

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕВЕРО-ЮЖНОЙ АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

Оленева В.А., Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г. **id 71**

ИЗМИРАН

Email: yanke@izmiran.ru abelov@izmiran.ru erosh@izmiran.ru olene@izmiran.ru

Skype: Victor Yanke

Выделение северо-южной анизотропии космических лучей, из-за малости эффекта, очень чувствительно к качеству данных и к особенностям используемой методики. Это одна из причин существенного разброса результатов различных авторов. Задача настоящей работы - максимально расширить исследуемый период и сравнить результаты применения различных методик.

Для выделения составляющих вектора анизотропии (суточной и северо-южной асимметрии) применялся метод глобальной съёмки с привлечение данных мировой сети нейтронных мониторов для периода 1993-2019 годы. В некоторые периоды разница минимальных и максимальных среднемесячных значений северо-южной анизотропии в году может составлять 0.9%.

Для сравнения проводилась также оценка северо-южной анизотропии методом парных станций.

Методы выделения северо-южной (NS) анизотропии КЛ

1. Выделение NS-анизотропии **глобально-спектрографическим методом – GSM**

Этот метод подробно описан в работе (Belov et al., 2018). На основе данных сети нейтронных мониторов и мюонных телескопов GSM позволяет получить такие параметры распределения КЛ как: вариации плотности КЛ, составляющие первой гармоники анизотропии КЛ, в том числе, северо-южную компоненту (NS) анизотропии с хорошей статистической точностью.

2. Выделение NS-анизотропии **методом парных станций**. Процедура предложена в работе (Chen, Bieber, 1993). По определению северо-южная анизотропия, измеренная на

уровне Земли на северной и южной станциях, равна
$$\xi^G \equiv \frac{I_N - I_S}{I_N + I_S} = \frac{I_N / I_S - 1}{I_N / I_S + 1}$$

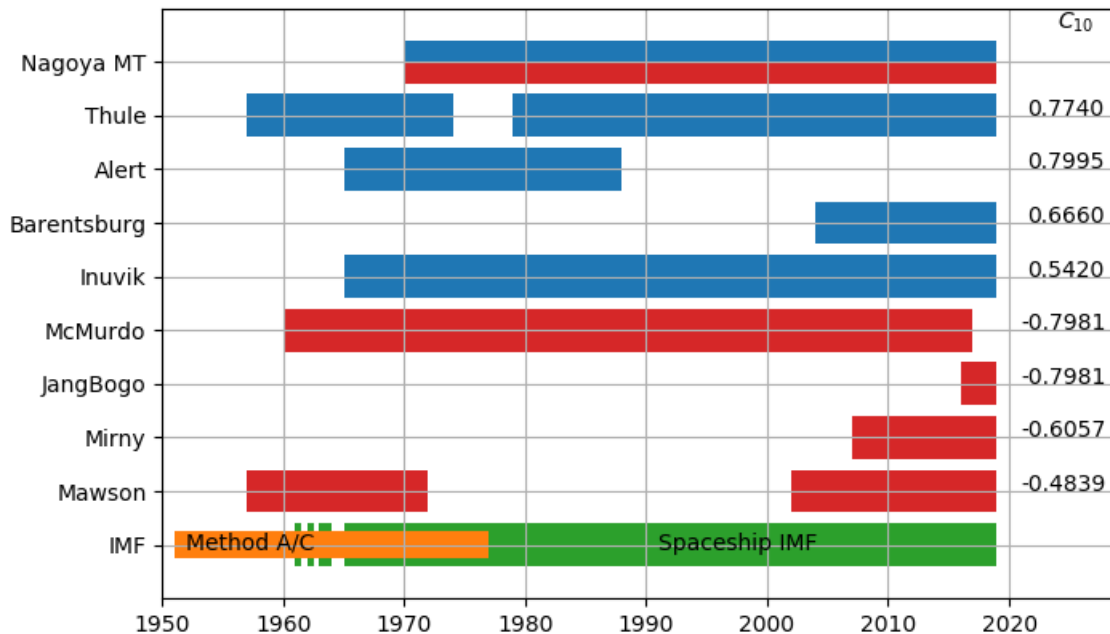
Для каждых суток вычисляется отношение скоростей счета детекторов с северного и южного направлений, затем эти отношения для каждого солнечного оборота делятся на две группы: положительную и отрицательную согласно направлению IMF. Все отношения в пределах своих оборотов усреднялись и получались усредненные отношения R_T и R_A по (Т) и против (А) направления магнитного поля Солнца. NS- анизотропия связана с R_T и R_A

Соотношениями
$$\xi_T^G \equiv \frac{(\varepsilon R_T - 1)}{(\varepsilon R_T + 1)} \quad \xi_A^G \equiv \frac{(\varepsilon R_A - 1)}{(\varepsilon R_A + 1)} \quad \xi_{NS} = \frac{C_{10} \Delta R}{2R}$$

