

УДК 550.388.2

В.П.АНТОНОВА¹, А.В.ГУРЕВИЧ², К.П.ЗЫБИН², А.Н.КАРАШТИН², С.В.КРЮКОВ¹, В.А.РЯБОВ²,
М.О.ПТИЦЫН², А.П.ЧУБЕНКО², Ю.В.ШЛЮГАЕВ³ И А.Л.ЩЕПЕТОВ²

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РЕГИСТРАЦИЮ НЕЙТРОННЫМ МОНИТОРОМ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Рассматриваются вариации скорости счета нейтронного монитора на высокогорной станции (3340 м над ур. моря) во время прохождения электрически заряженных облаков над установкой. Установлено, что при положительных значениях электрического поля (40-50 кВ/м) скорость счета стандартного нейтронного монитора уменьшается на ~1,2% относительно уровня ясной погоды. Эффект проявляется в низкоэнергичной части интенсивности нейтронной компоненты и отсутствует в высокоэнергичной (кратность генерации нейтронов выше 6).

Известно, что 7% скорости счета нейтронов в супермониторе обусловлено мягкими отрицательными мюонами, которые захватываются ядрами свинца, образуя мезоатом с дальнейшей генерацией нейтронов. В этом случае нейтронный монитор работает как анализатор определенного сорта частиц, регистрируя только отрицательные. Согласно теории метеорологических эффектов электрическое поле будет замедлять или ускорять мягкие отрицательные мюоны в зависимости от его направления в атмосфере [1, 2]. Теория предсказывает изменение скорости счета нейтронного монитора за счет этого эффекта.

Первые результаты наших измерений (2000 – 2001 гг.) вторичных компонент космических лучей (КЛ) во время грозы показали, что в нейтронном мониторе и детекторе мюонов (энергия мюонов выше 300 МэВ) интенсивность меняется мало [3]. Некоторое понижение уровня интенсивности данных нейтронного монитора ускользнуло от внимания. Оно не коррелировало ни с короткопериодными всплесками гамма-излучения с энергией от 30 до 100 кэВ в момент разрядов, ни с долгопериодной вариацией с временным масштабом порядка нескольких часов с преобладающей долей жесткого рентгена и мягких γ -квантов [4]. Интерпретацию результатов затрудняло отсутствие надежных измерений электрических полей, которые были установлены позднее.

Целью настоящей работы является исследование вариации интенсивности нейтронной ком-

поненты космических лучей, регистрируемой стандартным нейтронным монитором во время прохождения электрически заряженных облаков над установкой, в зависимости от изменения приземного электрического поля (E_z компоненты) и регистрируемой энергии частиц.

1 Исследование вариаций полной интенсивности нейтронов во время грозовой активности

Многофункциональный высокогорный экспериментальный комплекс «Гроза» в 2004 году дополнился детектором регистрации возвратного молниевое удара, dE/dt , а в 2005 – детектором регистрации квазистатического электрического поля, E_z компоненты. Оба датчика обладают высоким временным разрешением при работе в грозовом режиме (0,00005с), который автоматически задается триггерным сигналом от скачка поля определенной величины (детектор dE/dt) во время молниевое разряда. Диапазон измерений E_z компоненты электрического поля составляет +/- 50кВ/м, а dE/dt – +/-600 В/м.

Стандартный нейтронный монитор 18NM64 имеет высокую статистическую точность (скорость счета ~ $5 \cdot 10^6$ имп/ч). Используемые в данной работе значения интенсивности нейтронной компоненты исправлены на вариации атмосферного давления.

Анализ результатов измерений интенсивности нейтронной компоненты КЛ с минутным интервалом накопления данных во время грозовой

¹ ДГП «Институт ионосферы», Алматы, 050020, Казахстан

² Физический институт РАН им. П.Н.Лебедева, Москва, 117924, Россия

³ Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, 603950, Россия

активности в 2005 - 2007 годах показал, что изменение уровня интенсивности не случайно, а напрямую связано с грозовой активностью и вариациями электрического поля. Однако проследить их связь и определить закономерности вариаций КЛ удастся далеко не всегда, что связано со сложной динамикой грозовых образований.

