

ПРИРОДА ВАРИАЦИЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ОСАДКОВ

А.В. Германенко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский

NATURE OF GAMMA RADIATION VARIATIONS DURING ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS

A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky

В Полярном геофизическом институте создана комплексная установка и ведется непрерывный мониторинг различных компонентов вторичных космических лучей. Обнаружены возрастания гамма-излучения во время осадков. Серия экспериментов показала, что загрязнение осадков какими-либо радионуклидами естественного или искусственного происхождения отсутствует, а дополнительное излучение имеет тормозную природу. Предложен механизм, удовлетворительно описывающий данное явление.

The complex installation for continuous monitoring various components of the secondary cosmic rays has been created in the Polar Geophysical Institute. Data analysis showed the presence of increases in gamma-radiation during precipitation. A series of experiments showed that any radionuclide's contaminated is absent, and the additional radiation is Bremsstrahlung. Mechanism that satisfactorily describes this phenomenon has been proposed.

Введение

В лаборатории космических лучей в течение нескольких лет ведется непрерывный мониторинг различных компонентов вторичных космических лучей. Влияние грозовой активности на поток вторичных космических лучей в глубине атмосферы является известным фактом [Лидванский 2007; de Mendonça, 2011]. Правда, это касается в первую очередь мюонов. Показано, что основной причиной возникновения избыточного потока космических лучей во время гроз являются частицы, ускоренные сильными электрическими полями внутри грозового облака. В организованном в Полярной геофизическом институте мониторинге низкоэнергичного рентгеновского (гамма) фона на уровне земли регистрировались возрастания, как правило, связанные с атмосферными осадками. Следует отметить, что в субарктическом регионе (Апатиты), грозы наблюдаются редко, а возрастания гамма-фона при осадках происходят круглый год. Тем не менее, в качестве причины возрастаний, связанных с осадками, мы предполагаем электрическое поле облаков (пусть не такое сильное, как в грозовых облаках), которое доускоряет электроны и тем создает дополнительное тормозное рентгеновское излучение, проникающее до уровня земли. Было установлено, что наблюдаемые возрастания гамма-фона не связаны с какими-то антропогенными либо природными радионуклидами, а являются следствием изменения условий взаимодействия космического излучения с атмосферой.

Комплексная установка измерения радиации

К настоящему времени помимо стандартного нейтронного монитора (НМ) на станции в Апатитах работают: детектор гамма-квантов на сцинтилляционном кристалле (СДР), бессвинцовая секция нейтронного монитора (БСНМ), детекторы заряженной компоненты (ДЗК) и тепловых нейтронов (ДТН).

Стандартный НМ чувствителен к нейтронам с энергиями >50 МэВ [Дорман, 1975]. БСНМ регистрирует нейтроны с энергиями порядка от сотен кэВ до единиц МэВ. Детекторы рентгеновского излучения созданы на основе кристаллов NaI(Tl) $\varnothing 62 \times 20$ мм (малый) и $\varnothing 150 \times 100$ мм (большой). Проводится регистрация в интегральных каналах >20 и >100 кэВ.

Сигнал с большого детектора обрабатывается 4096-канальным амплитудным анализатором, что позволяет получать дифференциальные спектры гамма-фона в диапазоне 0.02–4 МэВ с временем накопления 30 мин. Детектор заряженной компоненты собран на газоразрядных счетчиках СТС-6. Счетчики располагаются в два горизонтальных ряда по 8 штук. Используется выход с верхнего ряда (детектор общего потока радиации или ДОП) и со схемы совпадений нижнего и верхнего рядов (МЭК). Верхний ряд регистрирует общий поток заряженной и электромагнитной компонент, а поскольку СТС-6 имеют малую эффективность по отношению к рентгеновскому излучению, то схемой совпадений будет выделена только заряженная составляющая излучения, т. е. мюоны и электроны.

Для измерения интенсивности осадков используется метод обратного рассеяния ИК-излучения каплями дождя или снега. Датчик изготовлен в ПГИ лабораторией атмосферы Арктики [Шишаев, 2011]. Он не калиброван в абсолютных единицах и используется только для качественных оценок интенсивности осадков.

Непрерывные наблюдения с помощью спектрометров СДР в Апатитах были начаты летом 2009 г. и продолжаются по настоящее время на двух ст. Апатиты и Баренцбург.

Вариации во время осадков

Во время осадков наблюдаются возрастания гамма-фона, составляющие до 50 % и длящиеся много часов. Всего за время наблюдений было зарегистрировано более 500 таких событий возрастания приземного фона гамма-излучения. События происходят независимо от сезона: как зимой, так и летом. Была выявлена явная связь между обнаруженными нами возрастаниями и сопровождающими их метеорологическими явлениями. Практически все возрастания сопровождались обильными осадками (дождь или снег) и плотной, сплошной облачностью с нижней кромкой ниже 600 м.