Необходима разница анизотропии между положительными и отрицательными секторами. Итоговое выражение (C_{10} – приемный коэффициент NS анизотропии)

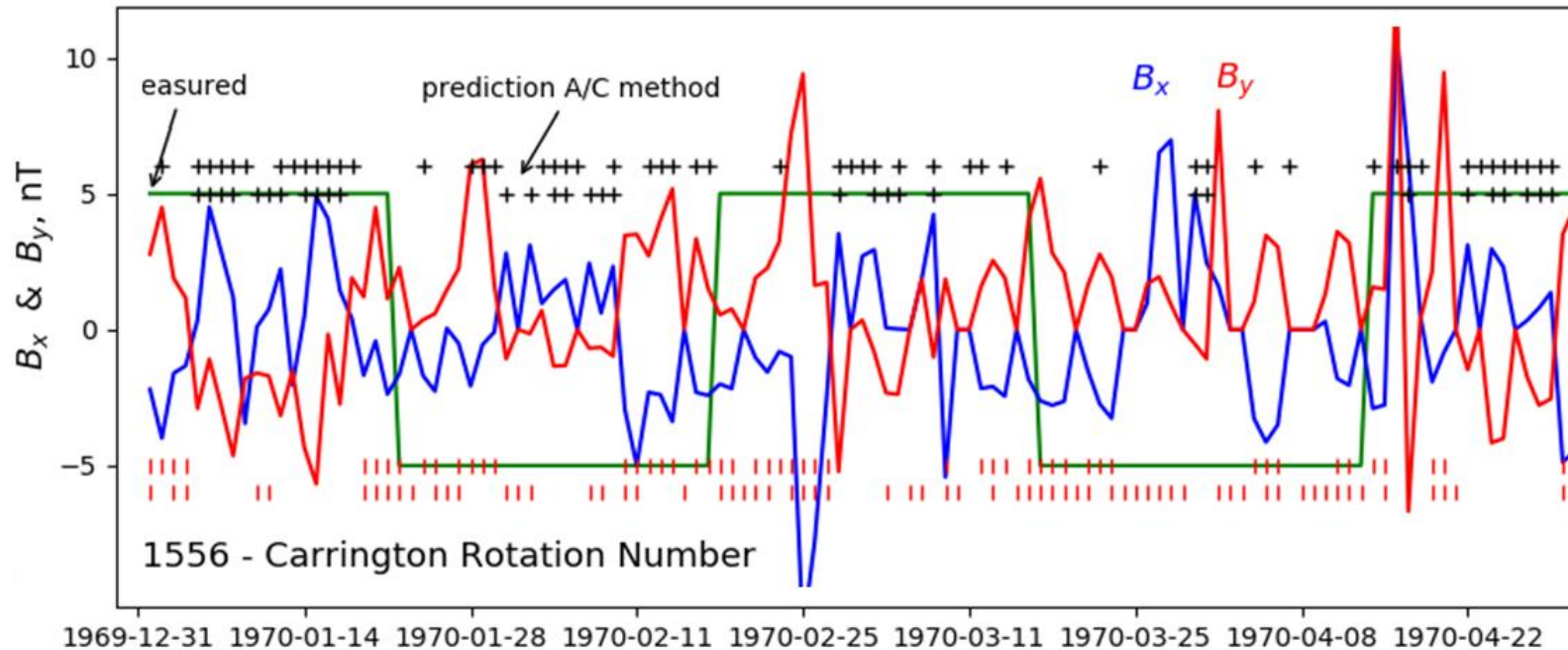
Метод парных станций

Оценка северо-южной анизотропии методом парных станций используется во многих работах. Долговременная стабильность работы таких детекторов имеет решающее значение для точности оценок северо-южной анизотропии. Число станций с высокой чувствительностью к северо-южной анизотропии небольшое, период работы таких станций часто ограничен и, поэтому, выбор пар станций очень важен. На рисунке приведены возможности Мировой сети станций космических лучей для решения задач северо-южной анизотропии и можно выделить только одну долговременную пару станций Thule-McMurdo, не считая телескопа Nagoya.



Наблюдательный период телескопа Nagoya и полярных станций для оценки северо-южной анизотропии. Нижняя гистограмма - полярность секторной структуры IMF методом A/C индексов или непосредственно по данным IMF. Справа - приемный коэффициент C_{10} северо-южной анизотропии.

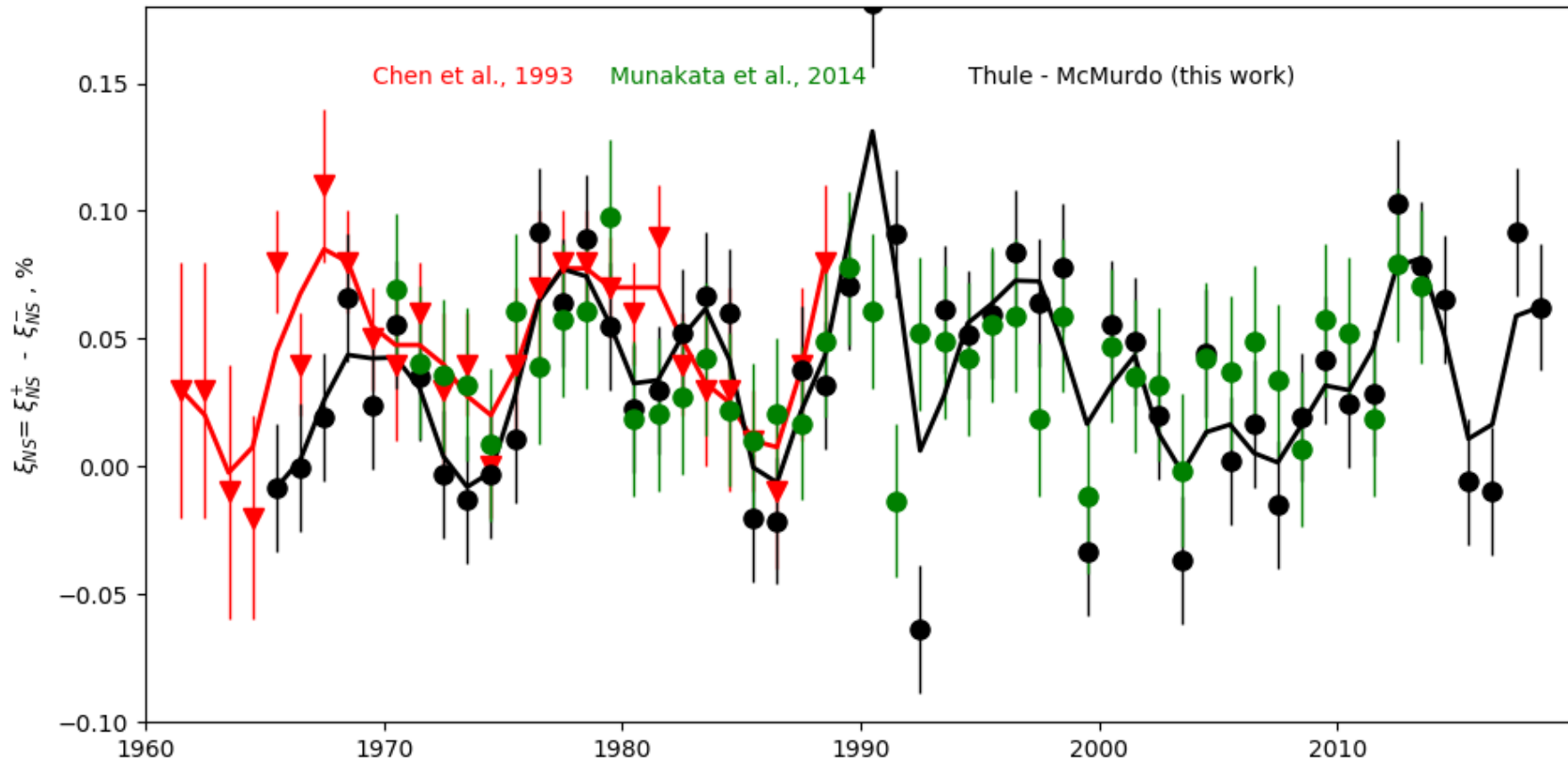
Определение полярности IMF



Пример полярности IMF для нескольких оборотов Кэррингтона.

Для анализа северо-южной анизотропии необходимо привлекать полярность секторной структуры межпланетного магнитного поля. До середины 60-ых годов полярность секторной структуры межпланетного магнитного поля определялась только по наземным измерениям методом A/C индексов [Svalgaard, 1976b 1988]. С середины 60-ых годов полярность секторной структуры определялась по данным прямых измерений IMF. Оба типа данных о секторной структуре пересекались примерно с 1967 по 1975 год, что позволяет проводить сравнение прогнозируемой полярности с непосредственно измеренной по данным IMF.

