

Регулярные и стохастические вариации в различных компонентах вторичных космических лучей

БАЛАБИН Ю.В., GERMANENKO A.B.

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия
balabin@pgia.ru, germanenko@pgia.ru

Аннотация

С помощью комплексной системы мониторинга вторичных космических лучей проведено исследование регулярных (сезонных) и стохастических (связанных с осадками) вариаций в нейтронной и электромагнитной компонентах. Обнаружено, что причины, вызывающие вариации электромагнитной компоненты, никак не проявляются в нейтронной.

Введение

В лаборатории космических лучей в течение нескольких лет ведется непрерывный мониторинг различных компонентов вторичных космических лучей (ВКЛ). К настоящему времени помимо стандартного 18-НМ-64 нейтронного монитора (НМ) в систему входит детектор гамма-квантов на сцинтилляционном кристалле (ДСК), бессвинцовая секция нейтронного монитора (БСНМ), детекторы заряженной компоненты (ДЗК) и тепловых нейтронов (ДТН). Сцинтилляционный детектор регистрирует кванты с энергиями от 20 кэВ до 5 МэВ, выходные каналы >20 кэВ, >100 кэВ, >200 кэВ, >1 МэВ. НМ чувствителен к нейтронам с энергиями более 50 МэВ, БСНМ – к нейтронам с энергиями от сотен кэВ до единиц МэВ [1], ДТН – тепловые нейтроны (~ 0.03 эВ), ДЗК регистрирует все заряженные частицы (мюоны, электроны, позитроны) с энергиями более 2 МэВ. подробное описание системы мониторинга приведено в [2]. Данные со всех приборов поступают в общую систему регистрации. Их общий анализ за последние несколько лет показал наличие сезонных вариаций в некоторых компонентах космических лучей. Наибольшая по амплитуде и четко выраженная вариация наблюдается в канале ДСК: более 20 %. Гамма-излучение (ГИ) в приземном слое атмосферы в основном возникает как тормозное излучения энергичных электронов, появляющихся при распаде мюонов. Кроме того, во время осадков наблюдаются возрастания ГИ, составляющие до 50 % и длящиеся многие часы. Предыдущие исследования показали, что загрязнение осадков какими-либо радионуклидами естественного или искусственного происхождения отсутствует [3 и 4].

Сезонные вариации

В Апатитах система мониторинга создана в завершенном виде, на станции Баренцбург (арх. Шпицберген) она работает в сокращенном виде: там установлены НМ и ДСК с выходными каналами >20 кэВ, >60 кэВ, >100 кэВ, >200 кэВ. Нейтронная, электронно-мюонная и электромагнитная компоненты (с энергиями в десятки МэВ и выше) вторичных космических лучей изучались уже много лет [1]. Гораздо менее изучено мягкое ГИ (до нескольких МэВ) в приземном слое атмосферы. Наличие данных за 4 года, собранных на станции Апатиты и Баренцбург, позволяют провести изучение и сравнение. На рис.1. приведены относительные изменения интенсивности потоков разных компонент ВКЛ на обеих станциях. Как видим, сезонные вариации на НМ отсутствуют, но наблюдается монотонное падение интенсивности на обеих станциях. Поскольку в анализ включены данные с 2009 г, когда Солнце прошло минимум активности, этот тренд является следствием 11-летней модуляции космических лучей в гелиосфере [5]. На БСНМ наблюдается такой же

тренд, однако, в теплый сезон происходит увеличение потока нейтронов средних энергий. С началом холодного сезона поток возвращается к прежнему значению. Наиболее примечательная вариация на детекторе ДСК. Амплитуда вариации составляет более 20 %. Большой разброс точек – это проявление стохастических вариаций, связанных с осадками. Еще показательней сезонная вариация ГИ в Баренцбурге.

Для уменьшения флуктуаций и выделения годовых вариаций применен метод наложения эпох. Описание метода есть в [6] Годовые профили вариаций в разных компонентах ВКЛ на ст. Апатиты приведены на рис.2.