Серия проведенных экспериментов показала, что загрязнение осадков какими-либо радионуклидами естественного или искусственного происхождения отсутствует [Vashenyuk, 2011]. На рис. 1, а приведен пример типичного возрастания по данным интегральных каналов.

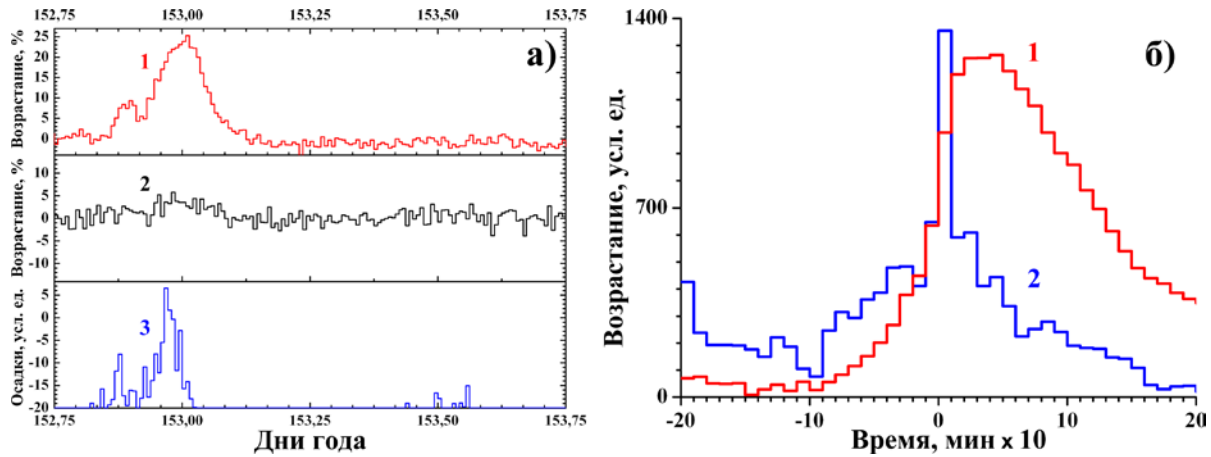


Рис. 1. Типичный профиль возрастания гамма-фона (1), детектора заряженной компоненты (2) и осадков (3). (а); средние профили осадков (2) и возрастаний (1), построенные методом наложения эпох (б).

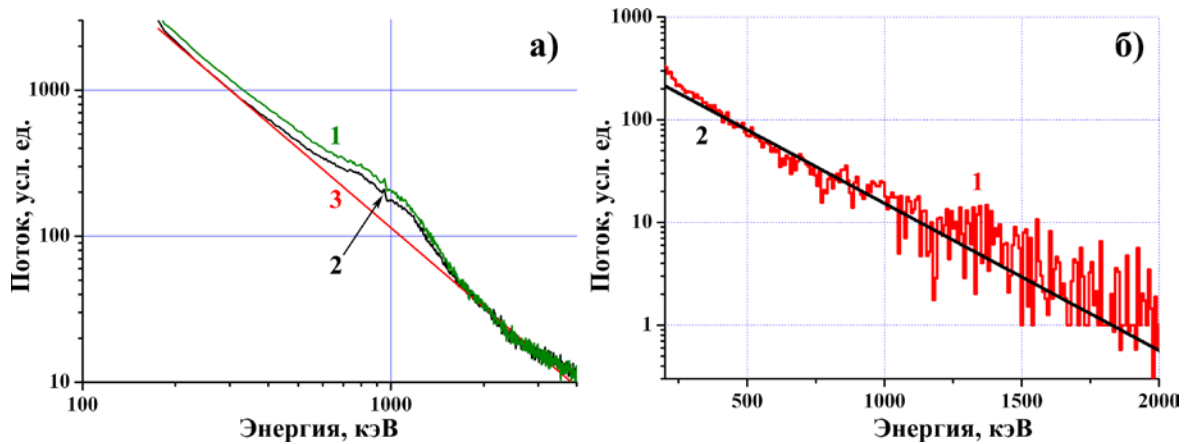


Рис. 2. Дифференциальные спектры: фона (2) и во время возрастания (1), а также аппроксимация (3) фонового спектра степенной функцией (а); разность спектров, являющаяся спектром собственно возрастания (1) и его аппроксимация (2) экспоненциальной функцией (б).

Методом наложения эпох вычислен средний профиль возрастания и осадков, в качестве реперной точки установлен максимум осадков. Каждый профиль перед наложением нормировался. В итоге получен средние профили осадков и возрастания гамма-фона (рис. 1, б). Максимум осадков приходится на наибольший рост излучения, а его максимум достигается через 30–40 мин после максимума осадков. В целом такое соотношение соответствует ударному воздействию (осадки) и отклику инерционной системы (гамма-фон) со средним временем релаксации ~100 мин.