Обычно во время грозы временное распределение значений E_z компоненты атмосферного электрического поля быстро меняется и усложняется скачками поля от молниевых разрядов на землю, что затрудняет интерпретацию результатов измерений космических лучей. В данной работе нами рассмотрено необычное событие грозовой активности 7 июня 2005 года, рис. 1, в котором отрицательные и положительные значения

электрического поля сохраняются на одном уровне с небольшими флуктуациями в течение длительного времени, рис. 1b. Значения квазистатического электрического поля представлены синей линией, а высокочастотной составляющей, dE/dt - зеленой линией. На записи E_z компоненты присутствует лишь один отрицательный разряд, который не дает отклика в вариациях космических лучей за этот период, рис. 1d. Отметим, что значимого изменения потока нейтронов во время скачков поля, обусловленных молниевыми разрядами, при исследовании других грозовых событий также не наблюдалось. Однако заметно понижение уровня интенсивности нейтронов на 1% при смене полярности электрического поля с отрицательной на положительную, рис. 1d.

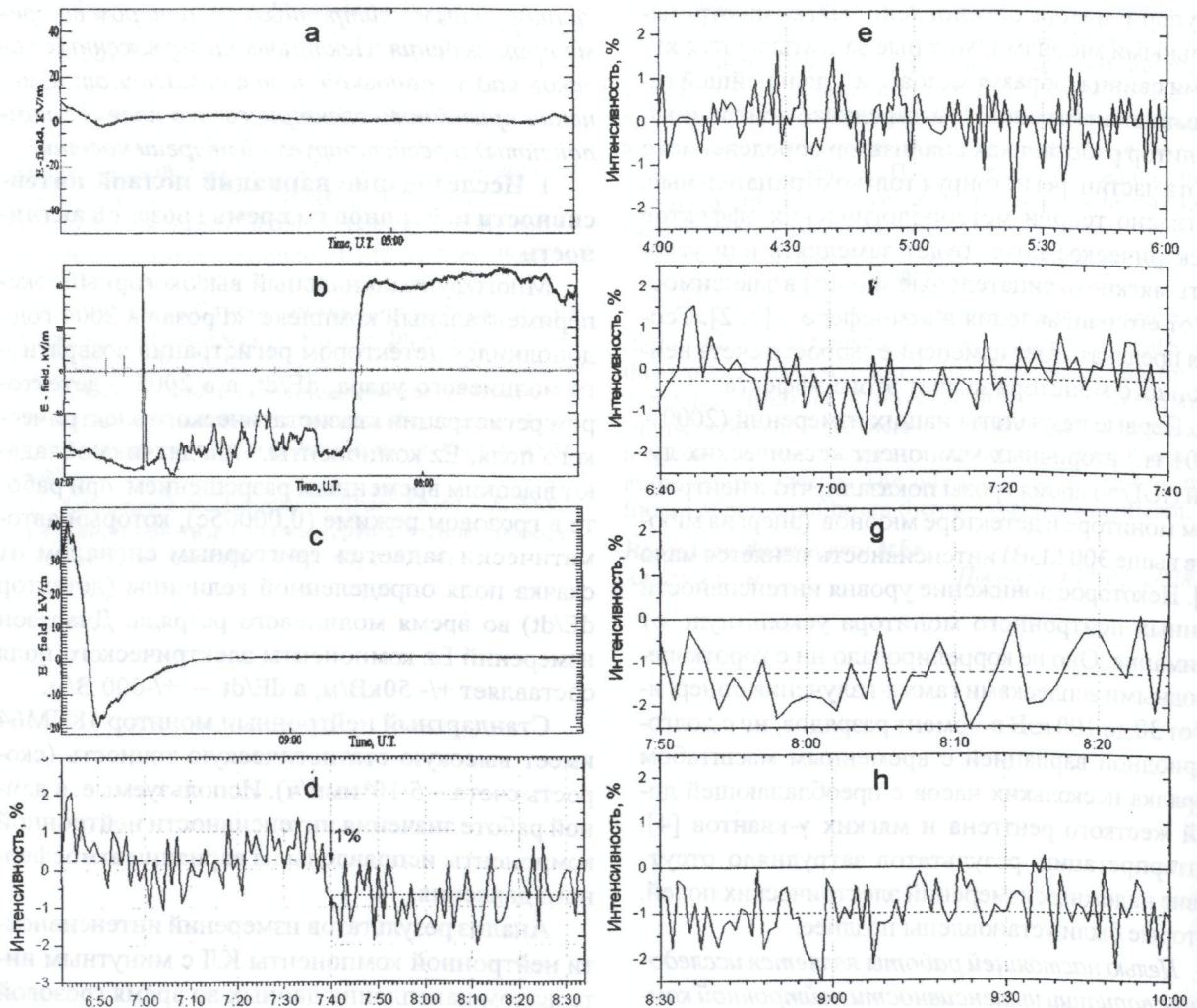


Рис. 1. Вариации: a, b, c - электрического поля; d, e, f, g, h - интенсивности нейтронов 7 июня 2005 г.

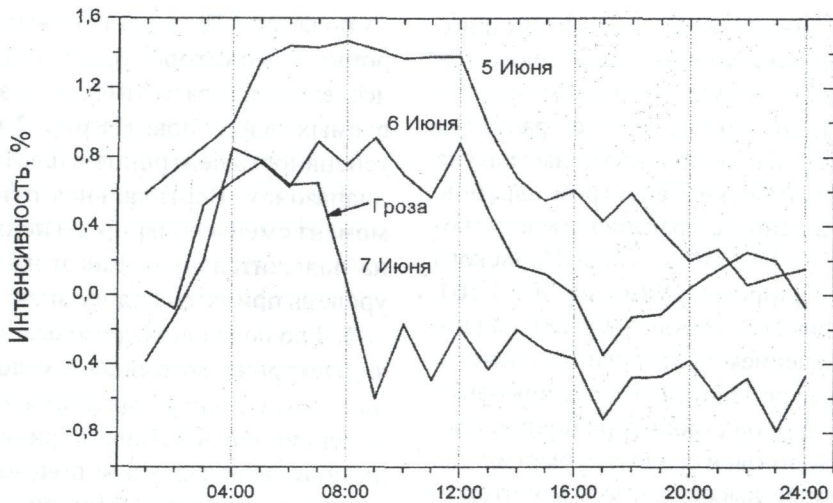


Рис. 2. Часовые значения интенсивности космических лучей

Для исследования вариаций интенсивности нейтронов в зависимости от изменения приземного электрического поля мы разбили на 4 промежутка данные нейтронного монитора: *e* — интенсивность КЛ до грозового периода и значениях электрического поля в условиях ясной погоды (значения E_z на рис. 1а), *f* — интенсивность КЛ во время отрицательных значений поля, *g* — интенсивность КЛ во время положительных значений поля, *h* — КЛ после грозы (значения E_z на рис. 1с). За нулевой уровень принято среднее значение интенсивности КЛ до появления грозовых облаков. Синяя пунктирная линия — средний уровень флуктуаций исследуемого периода относительно уровня интенсивности до грозы. Видно, что уменьшение интенсивности КЛ относительно уровня ясной погоды в данных нейтронного монитора имеет максимальное значение в период положительных значений квазистатического электрического поля 40–50 кВ/м и составляет 1,2 %, рис. 1г. После грозы, рис. 1h, уровень интенсивности нейтронов незначительно увеличился, но полного восстановления не произошло вследствие совпадения этого периода с минимумом суточной волны, сравнимой по амплитуде с рассматриваемым эффектом.

Суточная волна в часовых значениях нейтронной компоненты КЛ, хорошо выраженная 5 и 6 июня, 7 июня, достигнув максимума, во время грозы скачком опускается до минимальных значений, рис. 2. Этот геофизический эффект, который должен быть более значительным на станциях уровня моря, следует учитывать при разработке индексов возмущенности межпланетной среды на основе скорости изменения интенсивности нейтронных мониторов.

Положительные значения приземного квазистатического электрического поля означают появление на облаке положительного заряда, тормозящего отрицательные частицы, движущиеся вниз. Поскольку проводимость быстро возрастает с высотой, то электрическое поле приложено в основном в промежутке облако-земля, имеющем минимальную проводимость. Конкретная высота расположения заряда пока нами не может быть определена, но следует предполагать, что это несколько километров, так как появление зарядов, характерных для грозового облака на меньших высотах, привело бы к появлению громадных электрических полей не наблюдаемых нами. Величина рассмотренного эффекта должна зависеть не только от значений электрического поля, но и от высоты образования мягких мюонов, регистрируемых монитором, структуры и динамики грозовых облаков.

2 Исследование отклика на воздействие атмосферного электрического поля в нейтронах разных энергий

Нейтронный монитор в течение многих лет используется главным образом для измерений вариаций космических лучей (КЛ), но его способность измерять энергию частиц практически применяется очень редко. На высокогорной станции космических лучей Института ионосферы эта возможность была реализована 10 лет назад. Как известно, нейтронная кратность определяется количеством нейтронов, рожденных в одном взаимодействии частицы космических лучей с ядром свинцовой мишени нейтронного монитора. Величина кратности увеличивается с увеличением энергии налетающей частицы.

В таблице 1 приведены энергии частиц и интенсивность, соответствующие регистрируемой кратности нейтронов на Тянь-Шаньском мониторе [5]. Значения получены на основе сравнения спектра кратностей нейтронов, наблюдаемого на мониторе, с энергетическим спектром адронов, установленным из данных Арагацкого магнитного спектрографа (2-10 ГэВ) и Тянь-Шаньского ионизационного калориметра (выше 300 ГэВ). Полученная зависимость между энергией падающего адрона и значением кратности находится в хорошем согласии с результатами моделирования взаимодействия адронов в мониторе по программе SHIELD [6]. Пороговое значение энергии для регистрации адронов высокогорным монитором 18NM64 лежит в области 200 МэВ.

Таблица 1. Энергия и скорость счета нейтронов, регистрируемые в шести энергетических диапазонах

| Кратность, m | 1 | 2 | 3 | 4+5 | 6+7 | 8+9+10 |
|--------------|-------|-------|------|---------|-------|--------|
| Энергия, ГэВ | 0,32 | 1,3 | 2,9 | 5,2-8,2 | 12-16 | 21-33 |
| I, имп/мин | 28000 | 11400 | 4200 | 2300 | 480 | 170 |

Эффект изменения величины и полярности атмосферного квазистатического электрического

поля, рис.1b, в данных высокогорного нейтронного монитора, рассмотренный выше, мы исследовали в зависимости от энергии регистрируемых нейтронов. На рис. 3 представлена интенсивность нейтронов в шести энергетических диапазонах. Вертикальная пунктирная линия – момент смены полярности поля с отрицательной на положительную. Как и на рис.1, за нулевой уровень принято среднее значение интенсивности КЛ до появления грозовых облаков и значениях электрического поля в условиях ясной погоды. Синяя пунктирная линия – среднее значение интенсивности КЛ при отрицательных значениях поля, красная – при положительных. Видно, что средний уровень интенсивности космических лучей в канале с высокой кратностью генерации нейтронов, выше 6, остается постоянным при любых вариациях электрического поля в пределах +/-50 кВ/м и изменениях его полярности. С уменьшением энергии регистрируемых частиц повышается их чувствительность к изменению электрического поля. Максимальный эффект влияния атмосферного электрического поля проявляется в интенсивности нейтронов в каналах с

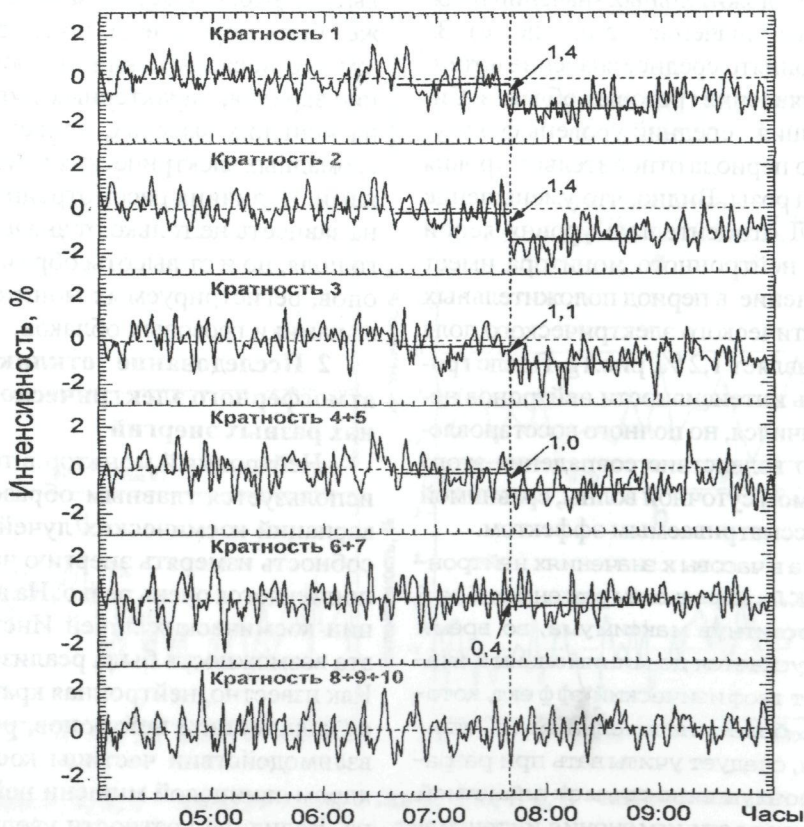


Рис.3 Вариации нейтронов разной энергии во время прохождения грозовых облаков над установкой 7 июня 2005 г.

кратностью генерации $m = 1$ и $m = 2$. Скорость счета в этих каналах уменьшается на 1,4% при достижении положительных значений поля 40÷50 кВ/м. В каналах с регистрацией нейтронов с кратностью $m=3$, $m=(4+5)$, $m=(6+7)$ уменьшение скорости счета частиц составляет 1,1%, 1,0% и 0,4% соответственно. Обнаруженный нами эффект влияния электрического поля на данные Тяньшаньского нейтронного монитора имеет более высокий энергетический порог и величину по сравнению с прогнозируемыми и экспериментальными данными авторов [2].

Заключение

Установлено, что при положительных значениях электрического поля (40÷50 кВ/м) во время прохождения грозových облаков над высокогорной станцией, скорость счета стандартного нейтронного монитора уменьшается на ~1,2% относительно уровня ясной погоды. Эффект изменения электрического поля отражается в низкоэнергичной части нейтронов и отсутствует в высокоэнергичной. В данном случае экспериментально подтверждаются прогнозы теории метеорологических эффектов, согласно которым атмосферное электрическое поле будет замедлять или ускорять мягкие отрицательные мюоны, регистрируемые нейтронным монитором. Однако обнаруженный нами эффект имеет более высокий энергетический порог и большую величину для высокогорной станции по сравнению с прогнозируемыми значениями.

Совместный анализ результатов измерений интенсивности нейтронной компоненты и электрических полей во время грозовой активности в 2005 - 2007 годах показал, что изменение уровня интенсивности нейтронного монитора не случайно, а напрямую связано с грозовой активностью и вариациями электрического поля, однако далеко не всегда прослеживается их связь, что обусловлено сложной структурой и динамикой грозových образований.

Значимых изменений скорости счета нейтронного монитора с минутным временным разрешением во время скачков поля, обусловленных молниевыми разрядами, не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. L.I.Dorman, I.V.Dorman, et. al. // Proc. 24 ICRC, Italy, 1995, p. 1164-1167.
2. L.I.Dorman, I.V.Dorman, et. al. // J.Geophys. Res., V.108, No.A5, 2003.
3. A.P. Chubenko, A.V Gurevich, V.P.Antonova, et. al // Phys.Let. A **275** (2000), p.90-100.
4. V.P.Antonova, Chubenko A.P, Gurevich A.V., et al // Physics Letters, A 309, 2003, p. 90-102.
5. В.П. Антонова, А.П. Чубенко, А.Л.Щенетов и др. // Изв.РАН, Сер. Физ., 2002, Т.66, №11, с.1578-1580.
6. Dementyev A.V., Sobolevsky N.M. //Proc. of 3 rd Workshop (SARE), Tsukuba, Japan, 1997. P.21.

Резюме

Құрылғы үстінен электрлі зарядталған бұлттар өткен кезде таудағы станциядағы (3340 м биіктікте) нейтронды монитордың есептеу жылдамдығының өзгерісі қарастырылып отыр. Электр өрісінің мәндері оң болған кезде (40-50 кВ/м) стандартты нейтрон монитормының есептеу жылдамдығы ауа-райы ашық болған кезімен салыстырғанда ~1,2%-ға азаяды. Бұл эффект нейтронды құрылымның қарқынды баяуэнергетикалық бөлігінде байқалады да, жоғары энергетикалық бөлігінде (нейтрондар генерация еселігі 6-дан көп) аңғарылмайды.

Summary

Change of the standard neutron monitor counting rate on the mountain level (height 3340 m above sea level) during the passage of electrically charged clouds above installation has been investigated. It is found that decrease of the intensity ~ 1,2% relatively of the fair weather level during positive values of the atmospheric electric field (40÷ 50 kV/m). The effect is detected in the low energy part of the neutron component intensity and it is absent in the high energy part (multiplicity neutron generation ≥ 6). The physical mechanism of the effect is considered by catching of soft negative muons by lead nucleons with escaping neutrons.

ДГП «Институт ионосферы»,
г. Алматы

Поступила 15.06.2008 г.