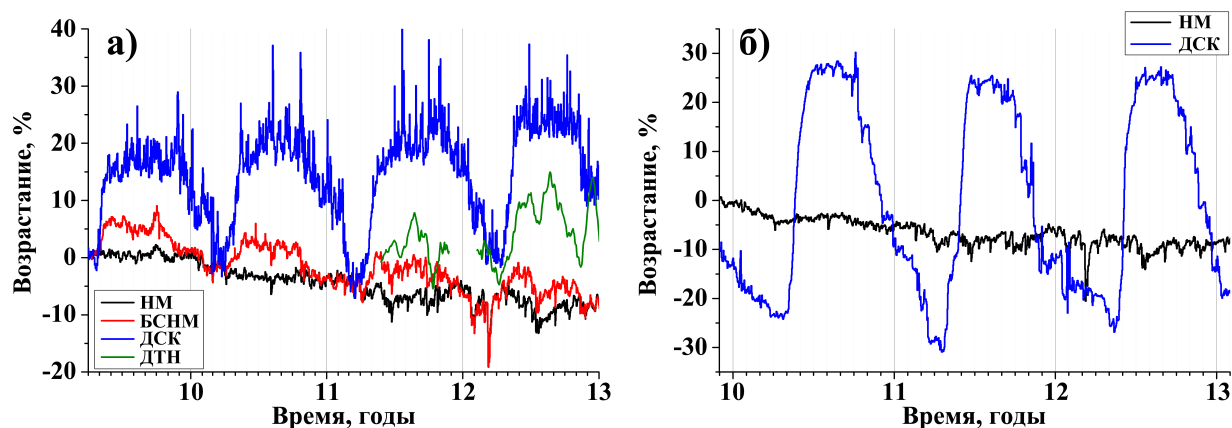


Рис. 1. а) – вариации интенсивностей потоков ВКЛ на ст. Апатиты. Черная линия – НМ, красная – БСНМ, синяя – ДСК, зеленая – ДТН. б) – то же самое для станции Баренцбург.

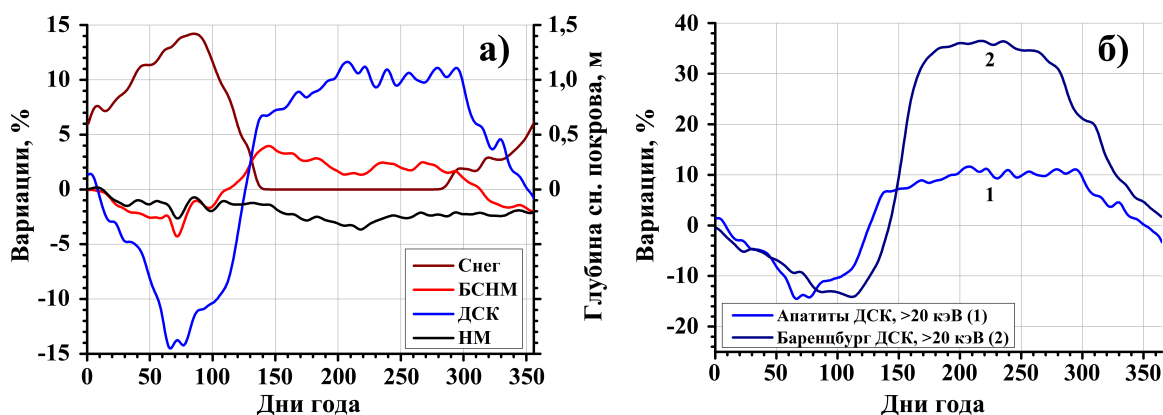


Рис. 2. а) – Годовая вариация на ст. Апатиты. Черной линией показан НМ, красной – БСНМ, синей – ДСК, коричневой дана толщина снежного покрова в м. б) – сравнение вариаций ДСК в Апатитах и Баренцбурге.