Прямые измерения дифференциального спектра фонового гамма-излучения, приходящего из верхней полусферы, ясно показали, что излучение имеет тормозную природу. На это указывает степенная зависимость и показатель ГГГГ равен -1.8 . Пример дифференциального спектра фонового гамма-излучения показан на рис. 2, а. Там же приведен спектр во время события. Невооруженным глазом видно, что на энергиях выше 2 МэВ спектры сливаются, что устанавливает верхний энергетический предел события. Разность между дифференциальным спектром, измеренным во время события, и спектром, полученным в ясную погоду перед возрастанием, означает спектр добавочного излучения

(СДИ), поток который накладывается на фон и регистрируется как возрастание. Было выявлено принципиальное различие между фоновым спектром и СДИ. Последний имеет экспоненциальную зависимость на интервале 0.2–3 МэВ. На рис. 1, б показан типичный спектр СДИ и его аппроксимация экспоненциальной функцией. Следует отметить, что измерения дифференциальных спектров приземного гамма-фона в малых энергиях и определение спектра излучения, вызывающего возрастание при осадках, сделано впервые.

Спектральные измерения показали, что возрастание происходит в диапазоне 0.02–2 МэВ. Несмотря на то, что наблюдения возрастания ведутся много лет, полного понимания причины и механизма генерации достичь пока не удастся. Основная гипотеза – генерация дополнительного тормозного излучения легкими заряженными частицами в сильном электрическом поле облаков. Главные трудности: во-первых, в полярных регионах грозовая активность мала и очень редка, зимой вообще отсутствует, во-вторых, длина пробега гамма-квантов с энергиями в сотни кэВ не превосходит 100–300 м, следовательно, место их генерации не может быть выше 1 км. По результатам измерений дифференциального спектра гамма-излучения при осадках был вычислен допол-

нительный поток энергии, переносимый этим излучением. Затем на основе общих предположений о процессе переноса энергии и средних параметрах дождевого облачного слоя сделана оценка напряженности электрического поля в облаке, необходимой для создания такого потока энергии. В идеальных условиях такой дополнительный поток энергии будет обеспечен уже при 2 кВ/м. В реальных условиях это значение может несколько увеличиться, однако полученная оценка напряженности электрического поля в дождевых облаках весьма близка к значениям, полученным прямыми измерениями: типичное значение 5–10 кВ/м, в отдельных случаях она достигает 16 кВ/м [Rust, 2002]. Основная трудность в том, что в такой плотной среде, как нижняя атмосфера, ускорение легких частиц в столь слабых полях не будет происходить [Гуревич, 2001]. Энергичные легкие частицы (электроны и позитроны) в атмосфере возникают при распаде мюонов. Мюоны из-за большой массы не имеют потерь на тормозное излучение, а только на ионизацию среды. При попадании в область с электрическим полем, они приобретают дополнительную энергию $\Delta\epsilon = Eel$, которая затем достается вторичным частицам и далее трансформируется в тормозное излучение.

Заключение

В лаборатории космических лучей ПГИ ведется мониторинг приземного гамма-фона в диапазоне 0.020–4 МэВ. Регистрируются интегральные и дифференциальные энергетические спектры. Впервые выполнено измерение спектра излучения, вызывающего возрастание гамма-фона при осадках. Обна-

ружено, что возрастания вызваны дополнительным излучением с экспоненциальным спектром, в то время как фоновое излучение имеет степенной спектр. Нами был предложен механизм, удовлетворительно описывающий данное явление, однако в настоящее время недостаточно данных, чтобы составить законченную модель наблюдаемого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гуревич А.В., Зыбкин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // Успехи физических наук. 2001. Т. 171, № 11. С. 1177–1199.
- Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М.: Наука, 1975. 357 с.
- Лидванский А.С., Хаердинов Н.С. Динамика космических лучей в электростатическом поле атмосферы и генерация частиц грозowymi облаками // Изв. РАН сер. физ., 2007. Т. 71, № 7. С. 1060–1062.
- Шишаев В.А., Белоглазов М.И. Автоматический регистратор атмосферных осадков // ПТЭ, 2011. № 2. С. 156–158.
- de Mendonça R.R.S., Raulin J.-P., Bertoni F.C.P., et al. Long-term and transient time variation of cosmic ray fluxes detected in Argentina by CARPET cosmic ray detector // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2011. V. 73. P. 1410–1416.
- Rust W.D., Trapp R.J. Initial balloon soundings of the electric field in winter nimbostratus clouds in the USA // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29. P. 1959–1962.
- Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B. A High-energy photons connected to atmospheric precipitations // Astrophys. Space Sci. Trans. 2011. V. 7. P. 471–475.

Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия