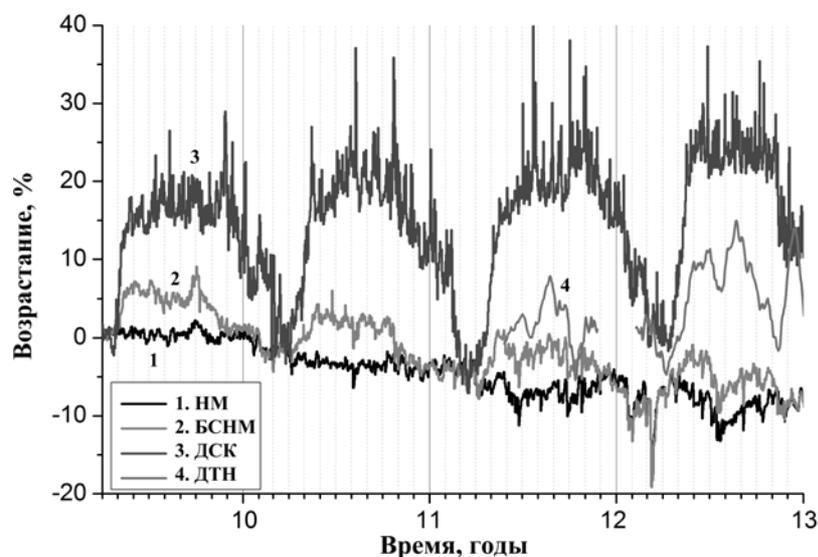


## СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ВТОРИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Ю.В. Балабин, А.В. Германенко (*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*)

### 1. Введение

В лаборатории космических лучей в течение нескольких лет ведется непрерывный мониторинг различных компонентов вторичных космических лучей. К настоящему времени помимо стандартного нейтронного монитора (18-НМ-64) работают детектор гамма-квантов на сцинтилляционном кристалле (СК), 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, нейтронный монитор (НМ) чувствителен к нейтронам с энергиями более 50 МэВ, БСНМ – к нейтронам с энергиями сотни кэВ – единицы МэВ [1], ДТН – тепловые нейтроны (порядка 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 анализ за последние несколько лет показал наличие сезонных вариаций в некоторых компонентах космических лучей. В ряду «нейтронный монитор – бессвинцовая секция – детектор тепловых нейтронов» амплитуда вариации нарастает с уменьшением энергетического диапазона принимаемых нейтронов. На НМ вариация нулевая, на ДТН – около 10 %. Плотность потока нейтронов больших энергий определяется космическими лучами, тогда как нейтроны меньших энергий получаются в результате торможения высокоэнергичных, следовательно, их поток существенно зависит от условий состояния среды. Наибольшая по амплитуде и четко выраженная вариация наблюдается в канале сцинтилляционного детектора (ДСК) – более 20 %.

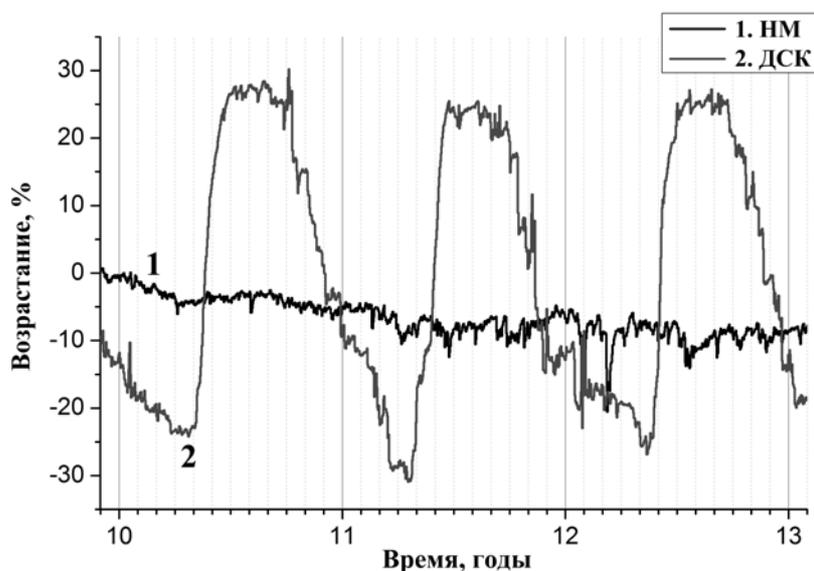


**Рис. 1** Вариации интенсивности вторичных космических лучей на станции Апатиты в течение 2009-2012 гг. Линия 1 – нейтронный монитор (НМ) 18-НМ-64; линия 2 – бессвинцовая секция (БСНМ) 4-НМ-64; линия 3 – детектор СК (ДСК), регистрирующий кванты с энергией > 20 кэВ; линия 4 – детектор тепловых нейтронов (ДТН).

Гамма-излучение в приземном слое атмосферы возникает как тормозное излучения энергичных электронов, появляющихся от распада мюонов, и можно предположить, что электрическое поле атмосферы влияет на полную энергию мюонов, что, в конечном счете, сказывается на потоке гамма-квантов. 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, 4].