Северо-южная анизотропия, полученная методом парных станций



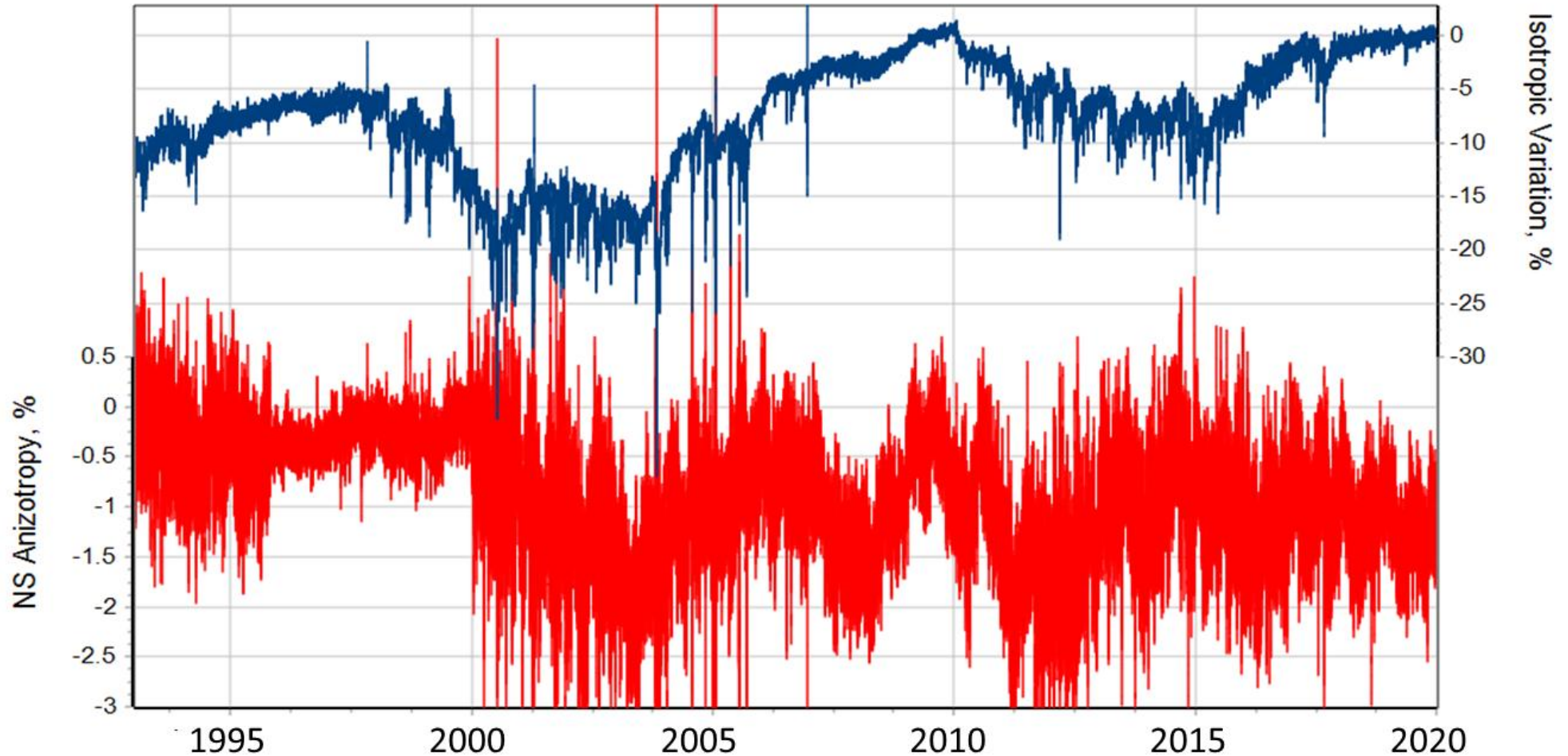
Наша оценка NS-анизотропии за весь период наблюдений (метод парных станций, Thule–McMurdo). Наблюдается хорошее согласие с результатами [Chen et al. \(1993\)](#) и [Munakata et al. \(2014\)](#), и величина NS анизотропии очень мала, $<0.1\%$.

Оценка анизотропии методом GSM

Оценка северо-южной анизотропии космических лучей (а также изотропной части) выполнена также глобально-спектрографическим методом за 26 лет (1993-2019 годы). Использовались часовые данные мировой сети нейтронных мониторов (в зависимости от наличия и качества данных задействовано 35-45 станций). Данные тщательно проверялись, чтобы исключить влияние различных аппаратурных выбросов, дрейфов, снега, изменений скорости счета в связи с добавлением (или исключением) секций.

