

ВСПЛЕСКИ НЕЙТРОНОВ НА УРОВНЕ МОРЯ ВО ВРЕМЯ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

А.А. Торопов, В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, С.А. Стародубцев

NEUTRON BURSTS ASSOCIATED WITH ATMOSPHERIC LIGHTNING DISCHARGE AT SEA LEVEL

A.A. Toropov, V.I. Kozlov, V.A. Mullayarov, S.A. Starodubtsev

Рассмотрены экспериментальные результаты регистрации нейтронной компоненты и напряженности электрического поля во время ближних гроз 2009–2012 гг.

Зарегистрированы кратковременные всплески потока нейтронов во время ближних (5–7 км) молниевых разрядов на уровне моря (105 м). Всплески наблюдались во время значительного повышения поля до -16 кВ/м, которое скачком менялось до $+18$ кВ/м в момент молниевых разряда. Увеличение потока нейтронов достигает 20 % и выше от среднего уровня для данных минутного разрешения.

Обсуждается возможность генерации нейтронов в точке удара (приземной части канала) молнии и возможные факторы, влияющие на регистрацию нейтронов от молнии в точке детектирования.

We have considered the experimental results of observing the neutron component at sea level (105 m) and the electric field during the nearest thunderstorms in 2009–2012.

The short neutron flux bursts were registered during the short-distance (5–7 km) lightning discharges. The bursts were observed during a significant change in the electric field (down to -16 kV/m and more), which abruptly changed up to $+18$ kV/m at the time of lightning discharges. The increase in the neutron flux reached 20 % of the average level for the data of one minute resolution.

We discuss the possibility of neutron generation in the lower part (the point of impact into the ground) lightning discharge.

Введение

Первое экспериментальное указание на генерацию нейтронов во время молниевых разрядов было представлено индийскими физиками в 1985 г. [Shan, 1985]. В наши дни это явление продолжают регистрировать современные наземные установки как в горах [Gurevich et al., 2012], так и на уровне моря [Кружевский, 2004]. Несмотря на достаточно давнюю историю наблюдений нейтронов, связанных с молнией, и большое число теоретических работ, вопрос о происхождении таких нейтронов остается открытым.

По одной из теорий [Shyan, 1999; Кружевский, 2004] предполагается, что нейтроны генерируются в канале молнии в результате синтеза дейтерия, содержащегося в водяном паре в атмосфере. По другой теории [Бабич, 2007], активно развиваемой в последнее десятилетие, нейтроны генерируются посредством сложного механизма взаимодействия с атмосферой тормозного излучения релятивистских убегающих электронов, которое может возникать во время грозы.

Комплекс приборов и данные

Для изучения кратковременных всплесков нейтронов во время гроз мы использовали синхронизированные измерения комплекса приборов, установленных на Якутском спектрографе космических лучей.

1. Нейтроны регистрировались стандартным нейтронным монитором 24-NM-64 (Якутск, $61^{\circ} 59.362' N$; $129^{\circ} 41.874' E$, высота над уровнем моря 105 м, порог геомагнитного обрезания 1.65 ГВ, коэффициент коррекции по давлению 0.00723 %/мбар). Используются данные с минутным разрешением.

2. Для регистрации напряженности электрического поля и его вариаций во время грозы и ударов молний на здании монитора был установлен датчик электрического поля — электростатический флюксметр (производство ИКФИА). Он откалиброван в искусственном электрическом поле и имеет диапазон измерений ± 50 кВ/м. Второй электростатический флюксметр установлен в 4 км от монитора на здании института, аналогично откалиброван и имеет

диапазон измерений ± 41 кВ/м. Оба флюксметра позволяют регистрировать молниевые разряды в радиусе 10–15 км. В работе используются данные с секундным разрешением.

3. С июня 2013 г. проводилась «быстрая» синхронная запись с двух стандартных нейтронных счетчиков СНМ-15 и вертикальной штыревой антенны, установленной рядом с ними и регистрирующей электромагнитные сигналы ближних молний. Один из счетчиков был покрыт слоем свинца и полиэтиленом (идентично счетчикам стандартного монитора 24-NM-64). Второй счетчик не имел свинцового и полиэтиленового покрытия. В работе использованы данные с разрешением 10 мкс.

4. С 2012 г. также проводилась синхронная запись электромагнитных сигналов и звука, порожденных грозовыми разрядами, для определения расстояния до них.

Результаты и обсуждение

На нейтронном мониторе Якутского спектрографа космических лучей неоднократно зарегистрированы всплески нейтронов в период молниевых разрядов [Starodubtsev et al., 2012]. Анализ показывает, что из 59 гроз, наблюдавшихся в районе нейтронного монитора в течение 2009–2013 гг., статистически значимые всплески потока нейтронов зарегистрированы во время 15 мощных гроз. Поэтому возникает вопрос о возможной зависимости регистрации всплесков нейтронов от скачка электрического поля во время молниевых разрядов, их удаленности от пункта наблюдений и даже рельефа местности.

В работе [Toropov et al., 2013] высказана идея о возможности генерации нейтронов в точке удара молнии. В таком случае на детектирование нейтронов от молнии может влиять рельеф местности, окружающей детектор. Проще говоря, будут регистрироваться только те нейтроны, которые проделали путь от точки удара молнии до детектора, не встретив на своем пути препятствий, обусловленных рельефом местности, или различного рода сооружений и т. д.

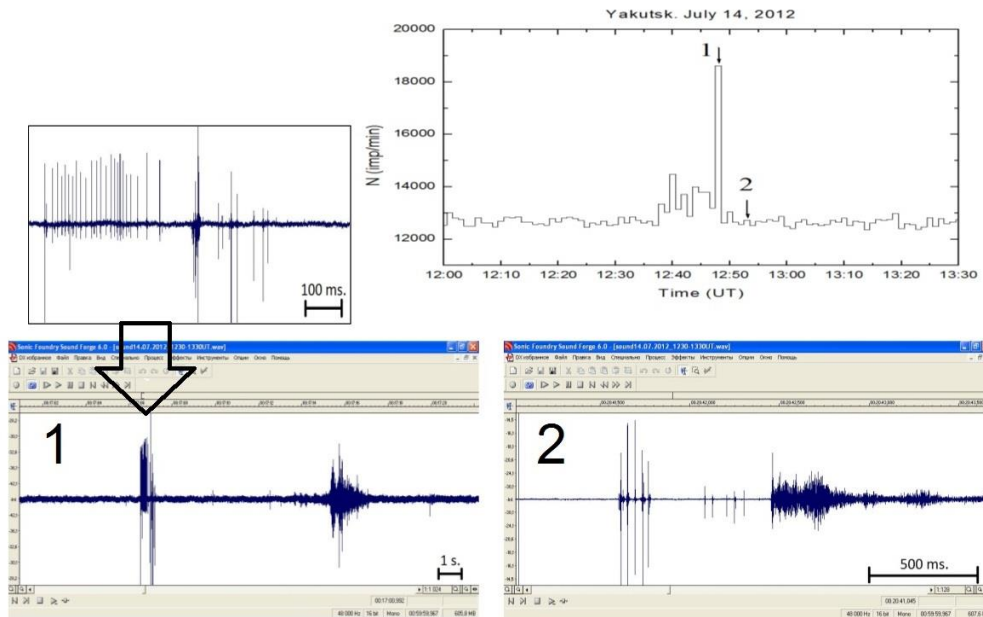


Рис. 1 Сигналы от двух молний и скорость счета нейтронов в событии 14 июля 2012 г. Первая молния (1) ударила на расстоянии 2.9 км. Вторая молния (2) ударила в 300 м от монитора.

В пользу этой идеи косвенно может служить событие нейтронов, во время грозы 14 июля 2012 г. По записи звука грома и электромагнитного сигнала были определены расстояния до нескольких молний. На рис. 1 показаны сигналы от двух молний и скорость счета нейтронов. Первая молния ударила на расстоянии 2.9 км и вызвала существенное возрастание скорости счета нейтронов. Вторая молния, несмотря на то, что она ударила всего в 300 м от монитора, никакого эффекта в скорости счета не вызвала.