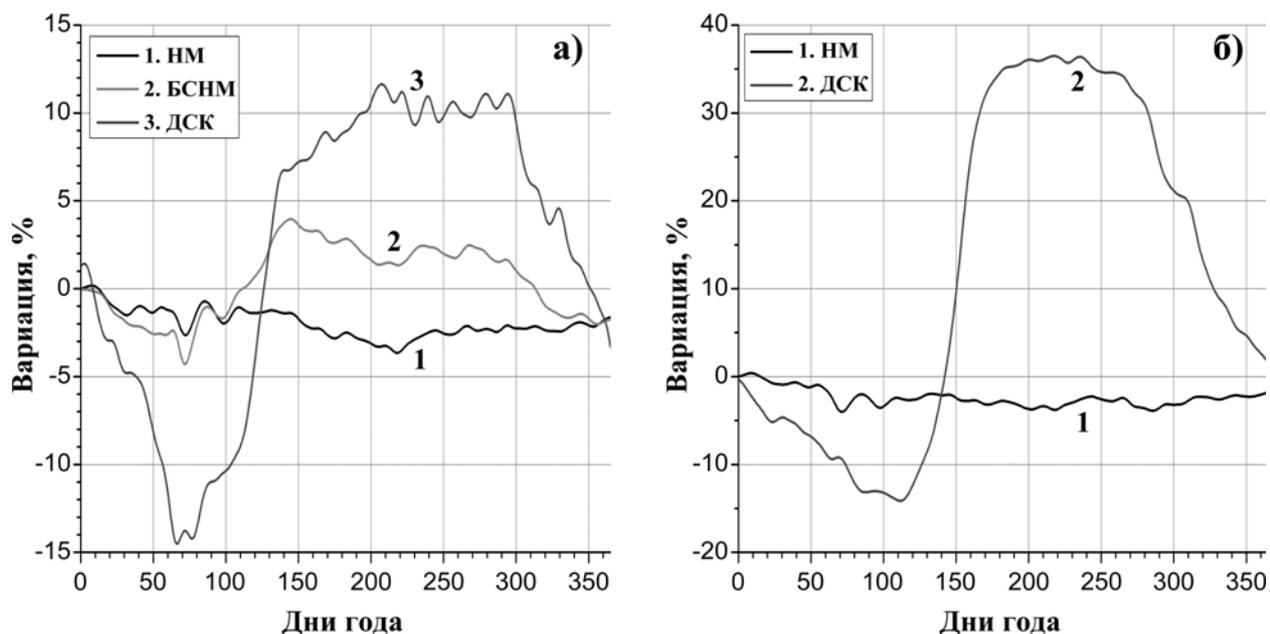
## 2. Сезонные вариации

В Апатитах система мониторинга создана в завершённом виде, на станции Баренцбург (арх. Шпицберген) она работает в сокращённом 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 изучалась 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 и 2 показаны вариации интенсивности вторичных космических лучей на станциях Апатиты и Баренцбург соответственно. С 2009 наблюдается падение интенсивности космических лучей по данным НМ. Это связано с 11-летним циклом солнечной активности, минимум которой пройден в 2008-2009 гг. [5]. Других существенных вариаций на НМ не наблюдается. В целом поведение БСНМ совпадает с НМ, однако, каждый год в тёплый сезон появляется дополнительный поток, регистрируемый БСНМ. С началом морозов это дополнительный поток иссякает, и уровень возвращается к НМ. Это наглядное влияние на БСНМ радона, выделяющегося из почвы в тёплый сезон. В зимний период с началом промерзания почвы и появлением снежного покрова выход радона прекращается, и БСНМ регистрирует только космические лучи, как и НМ. Отсутствие же влияния радона на НМ объясняется высоким энергетическим порогом и наличием полиэтиленового отражателя. Наибольшая вариация наблюдается в электромагнитной (мягкое гамма-излучение) компоненте (СК). Вариация имеет выраженный несимметричный характер: достаточно широкий плоский максимум на протяжении большей части года и резкий провал в весенний период.

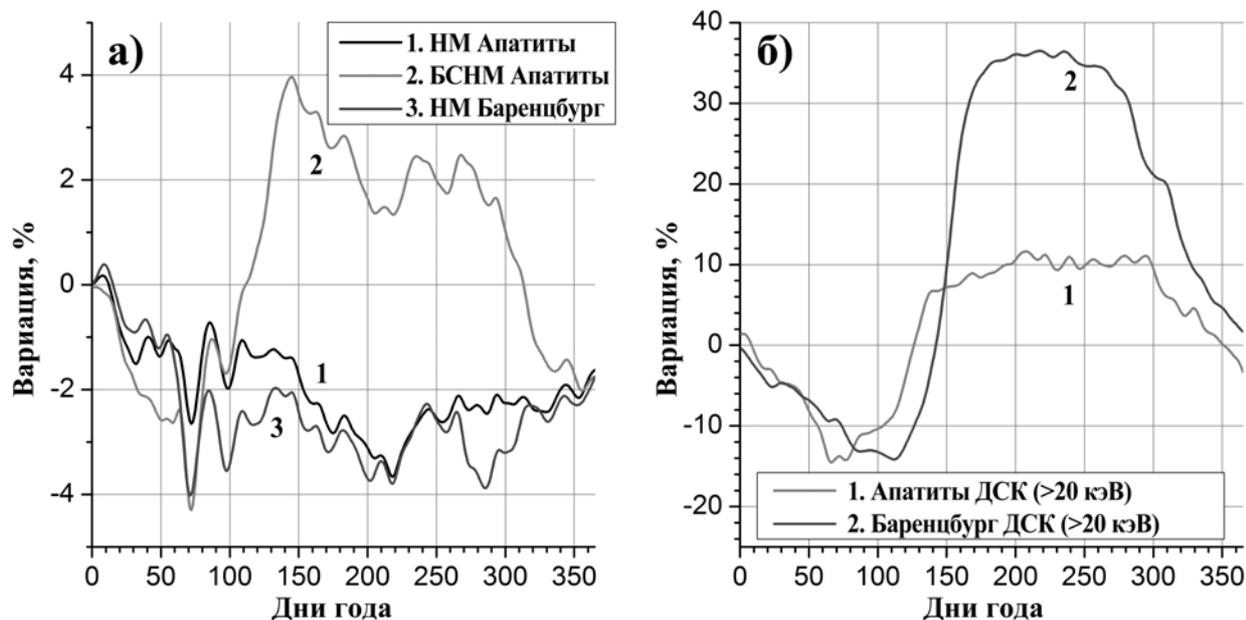


**Рис. 2** Вариации интенсивности вторичных космических лучей на станции Баренцбург в течение 2010-2012 гг. Линия 1 – нейтронный монитор (НМ) 18-НМ-64; линия 2 – детектор гамма-квантов с энергией  $> 20$  кэВ.

Для уменьшения флуктуаций и выделения годовых вариаций применен метод наложения эпох. Описание метода есть в [6]. На рис. 3, 4 и 5 для Апатитов и Баренцбурга показаны среднегодовые вариации, вычисленные методом наложения эпох. На рис. 6 приведена среднегодовая вариация в каналах БСНМ и СК вместе с высотой снежного покрова. Появление дополнительного потока на БСНМ одновременно со сходом снежного покрова не вызывает сомнений и было объяснено выше. В то же время связь вариации в канале СК с выделением радона менее очевидна. Во-первых, поток гамма-квантов продолжает падать на протяжении большей части холодного сезона, хотя почва давно промерзла, и поток радона прекратился, во-вторых, амплитуда вариации СК в Баренцбурге даже больше, чем в Апатитах. Однако, Шпицберген – зона вечной мерзлоты, и выход радона затруднен круглый год. Несомненно, эффект радон присутствует, но помимо него действует еще какой-то фактор. Возможно, это высотный профиль температуры атмосферы. 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.



**Рис. 3 а)** Средняя годовая вариация на ст. Апатиты за период 2009-2012 гг. Вычислена методом наложения эпох. Линия 1– нейтронный монитор (НМ) 18-НМ-64; линия 2 – бессвинцовая секция (БСНМ) 4-НМ-64; линия 3 – детектор гамма-квантов с энергией > 20 кэВ. **б)** Средняя годовая вариация на ст. Баренцбург за период 2009-2012 гг. вычислена методом наложения эпох. Линия 1– нейтронный монитор (НМ) 18-НМ-64, линия 2– детектор гамма-квантов с энергией > 20 кэВ.



**Рис. 4** Среднегодовые вариации в Апатитах и Баренцбурге на нейтронных мониторах (а) и в каналах ДСК (б). Непосредственно из графика можно оценить вклад радона в счет БСНМ. Он равен 5-6 % от фона.

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 780 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.

### 3. Заключение

1. Методом наложения эпох по данным за 2009-2012 гг. найдены годовые вариации в различных компонентах вторичных космических лучей.
2. Обнаружено влияние на счет БСНМ локальных условий, а именно: состояния почвы. После схода снега и оттаивания почвы счет БСНМ увеличивается. Возвращение счета БСНМ к уровню НМ совпадает с появления снежного покрова и началом промерзания почвы. Это позволяет заключить, что вариации на БСНМ связаны с выделяющимся из почвы радоном.
3. В то же время вариация в электромагнитной компоненте имеет существенно иную форму. По-видимому, действует совокупность нескольких факторов. Поскольку происхождение мягкого гамма-излучения в приземном слое атмосферы связано с потоком мюонов, одним из таких факторов может быть сезонные вариации высотного температурного профиля атмосферы. Для однозначного вывода пока недостаточно данных.

### Список литературы

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, 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, 471-475.
4. Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B. and Vashenyuk E.V. // Proc. of 23<sup>nd</sup> ECRS, Russia, Moscow, 3–7 Jule 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. <http://rp5.ru/1122/ru>.