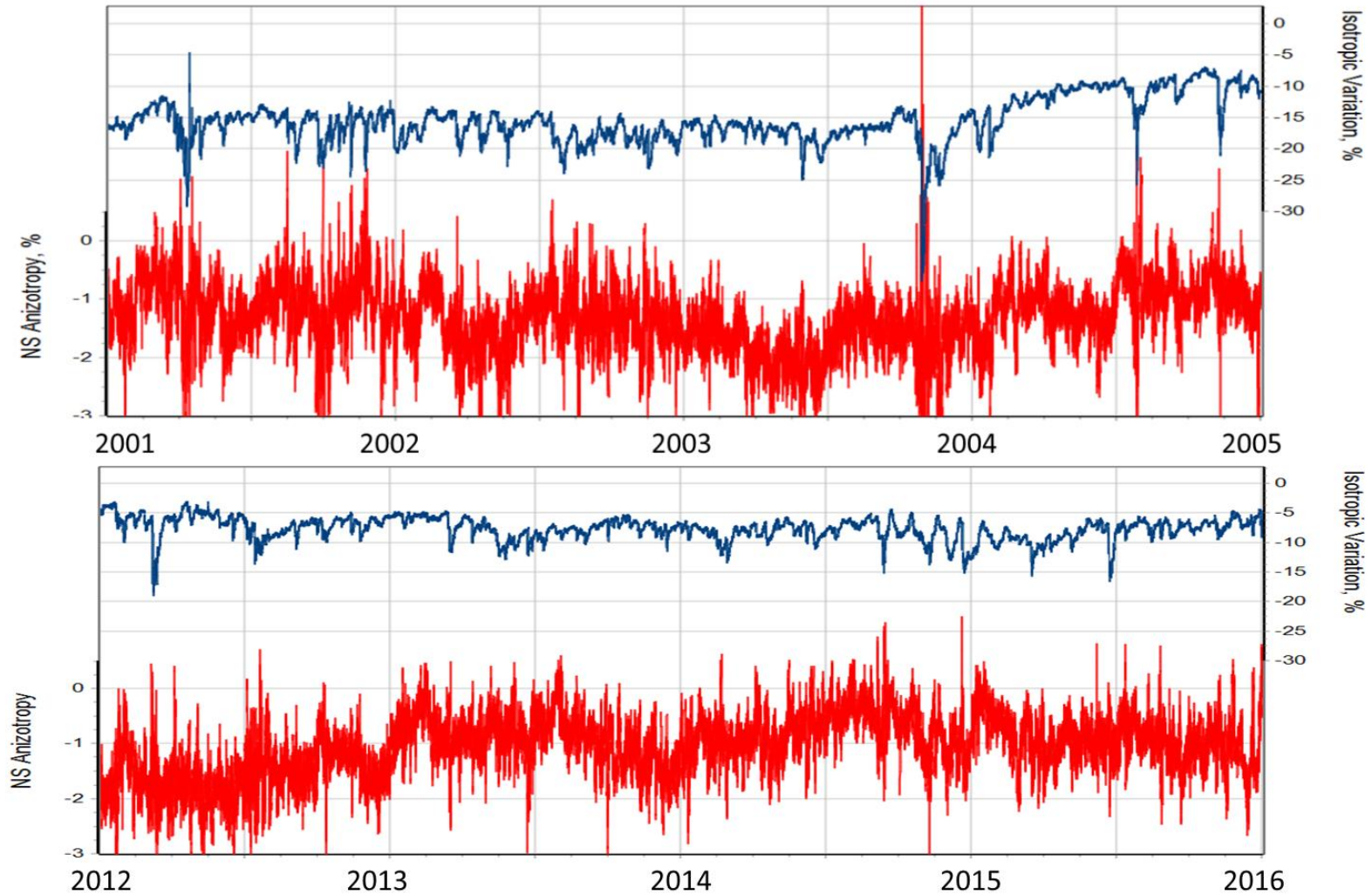
Величина северо-южной анизотропии зависит от выбора базового дня, относительно которого определяются вариации северо-южной составляющей. Базовый день выбирался для каждого месяца, и относительно него вычислялись вариации северо-южной анизотропии как в текущем, так и в следующем месяце. Разница среднемесячных значений северо-южной анизотропии, полученных для разных базовых дней (в текущем и предыдущем месяце) использовалась для сшивания результатов. В отдельные периоды наблюдается явно выраженная годовая волна, максимум которой, как правило, приходится на июль-август.

Оценка анизотропии методом GSM



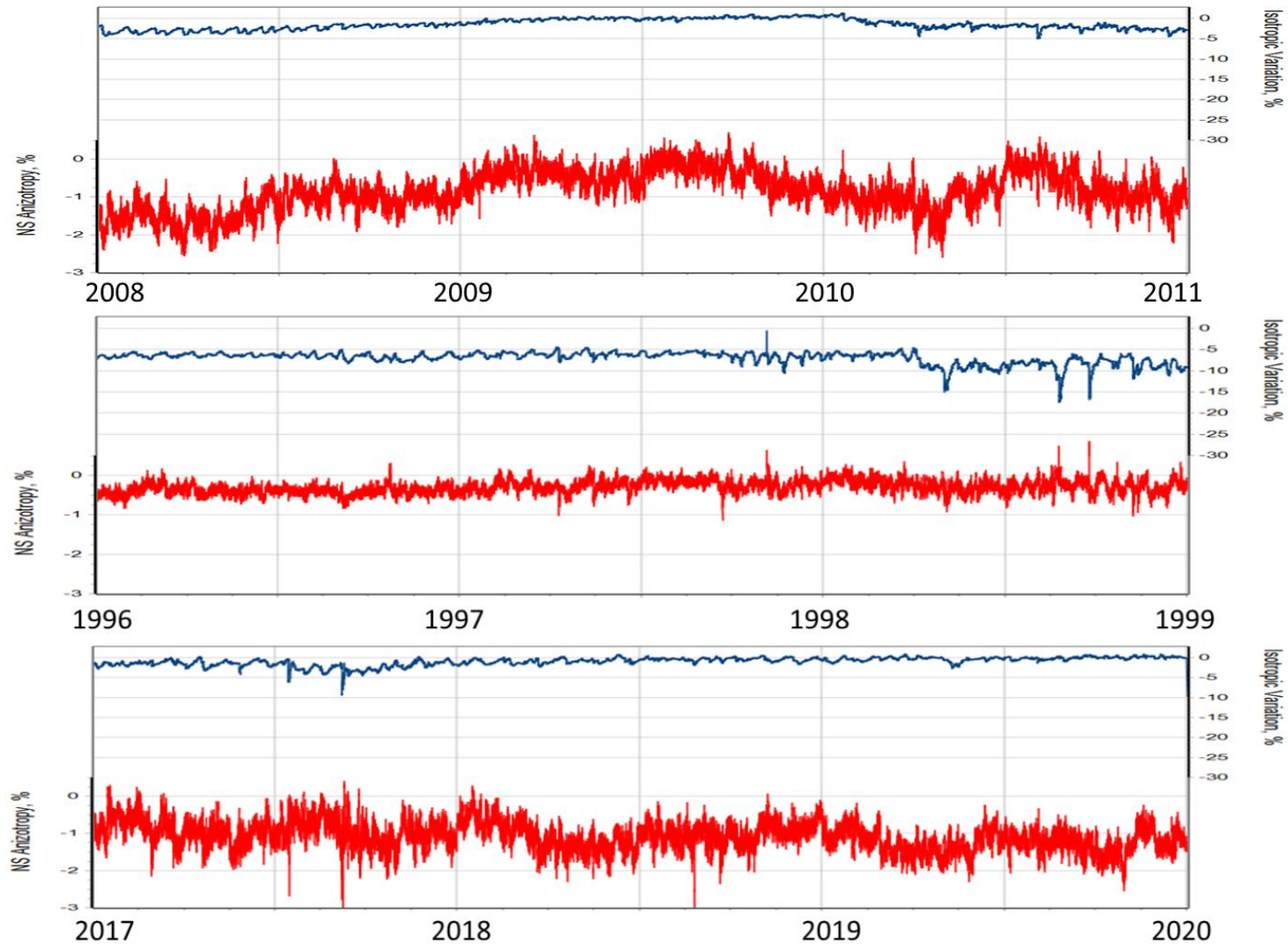
Верхняя панель изотропная вариация за 1993-2019 годы, полученная GSM анализом. Нижняя панель северо-южная анизотропия за тот же период.

NS анизотропия в 2-х максимумах солнечной активности

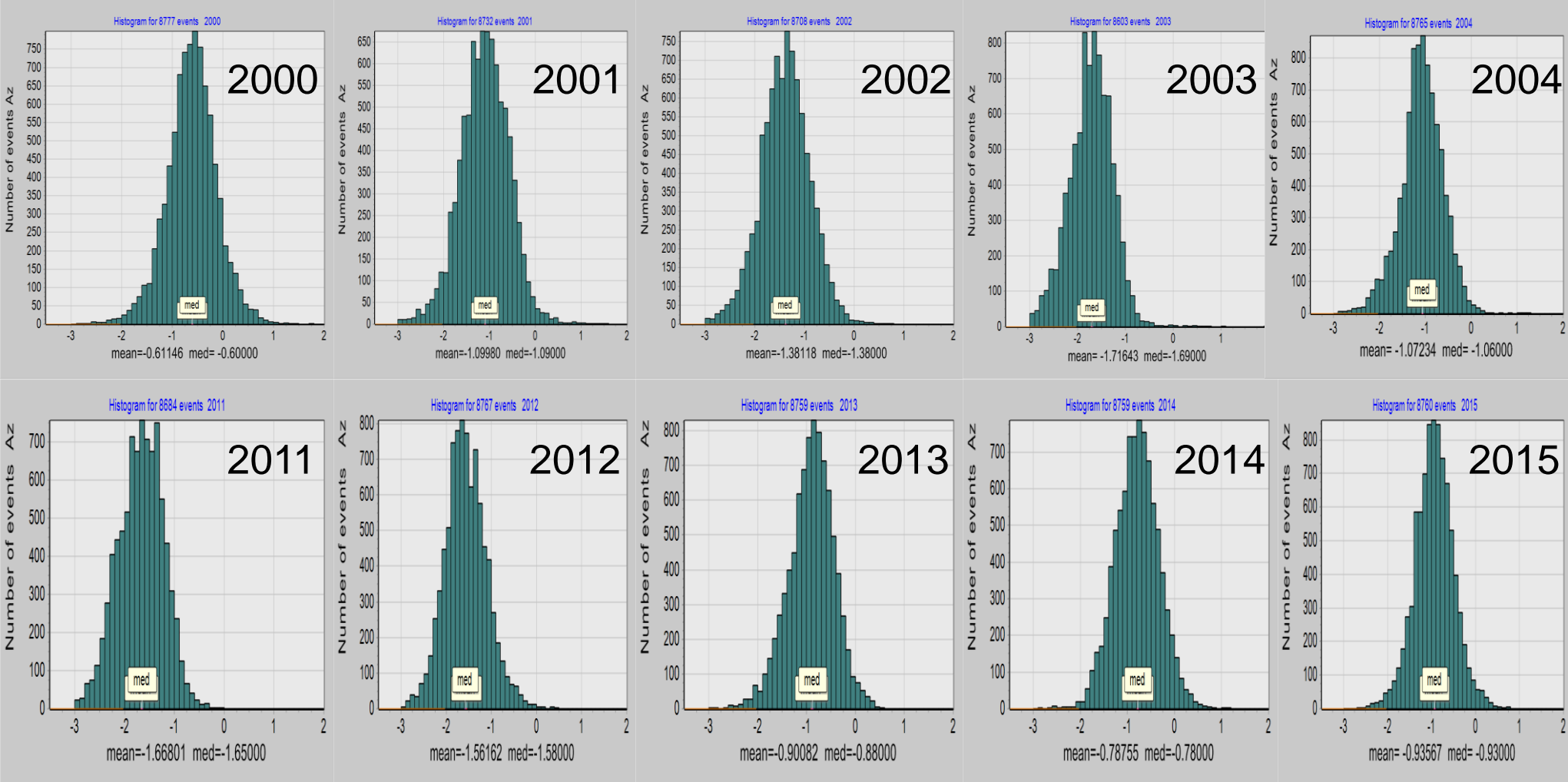


Сравнение вариаций изотропной и северо-южной анизотропии в максимумах солнечной активности за периоды 2001-2005 и 2012-2016 годы.

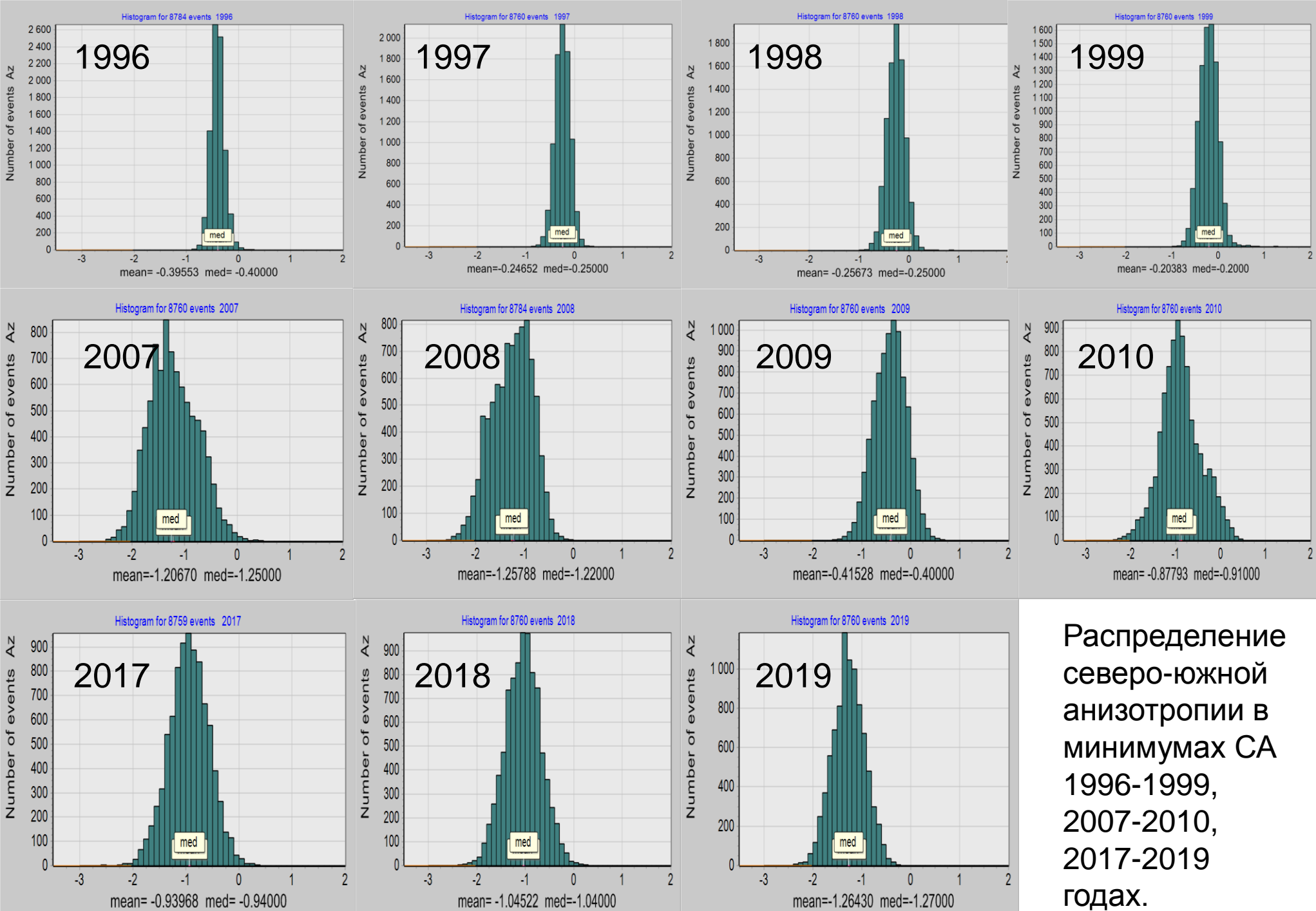
NS анизотропия в 3-х минимумах солнечной активности



Сравнение вариаций изотропной и северо-южной анизотропии в минимумах СА 1996-1999, 2008-2010, 2017-2019 годы.



Распределение северо-южной анизотропии по годам в максимумах солнечной активности 2000-2004 и 2011-2015 годах.



Распределение
северо-южной
анизотропии в
минимумах СА
1996-1999,
2007-2010,
2017-2019
годах.

Выводы.

Получены значения северо-южной анизотропии КЛ по наземным детекторам КЛ за длительный период наблюдений (1958-2019 годы) **методом парных станций**.

Усредненная по оборотам Кэррингтона NS анизотропия для КЛ с жесткостью 10 GV, полученная различными авторами методом парных станций, находится в хорошем согласии.

В полученных вариациях северо-южной анизотропии за 1993-2019 годы трудоемким, но более точным **глобально - спектрографическим методом**, в некоторые периоды наблюдается явно выраженная годовая волна, максимум которой, как правило, приходится на июль-август.

Разница минимальных и максимальных среднемесячных значений северо-южной анизотропии в году может составлять 0.9%. Поведение СЮ анизотропии существенно отличается в минимумах и максимумах солнечной активности. Для минимума 2007-2010 СЮ анизотропия меняется сильнее, чем для двух соседних минимумов.

Литература

- Ahluwalia H.S., R.C.Ygbuhay, R. Modzelewska, L.I. Dorman, M.V. Alania, "Cosmic ray heliospheric transport study with neutron monitor data", JGR: Space Physics 120(10) 8229-8246, [2015](#). doi: 10.1002/2015JA021603
- Belov, A. V.; Dorman, L. I.; Eroshenko, E. A.; Oleneva, V. A. "Discrimination of cosmic ray anisotropy components using crossed telescopes". Proc. of 18ICRC, , V.10, P.201-204, [1983](#)
- Belov A.V., Dorman L. I., Oleneva V.A., The North-South cosmic ray anisotropy during last two solar minima, in Proceedings of the 20th ICRC, vol. 4, pp. 186–188, Moscow, Russia, 1987.
- Belov A.V., Dorman L.I., Eroshenko L.I., Oleneva V.A., Determination of the absolute value of north-south cosmic ray anisotropy from ground based data, in Proceedings of the 21st ICRC, vol. 6, pp. 357–360, Adelaide, Australia, 1990.
- Belov A.V., Oleneva V.A., Long-term variations of cosmic ray north-south anisotropy in 70s and 80s, in Proceedings of the 24th ICRC, vol. 4, pp. 580–583, Rome, Italy, 1995.
- Belov A.V., Dorman L.I., Gushchina R.T., Yanke V.G. "Temporal and latitudinal dependence of the temperature effect for neutron component of cosmic ray", Proc. of 24ICRC, Rome, V.4, P. 1141-1144, 1995. <http://adsabs.harvard.edu/full/1995ICRC...4.1141B>
- Chen J., Bieber J.W., Cosmic ray anisotropies and gradients in three dimensions. Astrophys. J. 405, 375–389, 1993.
- Kudo S., K. Murakami, Anisotropy of cosmic rays in the direction parallel to the rotation axis of the Earth, in Proceedings of 9th ICRC, vol. 1, pp. 285–287, London, 1966.
- Svalgaard L., Interplanetary Sector Structure, 1947-1975, SUIPR Rep. No. 648 (Stanford, California: Institute for Plasma Research, Stanford University), [1976](#).
- Belov A. V., Eroshenko E. A., Yanke V. G., Oleneva V. A., Abunina M. A., Abunin A. A., Global Survey Method for the World Network of Neutron Monitors, Geomagnetism and Aeronomy, 2018, Vol. 58, No. 3, pp. 356–372.