

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.138-139

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА РЕГУЛЯРНОГО БАЛЛОННОГО МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ PAMELA КАК ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ИСТОЧНИКА ПЕРВИЧНЫХ ГКЛ

Е.А. Маурчев

ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

**Аннотация.** Существует огромная база данных, представляющая собой высотные профили скорости счета, полученные в результате запуска шаров-зондов с установленными на них счетчиками СТС-6. Одно из местоположений, где регулярно проводятся эксперименты с этим оборудованием, находится в г. Апатиты. Поэтому, сравнивая экспериментальные данные с данными моделирования для соответствующих географических координат, можно производить верификацию модели, а также получать более подробную информацию о параметрах вторичных космических лучей в атмосфере Земли. В представленной работе приводятся результаты моделирования прохождения протонов через атмосферу Земли и их сравнение с усредненной высотной кривой скорости счета для минимума солнечной активности. Особенностью этого исследования является использование спектра, полученного при помощи аппарата PAMELA в качестве входного параметра генератора первичных частиц.

### Введение

На станции нейтронного монитора Апатиты Полярного геофизического института ведется не только экспериментальное исследование космических лучей (КЛ), но и разрабатывается специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить моделирование прохождения КЛ через атмосферу Земли и рассчитывать характеристики вторичного излучения [1, 2]. Здесь следует заметить, что единственным методом верификации модели является сравнение полученных данных с данными экспериментальных исследований, наилучшим из которых является регулярный баллонный эксперимент [3]. Особенностью представленной работы является то, что в качестве входного параметра для задания свойств источника первичных частиц используется спектр протонов, полученный при помощи аппарата PAMELA [4], который является реальным (обычно берется некоторое приближение, которое предлагается ГОСТом, например [5]). Также для периода, для которого был выбран спектр, выбраны данные, полученные в ходе запуска шара-зонда с установленным на нем счетчиком Гейгера и произведено сравнение, при этом получено очень хорошее согласие.

### Методика

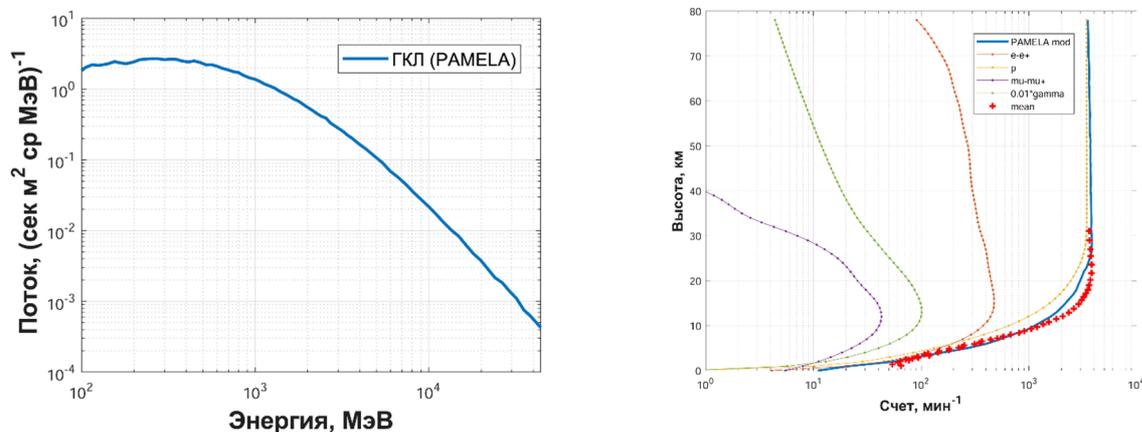
Как уже говорилось выше, для проведения моделирования использовался программный комплекс RUSCOSMICS, созданный на станции нейтронного монитора Апатиты при помощи пакета для разработки программ GEANT4 [6]. Одним из параметров, определяющих начальные условия, является спектр первичных частиц. В представленной работе расчет производился для протонов галактических КЛ (ГКЛ), энергетический спектр которых соответствовал минимуму солнечной активности, данные были получены при помощи аппарата PAMELA, график, полученный по дискретным значениям, представлен на рис. 1а. Вклад частиц в счет газонаполненного детектора, установленного на шар-зонд, можно выразить при помощи формулы 1.

$$J_{\text{общий}} = J_p + J_{e^+e^-} + J_{\mu^+\mu^-} + 0.01 \cdot J_\gamma, \quad (1)$$

где  $J_p$ - суммарный поток протонов,  $J_{e^+e^-}$  - суммарный поток электронов и позитронов,  $J_{\mu^+\mu^-}$ - суммарный поток мюонов,  $J_\gamma$ - суммарный поток гамма-квантов. Для того, чтобы смоделировать этот процесс в RUSCOSMICS на высотах от 0 до 80 км определяются детектирующие слои, с шагом через каждый километр. При пролете частицы, на которую определено срабатывание, к общему значению, сохраненному в ячейке массива для заданной высоте, прибавляется единица. Для гамма-кванта суммарные значения умножаются на среднюю эффективность регистрации счетчика Гейгера, составляющую 1 %. Также следует заметить, что при регистрации частицы детектирующий слой не оказывает влияния на ее параметры (невозмущающие измерения).

## Результаты

В результате моделирования прохождения протонов через атмосферу Земли при использовании энергетического спектра первичных частиц, полученного при помощи аппарата PAMELA и соответствующего периода минимума солнечной активности, были получены высотные профили скорости счета как для различного типа частиц (электроны, позитроны, протоны, мюоны, гамма-кванты), так и их суперпозиция. На рис. 1б представлено сравнение результата расчетов с усредненными реальными данными, полученными за январь 2010 г. в ходе проведения регулярного баллонного эксперимента.



**Рисунок 1.** Спектр протонов КЛ, полученный при помощи PAMELA в период 06.12.2009 г. – 01.01.2010 г. (а) и сравнение результата моделирования баллонного эксперимента с реальными данными, усредненными за месяц (январь 2010 г.) (б).

## Заключение

Как видно из представленного графика, сравнение данных, полученных во время запуска шара-зонда, и результатов моделирования прохождения протонов через атмосферу Земли для периода, в который проводился эксперимент дает очень хорошее согласие. На сегодня остается открытым вопрос о возникновении в ряде случаев некоторого несоответствия в области максимума скорости счета, что может быть связано с множеством факторов (невозможность учета всех параметров реальной атмосферы, неполное соответствие характера углового распределения первичных частиц и т.д.). Его решение может быть найдено только при помощи большего количества расчетов (набор статистики), а также расширения числа географических позиций проведения баллонного эксперимента при сохранении существующей на сегодня регулярности.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-02-00582.

## Литература

1. Маурчев Е.А., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б. и др. // Известия РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 5. С. 711;
2. Маурчев Е.А., Балабин Ю.В. // Солнечно-земная физика. 2016. Т. 2. № 4. С. 3-8; Maurchev E.A., Balabin Yu.V. // Solar-Terrestrial Physics. 2016. V. 2. Is. 4. P. 3-10.
3. Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A. et al. // Adv. in Space Res. 2009. V. 44. Is. 10. P. 1124-1137.
4. Adriani O., Barbarino G. C., Bazilevskaya G. A. et al. // The Astrophysical Journal. 2013. V. 765, N. 2, P. 1 – 8, doi:10.1088/0004-637X/765/2/91.
5. ГОСТ 25645.122-85. Протоны галактических космических лучей. Энергетические спектры.
6. Agostinelli S. et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2003. V. 506. Sect. A. P. 250.