

ВАРИАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ

Ю.В. Балабин¹, Н.М. Салихов², О.Н. Крякунова², Г.Д. Пак², А.Л. Щепетов³, А.В. Германенко¹,
Э.В. Ващенко¹

¹Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия.

²ДТОО "Институт ионосферы" АО "Национальный центр космических исследований и технологий", Алматы, Казахстан.

³ФИАН, Москва, Россия.

Аннотация. Исследованы вариации естественного рентгеновского фона в приземном слое атмосферы в энергетическом диапазоне от 20 кэВ до сотен кэВ с разбиением на 2 поддиапазона. Измерения рентгеновского фона выполнены на трех станциях: г. Апатиты (Мурманская обл.), п. Баренцбург (арх. Шпицберген) и г. Алматы (Казахстан) с помощью сцинтилляционных детекторов. Обнаружена устойчивая связь возрастных рентгеновского фона с выпадением осадков. Профили возрастных на всех станциях достаточно близки по форме. Определены вариаций показателя энергетического спектра рентгеновского излучения во время возрастных. Найдено, что во время возрастных происходит ужесточение спектра (показатель уменьшается), кроме того, наблюдается линейная связь между амплитудой возрастания и относительной вариацией показателя: большей амплитуде возрастания соответствует более жесткий спектр.

1. Введение

Исследования вариаций естественного рентгеновского (гамма) фона в приземном слое атмосферы, приходящего из верхней полусферы, в энергетическом диапазоне от 20 кэВ до 300-400 кэВ ведутся в ПГИ уже четвертый год. Используются детекторы на основе кристалла NaI размером Ø63×20 мм. Датчики, калиброванные по линиям Am241 (27 и 60 кэВ), размещены на станциях космических лучей в Апатитах (Мурманская обл.) и Баренцбурге (арх. Шпицберген). Измерения проводятся в интегральных каналах >20 кэВ и >100 кэВ. Кроме того, в Апатитах параллельно регистрируется интенсивность осадков прибором, разработанным в лаборатории атмосферы Арктики ПГИ [1].

Аналогичные детекторы рентгеновского фона установлены на высокогорной станции космических лучей ФИАН в Казахстане на высоте 3200 м на Памире. При обработке данных получены интегральные каналы >30 кэВ и >80 кэВ.

2. Результаты измерений

За несколько лет наблюдений на станциях ПГИ рентгеновского фона в приземной атмосфере зарегистрированы сотни событий (возрастных). Эта накопленная база данных позволяет с хорошей статистической точностью выявить характерные особенности, присущие данным событиям.

Во-первых, твердо установлено, что возрастания рентгеновского фона в 95 % (на ст. Апатиты) случаев происходят при осадках (твердых или жидких). Остальные случаи возрастных приходится на густые туманы, случающиеся в сильные морозы.

Во-вторых, дополнительные эксперименты в Апатитах [2, 3] показали, что эти возрастания не связаны с какими-либо радионуклидами и затрагивают только электромагнитную компоненту естественного радиационного фона, в то время как в заряженной компоненте (протоны, электроны, мюоны) вариации отсутствуют. Согласно [4, 5], рентгеновское излучение в тропосфере имеет тормозную природу.

В-третьих, в среднем амплитуды возрастных зимой 1.5-2 раза меньше, чем летом (для Апатитов). В Баренцбурге сезонные изменения амплитуды отчетливо не заметны, однако, в целом возрастания на этой станции меньше, чем в Апатитах.

Однако, до последнего времени наблюдения вариаций проводились только на полярных станциях ПГИ, не было ясно, присуще это явления только полярной атмосфере или нет. В работах [6, 7] исследовались вариации заряженной (электронов и мюонов) компоненты излучения, связанные с грозовой активностью в экваториальной зоне. После того, как начались измерения рентгеновского фона на Памире с помощью сцинтилляционного детектора, аналогичного применяющемуся в ПГИ, и были обнаружены вариации, связанные с осадками, можно считать, что данное явление присуще атмосфере в целом. При этом наблюдаемые возрастания не связаны с грозовой активностью, особенно это касается наблюдений на ст. Баренцбург (780 с.ш.).

На всех трех станциях обнаружены возрастания гамма-фона, связанные с осадками (рис.1а-в). Возрастания наблюдаются круглый год (в Апатитах и Баренцбурге, в Алматы наблюдение проводятся

только летом), амплитуда их достигает в отдельных событиях 50-60 %. Длительность таких событий варьируется от 1-2 часа до 10 часов и более – в зависимости от типа осадков и их продолжительности. При этом максимум осадков (по данным станции Апатиты) практически всегда опережает максимум возрастания.

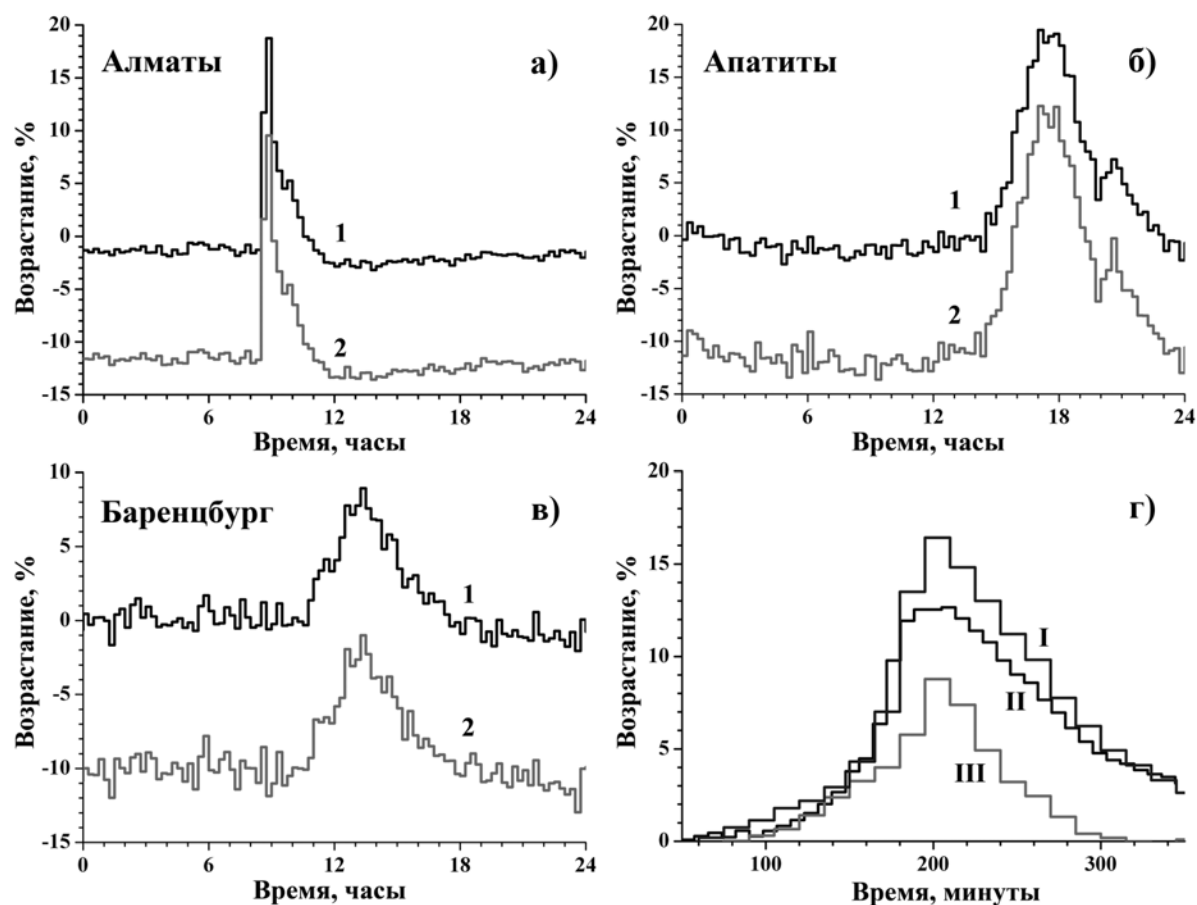


Рис. 1. Характерные профили возрастных рентгеновского фона на станциях: **а)** Алматы, **б)** Апатиты, **в)** Баренцбург. Профили >80 кэВ для Алматы и >100 кэВ для Апатитов и Баренцбурга сдвинуты по вертикальной оси вниз на 10 % для удобства восприятия. **г)** Средние профили возрастных для трех указанных станций: I - Алматы, II - Апатиты, III - Баренцбург. Профили получены методом наложения эпох, в качестве реперной точки в каждом возрастании взят максимум. Для Апатитов и Баренцбурга использована трехлетняя база данных (2009-2011), содержащая около 200 и 50 событий соответственно, произошедших в теплый период. Данные по Алматы охватывают три месяца: июнь-август 2011 г. и содержат 23 события.

На основе обширной базы собранных событий (возрастных фона), накопленной за несколько лет, выполнен поиск закономерностей в этих событиях. События отсортированы по сезонам (холодный и теплый), отличающихся типом осадков: твердые или жидкие, затем методом наложения эпох получены средние профили возрастных (рис.1г). Обращает на себя внимание рост средней амплитуды возрастания по мере перехода от полярной области к умеренным широтам, а также переход от симметричной формы в Баренцбурге к явной асимметрии на ст. Алматы. Апатиты при этом занимают промежуточное положение.

Несомненно, очень важным является вопрос: что представляет собой дополнительное излучение, накладывающееся на фоновый поток и вызывающее возрастание? Опираясь на данные двух интегральных каналов, и предположив, что спектральная функция в указанном энергетическом диапазоне несильно отличается от степенной зависимости, попытаемся это определить. Иными словами, задав интегральный спектр рентгеновского излучения в виде [5]:

$$I(>E) = J_0 \cdot E^{-\gamma} \quad (1)$$

где $I(>E)$ – интегральный спектр, J_0 – интенсивность потока излучения, E – энергия гамма-квантов, γ – показатель спектра, исследуем вариации спектра при возрастаниях. Меняется ли при возрастаниях наклон спектра? Или же испытывает вариации лишь величина J_0 ? Если спектр (1) измерен при двух значениях энергии E_1 и E_2 , то можно вычислить наклон этого спектра (величину γ) по формуле:

$$\gamma = - \frac{\ln \left(\frac{I(> E_1)}{I(> E_2)} \right)}{\frac{E_2}{E_1}} \quad (2)$$

Для Апатитов и Баренцбурга $E_1 = 20$ кэВ, $E_2 = 100$ кэВ, для Алматы $E_1 = 30$ кэВ, $E_2 = 80$ кэВ. Вычисления показателя γ по выражению (2) в ясную погоду (фон) и во время возрастания показывают, что во время возрастаний происходит ужесточение спектра (показатель γ уменьшается). Чтобы лучше подчеркнуть эти вариации, на рис.2 изменения значений γ даны не в абсолютных значениях, а в процентах $\Delta\gamma$ по отношению к γ_0 – величине фонового показателя. Вполне отчетливо наблюдается линейная связь между относительной амплитудой возрастания и относительной вариацией показателя: большей амплитуде возрастания соответствует большее значение $\Delta\gamma$ по абсолютной величине, т.е. наклон спектра уменьшается, квантов с большими энергиями становится больше.

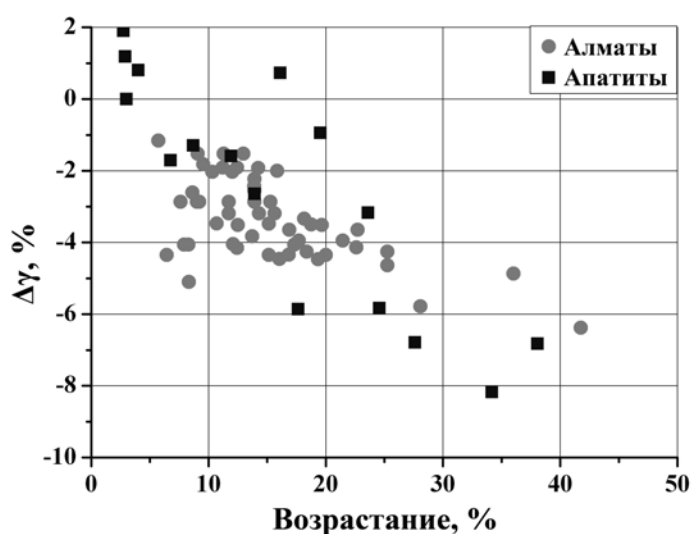


Рис. 2. Зависимость изменения показателя спектра γ от амплитуды возрастания для Апатитов и Алматы. Отрицательные значения изменений γ означают, что во время возрастаний спектр ужестчается. Наблюдается линейная зависимость между вариацией показателя спектра и амплитудой возрастания, так что возрастанию амплитудой в 30 % соответствует изменение γ на 6 %.

3. Заключение

Проведены измерения рентгеновского фона, связанных с осадками, в различных географических пунктах от арктических широт до средних. На всех станциях обнаружены возрастания, сопровождающиеся осадками. Методом наложения эпох вычислены средние профили возрастаний для станций. Профили имеют подобную форму, хотя отличаются по амплитуде.

Найдена зависимость вариации показателя степенного спектра рентгеновского фона от амплитуды возрастания. С увеличением амплитуды возрастания показатель степенного спектра γ линейно уменьшается, т.е. спектр тем жестче, чем больше возрастание. Таким образом, осадки, вызывающие вариации рентгеновского излучения в приземной атмосфере, изменяют не только его интенсивность, но и спектр.

Список литературы

- [1] Шишаев В. А., Белоглазов М. И. // ПТЭ, 2011, №2, с. 156-158.
- [2] Gvozdevsky B.B., Balabin Yu.V., Germanenko A.V. and Vashenyuk E.V. // Proc. of 32nd ICRC (China, Beijing, 11–18 August 2011), Id 863.
- [3] A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky, L.I. Schur, E.V. Vashenyuk // Astrophys. Space Sci. Transactions, 2011, V.7, p.471-475.
- [4] Гайтлер В. Квантовая теория излучения. М.: ИЛ, 492 с., 1956.
- [5] Хаякава С. Физика космических лучей. Часть 1. М.: Мир, 701 с., 1973.
- [6] de Mendonca R.R.S., Raulin J.-P., Bertoni F.C.P., Echer E., Makhmutov V.S., Fernandez G. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2011, V.73, p.1410–1416.
- [7] Лидванский А.С., Хаердинов Н.С. // Изв. РАН сер. физ., 2007, Т. 71, № 7, с.1060-1062.