

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА НЕЙТРОНОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ В АТМОСФЕРЕ

В.Ю. Луценко, В.П. Антонова

RESULTS OF MONITORING NEUTRONS AT DIFFERENT STAGES OF THUNDERSTORM ACTIVITY IN THE ATMOSPHERE

V.Yu. Lutsenko, V.P. Antonova

Представлены результаты мониторинга нейтронов на Тянь-Шаньской высокогорной станции на различных стадиях грозовой активности. Показано, что на предварительной стадии грозовой активности (без молниевых разрядов) атмосферное электрическое поле положительной полярности уменьшает скорость счета нейтронного монитора, а отрицательная увеличивает. Генерация нейтронов, обусловленная молниевыми разрядами, возможна в активной фазе грозы.

Results of monitoring of neutrons at the Tien-Shan high mountain station at various stages of thunderstorm activity are presented. It is shown that the atmospheric electric field of positive polarity decreases the counting rate of the neutron monitor and a negative increases at the preliminary stage of thunderstorm activity (without lightning discharges). The generation of neutrons caused by lightning discharges is possible in the active phase of a thunderstorm.

Введение

Вопрос о возможности генерации нейтронов во время молниевых разрядов в грозовой атмосфере имеет долгую историю и может быть прослежен до работы [Wilson, 1924], в которой обсуждается ускорение частиц в сильных электрических полях до энергий, достаточных для инициирования ядерных реакций. В течение последнего десятилетия увеличение потока нейтронов во время грозовой активности было зарегистрировано установками, как на уровне моря, так и в горах. Высокогорная станция космических лучей на Тянь-Шане (≥ 3340 м над уровнем моря) является уникальным местом для изучения физики инициирования молниевых разрядов и их связи с космическими лучами. Экспериментальный комплекс «Гроза» разработан специально для синхронной записи различных видов излучения: ускоренных заряженных частиц (электронов), гамма и рентгеновского излучения, тепловых и быстрых нейтронов, радиоизлучения в разных частотных диапазонах, атмосферных электрических полей [Antonova, 2009; Chubenko, 2009; Gurevich, 2009, 2012].

Целью настоящей работы является исследование воздействия атмосферного электрического поля на результаты мониторинга высокоэнергичных и тепловых нейтронов на разных стадиях грозовой активности.

1. Экспериментальный комплекс

Экспериментальные установки, используемые в данной работе, являются частью комплекса "Гроза": стандартный нейтронный монитор, детекторы тепловых нейтронов (внутри здания и снаружи), детектор квазистатического электрического поля, детектор высокочастотной составляющей электрического поля (регистрирует возвратный молниевой удар). Нейтронный монитор, помимо интегральной интенсивности высокоэнергичной нейтронной компоненты космических лучей, регистрирует интенсивность нейтронов в шести энергетических диапазонах; от 200 МэВ до 20-30 ГэВ.

Датчик «ELIS-TS» (антенна «field mill») – вертушка) измеряет E_z -компоненту электрического поля.

По принципу действия – это электростатический флюксометр. Используется принцип периодической экранировки измерительных электродов вращающимся заземленным диском с вырезами. Конструктивно устройство помещено в водонепроницаемый корпус пластинами вниз с целью ослабления влияния осадков на работу прибора. Прибор обеспечивает измерение электрического поля в диапазоне ± 50 кВ/м в грозовых условиях с частотой дискретизации 20 Гц.

2. Результаты мониторинга нейтронов на разных стадиях грозовой активности.

Известно, что вариации электрического поля в приземной атмосфере обусловлены главным образом погодными условиями. В условиях хорошей погоды они не сопоставимы по величине с вариациями в грозовой атмосфере. Стандартное отклонение минутных значений высокоэнергичной нейтронной компоненты космических лучей на высокогорной станции не превышает 0.5 % в этих условиях. Во время грозы оно всегда больше, чем в условиях хорошей погоды. Изменение скорости счета нейтронного монитора на Тянь-Шане происходит при значениях электрического поля $\geq 10 \div 15$ кВ/м. Экспериментально установлено, что чувствительность регистрируемых частиц к изменениям электрического поля, E_z -компоненты, уменьшается с увеличением их энергии. Отклик на воздействие электрических полей отсутствует в каналах для частиц с кратностью генерации нейтронов $m \geq 6$, что соответствует энергии частиц ≥ 10 ГэВ.

Мы разделили результаты мониторинга высокоэнергичных нейтронов (интенсивность нейтронов, измеренная стандартным монитором 18NM64) и тепловых на два условных типа событий в зависимости от стадии грозовой активности. Результаты мониторинга нейтронов при прохождении грозовых облаков над станцией, но без грозовых разрядов (предварительная стадия грозы) составили 1-й список событий. Результаты мониторинга нейтронов при прохождении грозовых облаков над станцией, сопровождающиеся мощными молниевыми разрядами (активная фаза грозы), составили 2-й список событий.

На рис. 1, а, б представлены два события изменений интенсивности высокоэнергичных нейтронов (серая линия – минутные значения, черная – сглаженная с периодом 3) во время прохождения заряженных облаков над станцией на предварительной стадии грозы.

На а панели наблюдается смена полярности электрического поля с отрицательной на положительную. На б панели наблюдается изменение поля до -40 В/м во время прохождения заряженного облака. Нулевая линия – средняя интенсивность нейтронов перед грозой, горизонтальные штриховые линии ± 0.5 % – стандартное отклонение значений интенсивности нейтронов в условиях хорошей погоды. Видно, что изменения данных нейтронного монитора происходит в противофазе с электрическим полем. Отрицательные значения электрического поля увеличивают скорость счета нейтронного монитора. Положительные значения электрического поля уменьшают ее. В этих событиях изменения обусловлены тем, что 7 % скорости счета нейтронов вызваны мягкими отрицательными мюонами, которые захватываются свинцом монитора [Dorfan, 2003].

Вариации тепловых нейтронов для этих событий находятся в пределах стандартного отклонения типичного для условий хорошей погоды. Основное отличие детектора тепловых нейтронов от нейтронного монитора состоит в отсутствии свинца. Поэтому полученные нами результаты при анализе событий из 1-го списка согласуются с выводом о мюонном механизме чувствительности нейтронных мониторов к воздействию сильных атмосферных электрических полей.

В активной фазе грозы, сопровождающейся мощными молниевыми разрядами, в сформированном грозовом облаке картина распределения зарядов является сложной и многослойной. Результаты анализа скорости счета нейтронных детекторов на предварительной стадии грозовой активности не соответствуют выводам, полученным на основе анализа событий во время активной фазы грозы. Значения

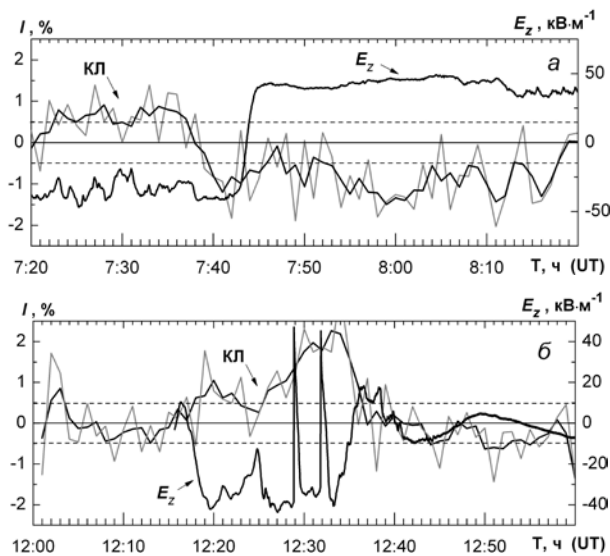


Рис. 1. Значения интенсивности нейтронов и электрического поля во время прохождения заряженных облаков над станцией.

квазистатического электрического поля (синяя линия) и его высокочастотной составляющей, регистрирующей возвратный молниевый удар (зеленая линия), во время грозы с мощными положительными разрядами приведены на рис. 2, а. Мощный разряд, который дал наибольшую вспышку нейтронов, представлен с высоким временным разрешением. На рис. 2, б представлена интенсивность высокоэнергичных нейтронов (18NM64) и интенсивность тепловых нейтронов для внутреннего и внешнего детекторов.

Поскольку электрическое поле приложено в основном в промежутке облако – земля, имеющем минимальную проводимость, положительные значения приземного квазистатического электрического поля означают появление на облаке положительного заряда, тормозящего отрицательные частицы, движущиеся вниз. Рисунок 2, б показывает, напротив, вспышки нейтронов во всех детекторах, включая тепловые. Следовательно, механизм изменения потока нейтронов в активной фазе грозы должен иметь принципиальные отличия от механизма, приводящего к вариациям нейтронов на предварительной фазе грозовой активности.