В работе [Babich et al., 2013] обсуждается влияние электромагнитных наводок от молнии на электронику нейтронного монитора и совершенно справедливо высказывается сомнение по поводу достоверности регистрации таких всплесков. Для того чтобы определить влияние электромагнитных помех от молнии на регистрацию нейтронов, с июня 2013 г. проводилась быстрая синхронная запись с двух стандартных нейтронных счетчиков SNM-15 (в свинце и без свинца) и вертикальной штыревой антенны, регистрирующей электромагнитные сигналы ближних молний. Сигнал оцифровывался с помощью АЦП непосредственно со счетчиков (без усилителей и формирователей), что дало возможность наблюдать «живые» импульсы от единичных нейтронов в счетчике и сигналы электромагнитных помех, наводимых от ближних молний в кабелях и элементах схемы «обвязки» счетчика. Формы данных сигналов существенно различаются, что дает возможность легко различать их визуально. В 2013 г. было зарегистрировано всего шесть ближних гроз и ни одна из них не вызвала всплесков в скорости счета нейтронного монитора, однако можно отметить одно событие. На рис. 2 показана быстрая (с разрешением 10 мкс) синхронная запись сигналов в момент молниевых разрядов с двух счетчиков и вертикальной штыревой антенны. В счетчике со свинцовой и полиэтиленовой оболочкой отмечается >15 импульсов через 1016 мс после электромагнитного сигнала от молниевых разрядов. Нейтроны попали в детектор с минимальным интервалом, так что

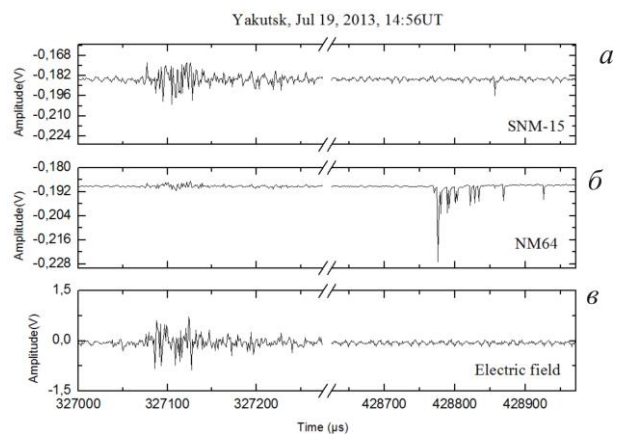


Рис. 2. Быстрая (с разрешением 10 мкс) синхронная запись сигналов в момент молниевых разрядов с двух счетчиков: бессвинцового (а); окруженного свинцом и полиэтиленовым замедлителем (б); электромагнитный сигнал, наводимый на вертикальную штыревую антенну (в).

практически происходит наложение сигналов. В этот момент никаких наводок или помех не наблюдается, что хорошо видно на записи сигнала с антенны (в). Следует отметить, что в бессвинцовом детекторе (а) подобное возрастание количества импульсов не зарегистрировано.

Заключение

Показано, что возрастание темпа счета в нейтронном мониторе во время ближних гроз носит неслучайный характер – оно напрямую связано с молниевыми разрядами.

Обнаружено, что величина всплесков в нейтронном компоненте не имеет ожидаемой зависимости от расстояния до молнии, что говорит, вероятно, о том, что существуют факторы, влияющие на детектирование нейтронов в месте расположения нейтронного монитора.

Проводилась быстрая (с разрешением 10 мкс) синхронная запись с двух стандартных нейтронных счет-

чиков СНМ-15 (в свинце и без свинца) и вертикальной штыревой антенны, регистрирующей электромагнитные сигналы ближних молний. Данные записи позволяют увидеть «живой» сигнал непосредственно со счетчиков и отличить его от сигналов наводок и помех. Для одного события зарегистрирована группа из множества (>15) нейтронов через 1016 мс после молниевых разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабич Л.П. Механизм генерации нейтронов, коррелированных с разрядами молнии // Геомагнетизм и аэронавигация. 2007. Т. 47, № 5. С. 702–708.

Кружевский Б.М. Генерация нейтронов в молниях // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика и астрономия. 2004. № 5. С. 14–16.

Babich L.P. et al. // J. Exp. Teor. Phys. Lett. 2013. V. 97. P. 333–339 (in Russian). Doi: 10.7868/S0370274X13060015.

Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., et al. // Phys. Rev. Lett. 2012. V. 108. P. 125001.

Shyan A.N., Kaushik T.C. Observation of neutron bursts associated with atmospheric lightning discharge // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 6867–6869.

Shan G.N., Razdan H., Bhat G.L., Ali G.M. Neutron generation in lightnings bolts // Nature. 1985. V. 313. P. 733–755.

Starodubtsev S.A. et al. // J. Exp. Teor. Phys. Lett. 2012. V. 96. P. 188–191. Doi:10.1134/S0021364012150106.

Toropov et al. A.A. // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2013. V. 94. P. 13–18. Doi: 10.1016/j.jastp.2012.12.020.

Институт космофизических исследований и аэронавигации им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия