

Оценка долговременной стабильности детекторов мировой сети нейтронных мониторов за весь период мониторинга

Belov Anatoly

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, IZMIRAN, Moscow, Russia, 108840; *E-mail:* abelov@izmiran.ru

Gushchina Raisa

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, IZMIRAN, Moscow, Russia, 108840; *E-mail:* rgus@izmiran.ru

Eroshenko Eugeniya

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, IZMIRAN, Moscow, Russia, 108840; *E-mail:* erosh@izmiran.ru

Preobrazhensky Maxim

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, IZMIRAN, Moscow, Russia, 108840; *E-mail:* planeswalker.ipsum@gmail.com

Yanke Victor

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, IZMIRAN, Moscow, Russia, 108840; *E-mail:* yanke@izmiran.ru

Результаты непрерывного мониторинга являются экспериментальным материалом для большого числа работ, посвященных исследованиям вариаций космических лучей космических лучей. Вопрос о долговременной стабильности детекторов является чрезвычайно важным. В работе используются два независимых метода оценки долговременной стабильности работы нейтронных мониторов. Количественные оценки получены для 90 детекторов, работавших и работающих более одного цикла солнечной активности.

*35th International Cosmic Ray Conference - ICRC2017
10-20 July, 2017
Bexco, Busan, Korea*

1. Introduction

Более полувека в распоряжении исследователей космических лучей имеется такой мощный инструмент как Мировая сеть нейтронных мониторов. Определить качество данных каждой станции сети – задача настоящей работы. Такая задача ставилась и раньше [Belov et al., 2005; Belov et al., 2007]. Чтобы количественно оценить качество

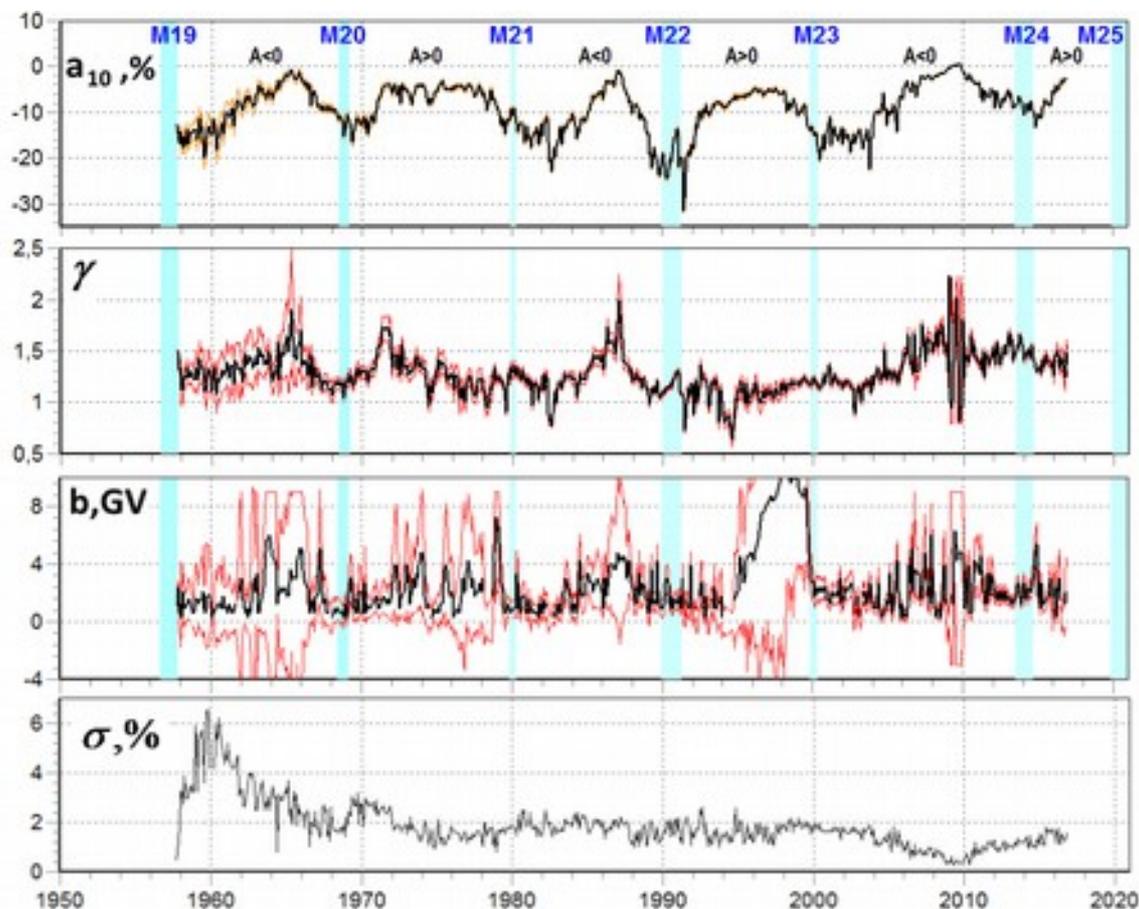


Figure 1. Parameters of the galactic cosmic rays variation spectrum: a_{10} , γ и b the model discrepancy is shown at the bottom.

данных детектора, необходимо иметь эталон. Часто применяется ничем не обоснованный подход, когда в качестве такого эталона принята какая-нибудь “надежно” работающая станция. Целый ряд станций действительно имеют авторитет “надежно” работающих, но их трудно использовать в качестве эталона, поскольку каждая станция регистрирует космические лучи в своем диапазоне спектра космических лучей. В настоящей работе мы использовали два независимых метода. Для первого метода в качестве эталона используется модель вариаций космических лучей. Расхождение с моделью для каждой станции мы относим за счет качества данных этой станции. Конечно, такой подход имеет свои недостатки, ибо построение адекватной модели само по себе задача сложная. Но методом последовательных приближений такая задача решается, если при соответствующих модификациях модели удастся достаточно хорошо описать вариации космических лучей в гелиосфере за шестидесятилетний период наблюдений. Нами разработан второй, независимый, метод оценки стабильности работы станций, который можно назвать методом отношений. В этом методе с помощью разработанного

математического алгоритма заданный набор станций (примерно с одинаковыми эффективными жесткостями регистрируемых частиц R_{eff}) разделяется на “надежно” и “ненадежно”

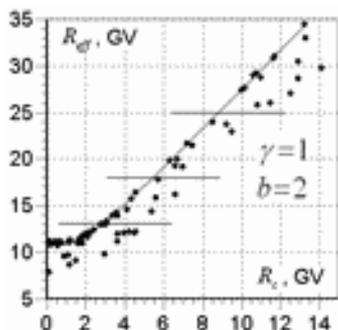


Рис. 2. Эффективная жесткость частиц для различных станций; на кривой – станции уровня моря, ниже - горные.

работающие станции. В этом случае, в качестве эталона служит группа станций, имеющая с точностью до статистики одинаковые вариации и определяемые как “надежно” работающие, причем они должны быть в большинстве. Этот метод для каждой станции позволяет определить эффективность, и что важно, и точность ее оценки. Каждый метод имеет свои достоинства и ограничения, однако на их совместной основе можно получить надежные количественные оценки долговременной стабильности детекторов мировой сети нейтронных мониторов. Анализ проводился на базе среднемесячных данных, полученных соответствующим усреднением часовых данных, публикуемых в [Data Base, 1997].

1. Модельный метод

В работе [Belov et al. , 1998] был разработан вариант глобально спектрографический метод, специально приспособленный для изучения долговременных вариаций. Анализ проводился на среднемесячной базе данных нейтронных мониторов (около 45 станций), мюонного телескопа, стратосферных наблюдений (3 станции). Наблюдаемая вариация $\delta I^i / I^i$ может быть представлена как

$$\frac{\delta I^i}{I^i} = \int_{R_c}^{\infty} W(R, R_c, h^i) \cdot \frac{\delta J}{J}(R) dR +$$

σ^i , где $\delta J / J(R)$ спектр изотропной вариаций, а невязка σ^i , отражает неадекватность используемой модели вариаций и возможные аппаратные вариации. Функции связи $W^i(R, R_c, h^i)$ рассчитаны нами и для нейтронной компоненты взяты из [Александрян et al., 1982], для мюонной компоненты из [Fujimoto et al., 1976]. В модели было принято, что спектр вариаций, задается в трехпараметрическом виде и определяется как $\delta J / J(R) = a_{10} / (b + R)^\gamma$. Область изменения параметров $\gamma = 0 \div 2$ и $b = (0 \div 4)$ GV. Трехпараметрическая аппроксимация спектра вариаций галактических космических лучей пригодна для описания спектра

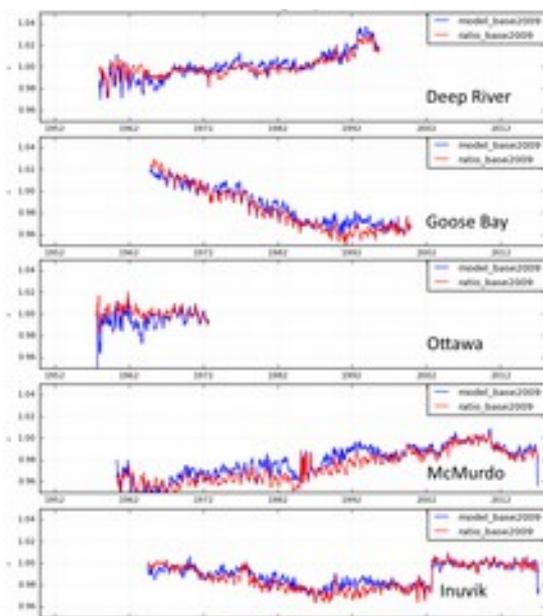


Рис. 3 Эффективности, полученные модельным (синяя) и методом отношений (красная). За 1 принят уровень 2009 года.

долговременных вариаций в области 5-50 GV.

Только единичное число станций непрерывно работало 5 циклов солнечной активности; станции закрывались и создавались новые. Спектр вариаций был определен для одного базового периода 2009 года, что позволило избежать дополнительной ошибки, возникающей при сшивании данных при использовании разных баз.

На рис.1 показаны найденные параметры спектра вариаций галактических КЛ α_{10} , B и γ . На нижней панели приведены среднеквадратичные отклонения экспериментальных данных и модели, которые дают возможность оценить адекватность применяемой модели вариаций.

2. Метод отношений

Этот метод первоначально был разработан для внутреннего контроля качества данных наземных детекторов космических лучей. Уже на раннем этапе создания сети станций был сделан переход от 2-х секционного NM57 монитора (где можно было только качественно оценить приборные вариации), к 3-х секционному NM64 нейтронному монитору, для которого сопоставление вариаций на различных однотипных секциях даёт возможность выделить неисправную секцию. В основе современных методов внутреннего контроля лежит деление детектора на максимально возможное число идентичных и независимых элементарных детекторов (в случае нейтронного монитора это нейтронные счетчики). Такой подход позволяет определить относительную эффективность каждого элементарного детектора, т.е. такой метод дает возможность постоянного контроля качества данных [Belov et al., 1988]. Эффективность детектора можно определить как число, на которое нужно разделить наблюдаемую скорость счета, чтобы избавиться от вариаций, связанных с изменениями самого детектора. Метод отношений был адаптирован для анализа долговременной стабильности детекторов сети станций. Условием применимости метода отношений для задачи анализа долговременной стабильности детекторов является объединение станций в группу станций с **близкими**

характеристиками, например, с близкими эффективными жесткостями регистрируемых частиц. Мы рассматривали 4 группы станций с эффективными жесткостями регистрируемых частиц (рис. 2) <13, 13-18, 18-25, >25 GV. Тот факт, что данный подход не опирается ни на какую модель является его достоинством. Недостатком же рассматриваемого метода является необходимость рассматривать группы станций с близкими эффективными жесткостями регистрируемых частиц. Чтобы учесть временные вариации жесткости геомагнитной обрезки, мы сделали расчеты [Gvozdevsky et al., 2016] для сети станций космических лучей.

3. Обсуждение результатов

На рис. 3 приведены изменения эффективностей для некоторых станций (для всех приведены на сайте [Animation; LongTimeVariation, 2017]), полученных с помощью двух методов: модельного и метода отношений.

Совпадение в деталях найденных двумя методами эффективностей свидетельствует в пользу обоих методов. Если имеется различие, это требует анализа: или плохо работает модель для

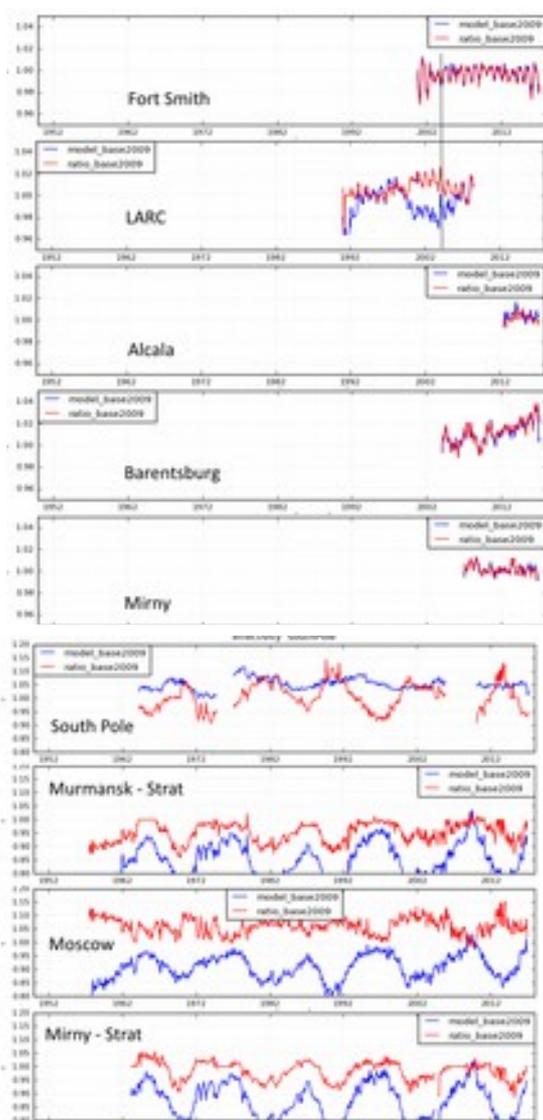


Рис. 5 Эффективности, полученные модельным (синяя) и методом отношений (красная). За 1 принят уровень 2009 года.

данных энергий, или при методе отношений станция оказалась не в своей группе. Анализ эффективностей показывает, что постоянный дрейф примерно ± 0.1 %/year наблюдается на многих станциях за весь или за достаточно длительный период наблюдений (рис.3). Наибольший дрейф, около -0.4 %/year, для данных станции Goose Bay (рис. 3). Для некоторых станций (Beijing, Tibet) наблюдается аномально большой годовой температурный эффект (2-4%) (см. сайт [LongTimeVariation, 2017]). Часть этого эффекта, <1 %, обусловлена температурным эффектом нейтронной компоненты, остальная часть - локальным изменением температуры, влияющим на элементы электронного тракта, хотя станция Beijing имеет вполне хорошую долговременную стабильность. Характерное изменение эффективности приведено на рис.3 (см. Deep Rever), где хорошо виден момент смены детектора pm57 на pm64. В основном изменения эффективностей имеют случайный характер, связанные, по-видимому, с человеческим фактором. Аппаратурные вариации (или дрейфы) можно классифицировать на 1) суточные и сезонные, связанные с температурными изменениями; 2) долговременные, связанные с изменением свойств датчиков; 3) и спорадические аппаратурные вариации.

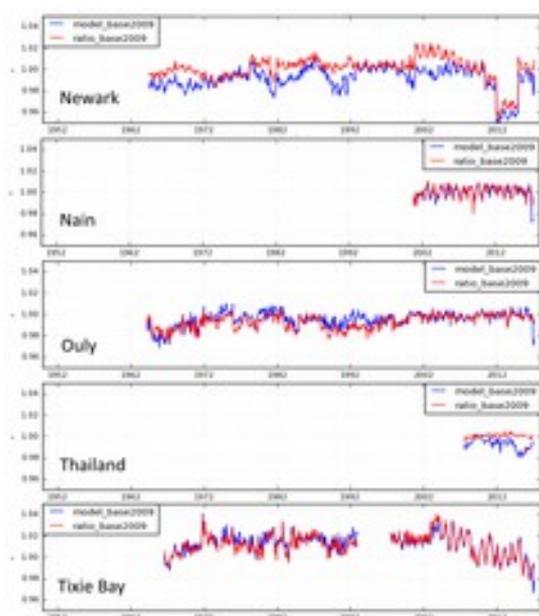


Рис. 6 Эффективности, полученные модельным (синяя) и методом отношений (красная). За 1 принят уровень 2009 года.

Если периодические вариации и долговременный аппаратурный дрейф достаточно легко выделить, то для спорадических аппаратурных вариаций это сделать чрезвычайно трудно. Наибольшая ошибка в данных возникает из-за дрейфа в давлении (до 0.1 %/year). Использование постоянного значения барометрического коэффициента, приводит к ложной 11-летней волне с амплитудой больше 0.1 %.

Большие спорадические изменения эффективности могут быть вызваны, по крайней мере, двумя причинами. Это утечка заряда (микро пробои) по цепи высокого напряжения. Другая причина это недостаточная стабильность высоковольтных источников питания (или неисправность схем стабилизации). Кроме того, для некоторых горных станций очень важен эффект снега. Этот эффект может привести к полному искажению вариаций.

На рис. 4 приведены эффективности вновь введенных в строй нейтронных мониторов. Для высокоширотных станций четко наблюдается годовая волна с амплитудой около 1 %, противоположная по фазе в северном и южном полушариях (рис 4: Fort Smith и LARC – вертикальная линия подчеркивает проявление годовой волны; в архиве [LongTimeVariation, 2017]: Ottawa и McMurdo). Она обусловлена температурным эффектом нейтронной компоненты [Belov et al., 1995] и пренебрежимо мала для экваториальных станций.

На рис. 5 приведены эффективности стратосферных детекторов вместе с нейтронным монитором South Pole. Метод отношений работает неустойчиво из-за малого числа таких станций. Модельный метод также плохо работает в этом диапазоне энергий. На рис. 6 приведены эффективности некоторых других детекторов.

4. Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При модельном подходе, когда рассогласование с моделью вариаций космических лучей для каждой станции обусловлено качеством данных станции, дает возможность качественно и количественно оценить долговременную стабильность работы каждой станции сети. Точность определяется адекватностью используемой модели вариации космических лучей.
2. Метод сравнений модельно независим. В этом случае для группы энергетически близких станций определяется долговременный дрейф каждой станции. Однако, не для всех станций можно сформировать группу станций с достаточным числом (> 6) одновременно работающих идентичных станций и это является недостатком такого подхода.
3. Совпадение в деталях найденных двумя методами эффективностей свидетельствует о применимости обоих методов. Кроме того, наша модель вариаций хорошо описывает модуляцию космических лучей за весь шестидесятилетний период наблюдений, за исключением, вариаций в области малых жесткостей. На это указывают полученная эффективность на станции South Pole и стратосферные измерения.
4. Для стабильно работающих станций (10-15) дрейф может достигать 0.05 %/year. Сравним с изменением амплитуды вариаций α_{10} (рис.1), полученной с привлечением всех данных сети за весь период наблюдений; изменение равно $\sim 1\%$, т.е. $\sim 0.01\%$ /year.
5. Число станций, работающих несколько десятков лет и имеющих стабильность для всего периода наблюдений $< 2\%$, насчитывается около 25. Однако для многих из них характерны спорадические изменения эффективности. Характерный дрейф примерно $\pm 0.1\%$ /year.
6. Для многих станций (около 30) дрейф является второстепенным явлением, и качество данных определяется многочисленными случайными изменениями.
7. Полный анализ работы сети станций космических лучей представлен в публикации [LongTimeVariation, 2017].

