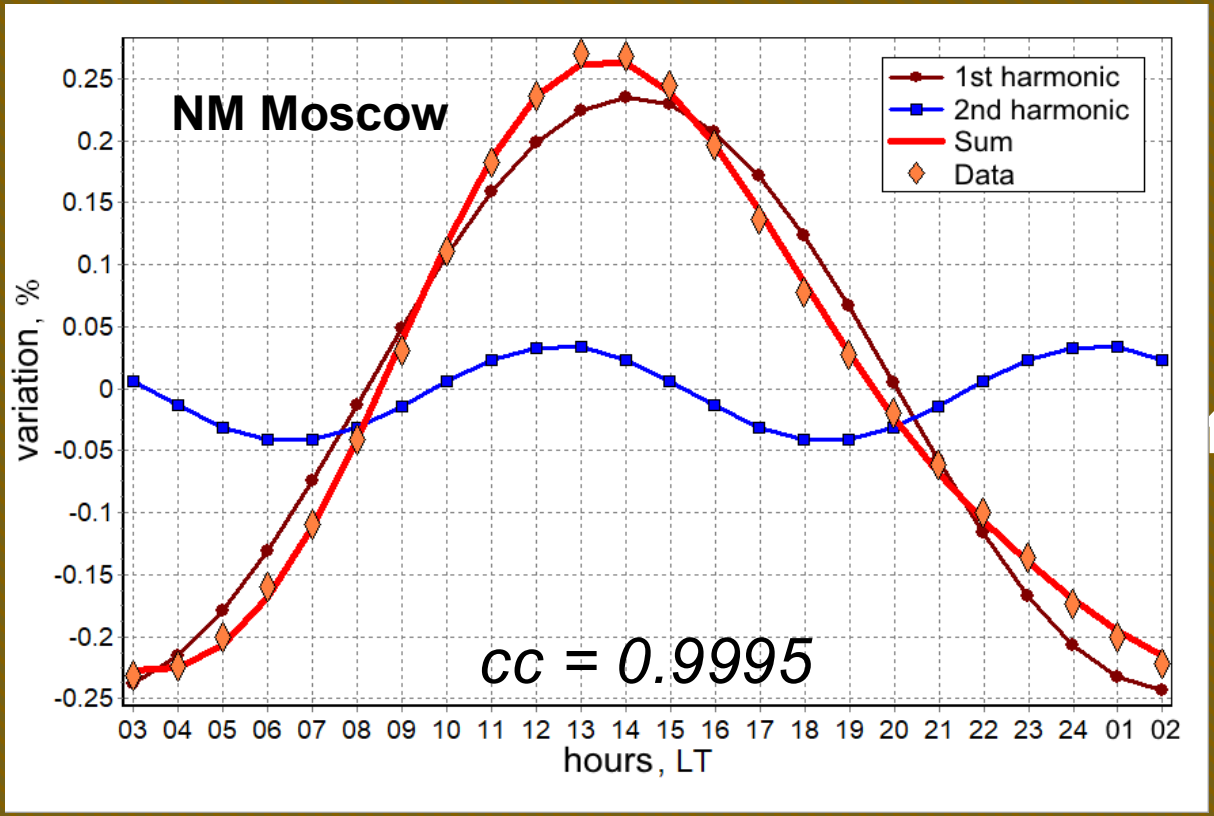
P11 = 77.1° [Yasue et al., 1982]

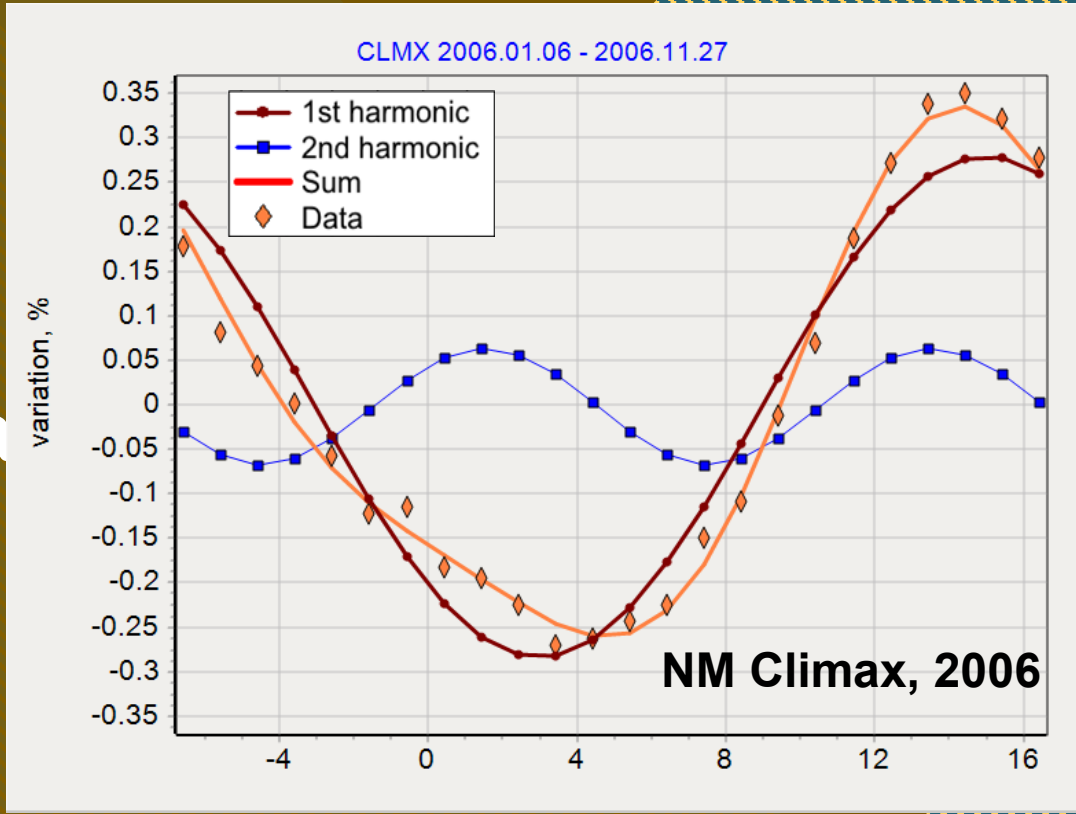
Суточный ход вариаций КЛ в отдельный день (19.09.2024) и усредненный за все выделенные спокойные дни для НМ ATHN



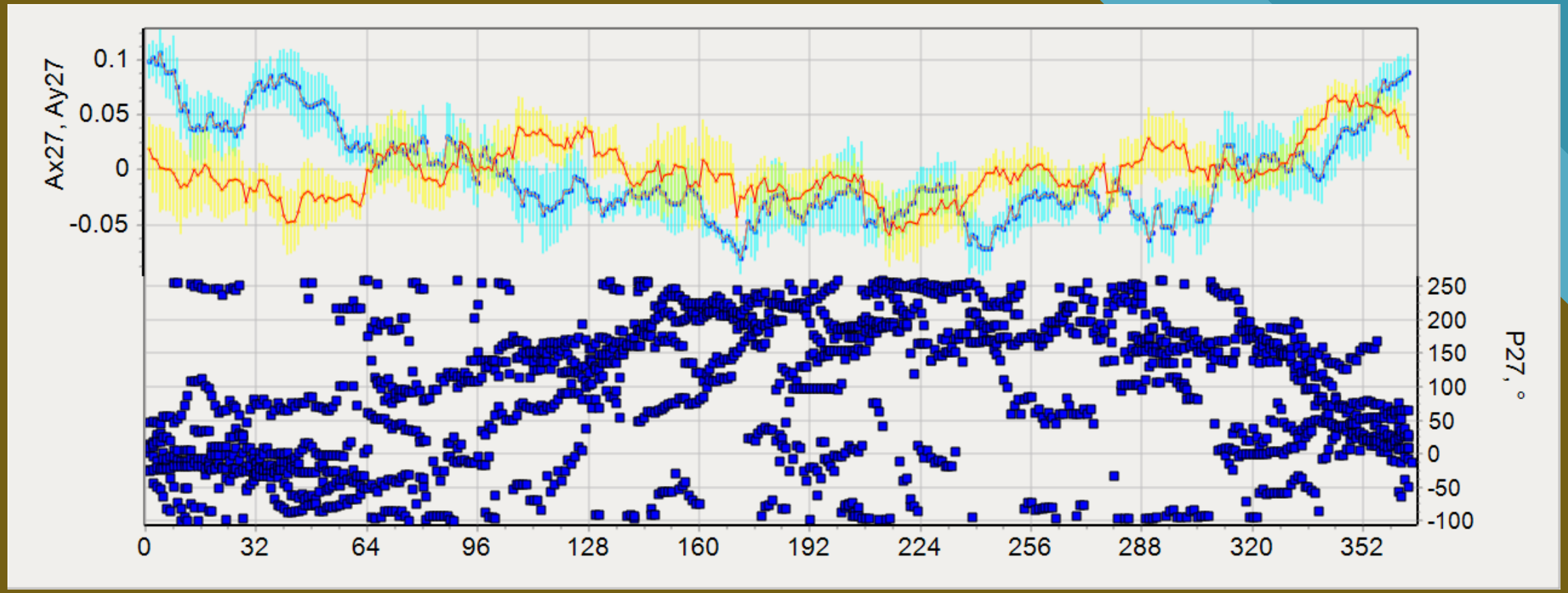


	GSM	MOSC	CLMX	ATHN
<Axy>, %	0.548 ± 0.003	0.362 ± 0.002	0.34 ± 0.02	0.256 ± 0.002
<Pxy>, °	80.1 ± 0.3	31.9 ± 0.4	32 ± 0.7	11.8 ± 1.2





Среднегодовое поведение первой гармоники анизотропии КЛ



НМ ATHN, минимум 23-24 циклов СА (27-дневное сглаживание)

Основные выводы

1
- Получены характеристики солнечно-суточной анизотропии КЛ по данным НМ ATHN (Афины)

2
- Произведено сравнение с результатами GSM и данными других НМ

3
- Получены оценки ожидаемого спектра анизотропии из сравнения амплитуд и фаз, полученных в GSM и для НМ ст. Афины.

4
Показано, что амплитуда солнечно-суточной анизотропии меньше для низкоширотного НМ.

5
- Установлено, что первая гармоника солнечно-суточной анизотропии НМ Афины имеет выраженную сезонную зависимость.

6
- Результаты для ст. Афины лучше использовать в сглаженном виде с учетом временных зависимостей и связи с полярностью магнитного поля.

Спасибо за внимание!

nshlyk@izmiran.ru

1. Белов А.В., Шлык Н.С., Абунина М.А. и др. Выделение солнечно-суточной анизотропии космических лучей локальным и глобальным методами // Геомагнетизм и Аэрономия. – Т. 63. – № 3. – С.306–320 – 2023. https://doi.org/10.31857/S0016794022600594

2. Белов А.В., Шлык Н.С., Белова Е.А. и др. Солнечно-суточная анизотропия космических лучей за 71 год наблюдений // Геомагнетизм и аэрономия.– т. 65. - № 6. - с. 825–835. – 2025. https://doi.org/10.7868/S3034502225060034