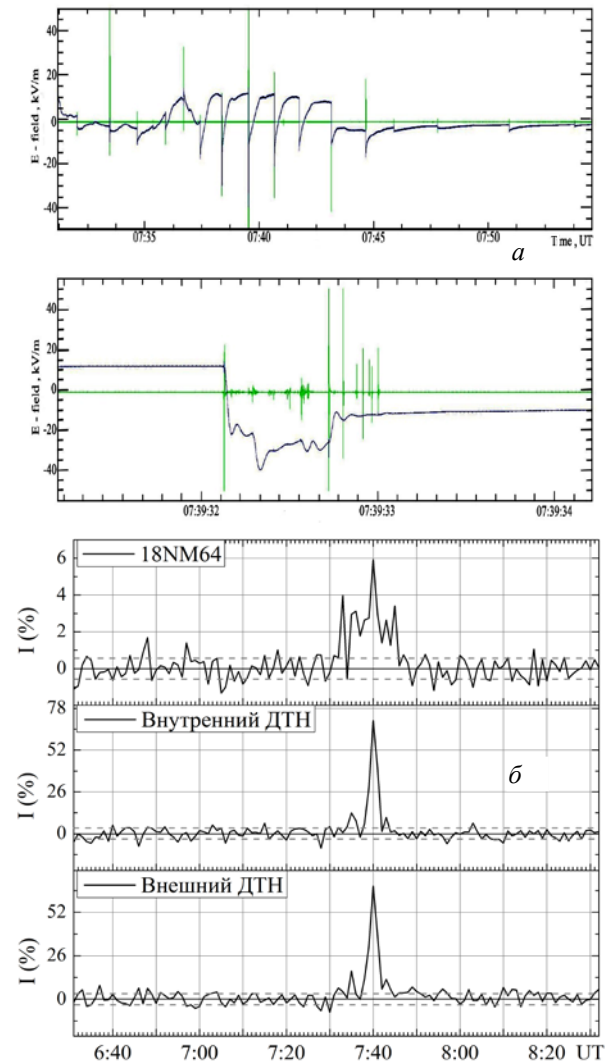


Рис. 2. Значения электрических полей во время грозы с положительными молниевыми разрядами (а), интенсивность высокоэнергичных нейтронов (18NM64) и тепловых нейтронов (ДТН).

Заключение

Изменения потока нейтронов на разных стадиях грозовой активности вызваны различными механизмами. Изменения потока нейтронов во время грозовой активности без молниевых разрядов, но с большими значениями электрического поля объясняются мюонным механизмом; захватом свинцом монитора мягких отрицательных мюонов с дальнейшей генерацией нейтронов. Всплески нейтронов низких энергий в активной фазе грозы возможны в результате механизма, который запускает генерацию нейтронов во время молниевых разрядов. Однако этот механизм до сих пор является предметом дискуссии, как у теоретиков, так и экспериментаторов.

Работа выполнена по программе 101 «Исследовать роль нестационарных геофизических явлений в динамике нижней и верхней атмосферы» Республики Казахстан, грант 0082/ГФ4, регистрационный номер 0115РК00399.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Antonova V.P., Chubenko A.P., Gurevich A.V., Karashtin A.N. et al. Influence of cosmic rays and the runaway-electron breakdowns on thunderstorm processes in the atmosphere // Radiophysics and Quantum Electronics. 2009. V. 52, N 9. P. 627–640.

Chubenko A.P., Gurevich A.V., Karashtin A.N., et al. Energy spectrum of lightning gamma emission // Physics Letters A, 6 2009. V. 373, N 39. P. 2953–2958.

Dorman L.I., Dorman I.V., Ucci N., et al. Thunderstorms' atmospheric electric field effects in the intensity of cosmic ray muons and in neutron monitor data // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, N A5. P. 1181. DOI: 10.1029/2002JA009533.1.

Gurevich A.V., Karashtin A.N., et al. An intracloud discharge caused by extensive atmospheric shower // Physics Letters A, 9 2009. V. 373, N 39. P. 3550–3553.

Gurevich A.V., Karashtin A.N., et al. Strong Flux of Low-Energy Neutrons Produced by Thunderstorms // Physical Review Letters. 2012. V. 108. P. 125001.

Wilson C.T.R. The acceleration of β -particles in strong electric fields such those of thunderclouds // Proc. of Cambridge Philosophical Society 1924. V. 22, N 17. P. 534–538.

Институт ионосферы, Алматы, Казахстан