Acknowledgments

This work was partially supported by the Program of the Presidium of RAS № 23 "High energy physics and neutrino astrophysics", RFBR grant № 17-02-00508, experimentally and methodologically support the project UNU №85 "Russian national network of ground stations of cosmic rays" We are grateful to all the staff of the World Network of cosmic ray stations: <http://nmdb/eu> and <http://cr0.izmiran.ru/ThankYou>.

References

- Asipenka A., Belov A., Gushchina R., Eroshenko E., Kobelev P., Yanke V., "Estimation of detectors stability of the neutron monitors network", Proceedings of the 31st ICRC, Lodz, 2009.  [pdf](#)
- Александрян Т.М., Белов А.В., Янке В.Г. и др., "Экспериментальные исследования геомагнитных эффектов в космических лучах и спектр эффекта возрастания перед магнитными бурями". Изв. РАН. Сер. физ., vol. 46, №9, p.1689-1691, 1982.
- База данных Мировой сети нейтронных мониторов idb, ePub, 1997. <http://cr0.izmiran.ru/common/links.htm>
- Белов А.В., Блох Я.Л., Клепач Е.Г., Янке В.Г. сб. Космические лучи, Москва, №25. С.113, 1988; See also ftp://crsb.izmiran.ru/Data_Editor.
- Белов А.В., Гущина Р.Т., Янке В.Г., Геомагнетизм и аэрономия, Т.38, №4, С.131, 1998.
- Belov A., Gushchina R., Eroshenko E., Yanke V., "Estimate of long-term detector stability of the worldwide neutron monitor network", Proceedings of the 29th ICRC, Pune, 2, 239–242, 2005.  [pdf](#).

- Belov A.V., Dorman L.I., Gushchina R., Yanke V.G. "Temporal and latitudinal dependence of the temperature effect for neutron component of cosmic ray", Proc. of the 24th ICRC, Rome, V.4, P.1141-1144, 1995.
- Belov A.V., Gushchina R.T., Eroshenko E.A., Yanke V.G., " Estimation of long-term stability of detectors within the global network of neutron monitors", Geomagnetism and Aeronomy, V.47, No 4, Issue 2, P.251-255, 2007. doi:10.1134/S0016793207020144 / ISSN 0016-7932.  [pdf](#) <<Original>>
Белов А.В., Гущина Р.Т., Ерошенко Е.А., Янке В.Г. "Оценка долговременной стабильности детекторов мировой сети нейтронных мониторов", Геомагнетизм и Аэрoномия, V.47, No. 2, С.267-271, ISSN: 0016-7940, 2007.
- Fujimoto K., Murakami k., Kondo I., Nagashima K., "Calculation of Response Function for Cosmic Ray Hard Component at Various Depths of the Atmospheric and Underground". Proc. of ICRC on High Energy Cosmic Ray Modulation. University of Tokyo, Japan, p.50, (1976); // "Approximate formula for response function of cosmic ray hard component at various depths of the atmospheres and underground", Proc 15-th ICRC, Plovdiv, Bulgaria, V.4, 321-325, 1977.
- LongTimeVariation, <ftp://crsb.izmiran.ru/LongTimeCRVariation> , 2005.
- LongTimeVariation, ftp://crsb.izmiran.ru/LongTimeCRVariation/2017/Animation_effectivity_CR_net.gif , 2017.