Применение метода наложения эпох позволило четко выделить сезонные изменения интенсивности в исследуемых компонентах ВКЛ. Как указывалось выше, общий убывающий тренд на НМ и БСНМ объясняется фазой роста солнечного цикла. Однако, с наступлением теплого сезона на БСНМ происходит увеличение потока $\sim 5\%$. Осенью после прихода холодов, промерзания почвы и выпадения снега уровень БСНМ возвращается к НМ. На рис.2а дополнительно к вариациям ВКЛ приведена толщина снежного покрова по данным [7]. Хорошо видно, что весной при таянии снежного покрова к концу апреля (~ 120 -й день года) начинает расти счет БСНМ. А осенью с появлением снежного покрова (~ 300 -й день года) он возвращается к обычному уровню. Естественное и простое объяснение – проявление эффекта от радона, поступающего в атмосферу из грунта. На НМ радон

не оказывает влияния, поскольку в его конструкции имеется защита от нейтронов локального происхождения [1]. Сложнее поведение профиля ДСК. Несомненно, состояние почвы играет определенную роль и обеспечивает часть возрастания в теплый сезон (радонная составляющая). Но полностью объяснить годовую вариацию этим путем не получается. В течение всей зимы поток ГИ падает, а после резкого "взлета" весной, совпадающего со сходом снежного покрова, продолжает расти до середины лета. Надо отметить, что по данным [7], минимум температуры в Апатитах приходится на февраль-март, а в Баренцбурге даже на апрель. Еще показательней сравнение профилей годовой вариации ДСК в Апатитах и Баренцбурге (рис.2б). Баренцбург находится в зоне вечной мерзлоты на широте 78° N, и выделение радона из почвы даже в теплый период весьма затруднено. Но амплитуда вариации там почти в 2 раза больше. По-видимому, определяющий фактор сезонных вариаций ДСК иной.

Вариации, связанные с осадками, в других компонентах ВКЛ

С первых дней работы системы мониторинга были обнаружены возрастания гамма-фона. В дальнейшем выяснилось следующее [3, 8]:

- возрастания сопровождаются в 95 % случаев осадками и происходят круглый год;
- амплитуда возрастных может достигать 50 % по каналам > 20 кэВ, > 100 кэВ, > 200 кэВ и в пределах ошибки измерений одна и та же, в канале > 1 МэВ она меньше;
- длительность возрастных варьируется от 2 часов до суток и определяется продолжительностью выпадения осадков;
- возрастания **не связаны** с загрязнением осадков какими-либо радионуклидами;
- возрастания происходят в основном в электромагнитной компоненте, потоки радиации в нейтронной и заряженной компонентах остаются без изменений.

Для прояснение картины и окончательного заключения об отсутствии влияния осадков – точнее, той причины, которая вызывает возрастания ГИ – на другие компоненты ВКЛ, было проведено настоящее исследование. Для этого из пяти сотен событий возрастания ГИ, зарегистрированных с начала работы системы в 2009 г, были отобраны 93 коротких (не более 3-4 часов) события. Отбор только коротких событий связан с тем, что в длительных событиях присутствует несколько случайным образом расположенных максимумов, соответствующих усилению дождя/снега, их трудно использовать. Методом наложения эпох получен средний профиль возрастания и сопровождающих его осадков. Максимум осадков принимался в качестве реперной точки. Результат показан на рис.3а. Во-первых, уверенно определяется временной промежуток между максимумами осадков и потока ГИ, составляющий 30-40 мин. Во-вторых, средний профиль осадков симметричен относительно своего максимума, в то время как профиль ГИ показывает существенную асимметрию: крутой передний фронт и медленный спад с характерным временем ~ 100 мин. В-третьих, максимум осадков приходится на максимальный рост ГИ. В общем, картина предстает следующая: осадки являются воздействующим активным фактором, а система, производящая фоновый поток ГИ, “реагирует” на это воздействие. Причем, воздействие является “ударным”, т.е. коротким по сравнению с релаксационным процессом в системе.

В другом исследовании отобраны события длительностью не более 6 часов и амплитудой возрастания не менее 15 %. Последнее условие введено, чтобы исключить малые возрастания, которые могут не проявить эффекта в других компонентах. Таких событий

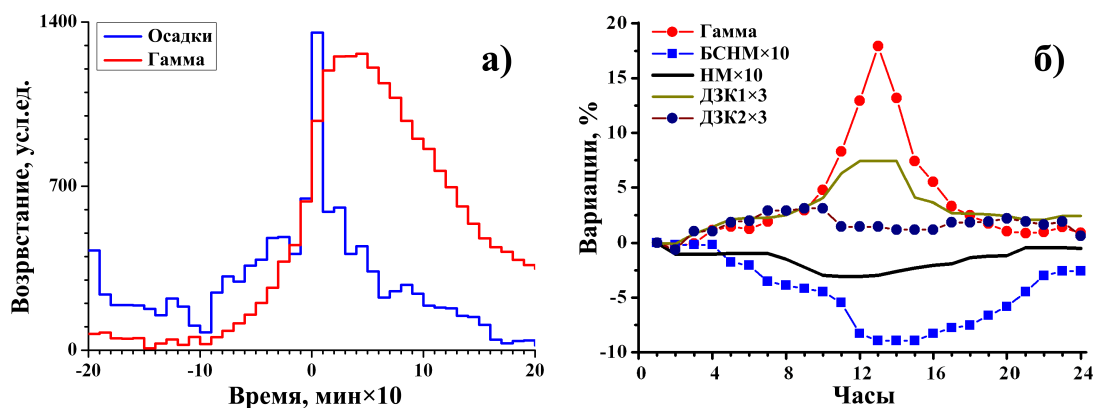


Рис. 3. а) – средние профили осадков и возрастания ГИ. б) – вариации в других компонентах ВКЛ, совпадающие с возрастанием ГИ. Расшифровка обозначений приведена на рисунках. Множители показывают, во сколько раз увеличен масштаб.

оказалось около сотни. Применена оригинальная методика, созданная авторами, на основе метода наложения эпох. Максимум возрастания гамма-фона принимался в качестве реперной точки. Результат показан на рис.3б. Как видим, вариации, синхронные с возрастаниями ГИ, действительно присутствуют в других компонентах ВКЛ. Они малы, и только благодаря этой методике их удалось выявить. Вариация в нейтронной компоненте на НМ составляет 0.3 %. Согласно [9], средней интенсивности дождь содержит в атмосфере (в виде капель) около 0.4 г/см^2 . Известно [6], что барометрический коэффициент на НМ составляет $0.72 \text{ \%/мб}$, в этом случае как раз получается ослабление $\sim 0.3 \text{ \%}$. Таким образом, вариация на НМ, сопутствующая возрастаниям ГИ, вполне исчерпывается появлением над НМ дополнительного вещества, привносимого осадками. Обычно эта вариация не наблюдаема на НМ, она тонет во флуктуациях, обусловленных условиями в космическом пространстве и магнитосфере Земли. Новая методика, как видим, позволила выявить это малое воздействие. Вариация в нейтронной компоненте на БСНМ больше. Это объясняется тем, что он чувствителен к нейтронам меньших энергий. В связи с осадками в окружающей среде появляется больше атомов водорода, которые эффективно тормозят и рассеивают нейтроны. Вариации ДЗК очень важны. Вариация в канале верхнего слоя (ДЗК1) счетчиков отчетлива и не вызывает сомнений. В то же время вариация в канале совпадений верхнего и нижнего слоев (ДЗК2) практически отсутствует. Это четко указывает на то, что вариация в верхнем слое обусловлена гамма-квантами. Дело в том, что счетчики Гейгера-Мюллера имеют небольшую чувствительность к ГИ [10], обусловленной образованием δ -электронов в материале трубок или окружающих предметах. Но такие электроны не могут вызвать срабатывание трубок в двух слоях.

Заключение

Можно утверждать со всей определенностью, что сопутствующие осадкам малые вариации в других компонентах излучения действительно присутствуют. Однако, вариации в нейтронной компоненте вызваны изменением количества вещества, проходящего космическими лучами. Соотношение вариаций на детекторе заряженной компоненты указывает на то, что во время возрастаний ГИ дополнительных заряженных частиц с энергиями более 5 МэВ не возникает. Словом, малые вариации в других компонентах, связанные с возрастанием ГИ, вполне объясняются известными причинами. Главный вывод: причина, вызывающая возрастания ГИ, действует только на эту компоненту ВКЛ и никак не затрагивает другие. Для понимания происходящих процессов необходимы дальнейшие

Литература

1. *Дорман Л.И.* Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М.: Наука, 1975, 357 с.
2. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Schur. L.I., Vashenyuk E.V.* Study of gamma-radiation connected to atmospheric precipitation //, Proc. XXXIII Annual Seminar Physics of Auroral Phenomena, Russia, Apatity, 2011, pp. 163 – 166.
3. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Vashenyuk E.V., Gvozdevsky B.B.* High-energy photons connected to atmospheric precipitations // Astrophys. Sp. Sci. Trans. 2011, 7, pp 471-475.
4. *Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B. and Vashenyuk E.V.* // Proc. of 23rd ECRS, Russia, Moscow, 3–7 July 2012, GEO626.
5. *Дорман Л.И.* Вариации космических лучей и исследование космоса. М.: Издательство Академии наук СССР, 1963, 1028 с.
6. *Дорман Л.И.* Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука, 1972, 210 с.
7. Интернет-ресурс <http://rp5.ru/1122/ru>
8. *Gvozdevsky B.B., Balabin Yu.V., Germanenko A.V. Vashenyuk E.V.* On the origin of X-ray increases during precipitations // <http://galprop.stanford.edu/elibrary/icrc/2011/papers.html#0863>
9. *Матвеев Л.Т.* Курс метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984, 752 с.
10. *Фюнффер Э., Нойерт Г.* Счетчики излучений. М., Госиздат, 1961. 372 с.

Regular and stochastic variations in different components of secondary cosmic rays

Balabin Yu.V., Germanenko A.V.

Polar Geophysical Institute of RAS, Apatity, Russia

In the Laboratory of Cosmic Rays continuous monitoring of the different components of secondary cosmic rays has been carried out for several years. At the present time, besides the standard neutron monitor (NM), a gamma-ray photon detector on the scintillation crystal, lead-free section of neutron monitor (BNM), charged particle detectors (CPD) and a detector for thermal neutrons (DTN) are in operation. Scintillation detector registers photons with energies from 20 keV up to 5 MeV, NM is sensitive to neutrons with energies more then 50 MeV, BNM is to neutrons with energies from hundreds keV to a few MeV, DTN is for thermal neutrons (about 0.03 eV). CPD detects all charged particles (muons, electrons, positrons) with energies >2 MeV. Data from all the instruments are gathered to the general registration system. Analysis of the data over the past few years has shown the presence of seasonal variations in some components of cosmic rays. The HM has a zero variation, the DTN it is about 10%. The

largest in amplitude and the more clearly defined is the variation observed in the channel of the scintillation detector, it is more than 20%. Gamma radiation in the near ground layer of the atmosphere appears as Bremsstrahlung of energetic electrons generating during muon decay. Moreover during precipitation the increase of gamma background up to 50% are observed; they last for many hours. Experiments have shown, that precipitation is free from any radionuclide of natural or artificial origin, and additional radiation is of Bremsstrahlung origin. On the basis of epoch superposition method, small variations in other components, synchronous with gamma background increase, were determined.