

Вариации числа атмосфериков по наблюдениям в Якутске в летние месяцы 2001-2015 гг.

Козлов В. И.^{1,2}, Корсаков А. А.¹, Тарабукина Л. Д.^{1,2}

¹Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,
г. Якутск, Россия

²Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
e-mail: v.kozlov@ikfia.sbras.ru

Основным природным источником очень низкочастотного излучения (ОНЧ: 3 – 30 кГц) являются грозные разряды, порождающие радиоимпульсы – атмосферники. Эти радиоимпульсы распространяются на большие расстояния с малым затуханием. Исследованиям импульсной составляющей радиосуммы ОНЧ-диапазона посвящен ряд работ [1, 2]. Ряд работ [3-5] указывает на зависимость атмосферных помех от активности Солнца.

Атмосферники регистрировались в 30 км от г. Якутска ($\phi = 62^\circ \text{ N}$; $\lambda = 129,72^\circ \text{ E}$). Рамочная приемная антенна ориентирована восток-запад. Приемный тракт включает в себя предварительный усилитель с полосой усиления 0,3-10 кГц, что соответствует полосе сосредоточения наибольшей энергии наземных грозных разрядов. Порог регистрации выбирался так, что средняя плотность потока атмосфериков в суточном дневном летнем максимуме превышала 1 сек^{-1} . Пороговый уровень поля, принимаемого антенной $\sim 2 \text{ мВ/м}$, что для ночной трассы распространения дает возможность регистрации импульсов на дальности до $\sim 6000 \text{ км}$. Выставленный порог превышает верхнюю оценку шумовой составляющей. Стандартное отклонение шумовой составляющей атмосферных помех в полосе частот 2 – 9 кГц, измеренное в Канаде в 1950-х годах лежит в пределах 0,03... 2 мВ/м [6]. Наши измерения показывают, что для окрестности г. Якутска, максимальная величина флуктуационной составляющей во время летних ближних гроз достигает 1 мВ/м. Превысивший порог сигнал поступал на счетчик.

Для исследования вариаций потока атмосфериков использованы данные регистрации счета импульсов в час с 2001 по 2015 гг. В указанный период регистрации получены суточные и сезонные ходы принимаемых атмосфериков. В суточном ходе импульсов выделяются три характерных периода: 3-7 UT – минимум в суточном ходе обусловленный утренним и дневным временем в окрестности точки регистрации, при минимальной активности остальных очагов, входящих в зону регистрации, и максимальным затуханием на трассе распространения; 8-12 UT – максимум в летнее время, обусловленный дневным и вечерним временем в окрестности точки регистрации, максимумом вклада местной грозной активности при максимальном затухании сигналов при их распространении; 15-19 UT – максимум, наблюдаемый зимой и второй летний максимум, обусловленный ночным временем в окрестности точки регистрации, при минимальном затухании на трассе распространения. В сезонной вариации максимум наблюдается в летнее время [7]. Вариация для суточного максимума в $\sim 17 \text{ ч (UT)}$ между летними и зимними месяцами составляет 230%, а в $\sim 9 \text{ ч (UT)}$ – 2600%, что определяется вкладом местной грозной активности летом.

Одиннадцатилетняя вариация имеет характерный вид полуволны с максимумом на 1 год раньше минимума солнечной активности для всех отмеченных выше экстремумов суточного хода как для летних (Рис. 1), так и для зимних месяцев (Рис. 2). На ниспадающей ветви солнечной активности, с максимума (2001 г.) до минимума (2008 г.), идет нарастание превышающего порог 1,75 мВ/м. числа атмосфериков. Вместе с тем, при нарастании солнечной активности (2008 – 2015 гг.), наоборот, наблюдается уменьшение плотности потока атмосфериков. Таким образом, поток атмосфериков находится в противофазе с солнечной активностью.

От максимума к минимуму солнечной активности (2001-2007 гг.) изменение потока радиоимпульсов 3-7 UT составило 59 и 13 раз в зимний и летний сезоны соответственно. Изменение потока атмосфериков 15-19 UT составило 38 и 5 раз в зимний и летний сезоны соответственно. Повышение потока атмосфериков, соответствующих местной грозовой активности летом и грозовому очагу Северной Индии зимой (8-12 UT) составило 34 и 8 раз для зимы и лета соответственно.

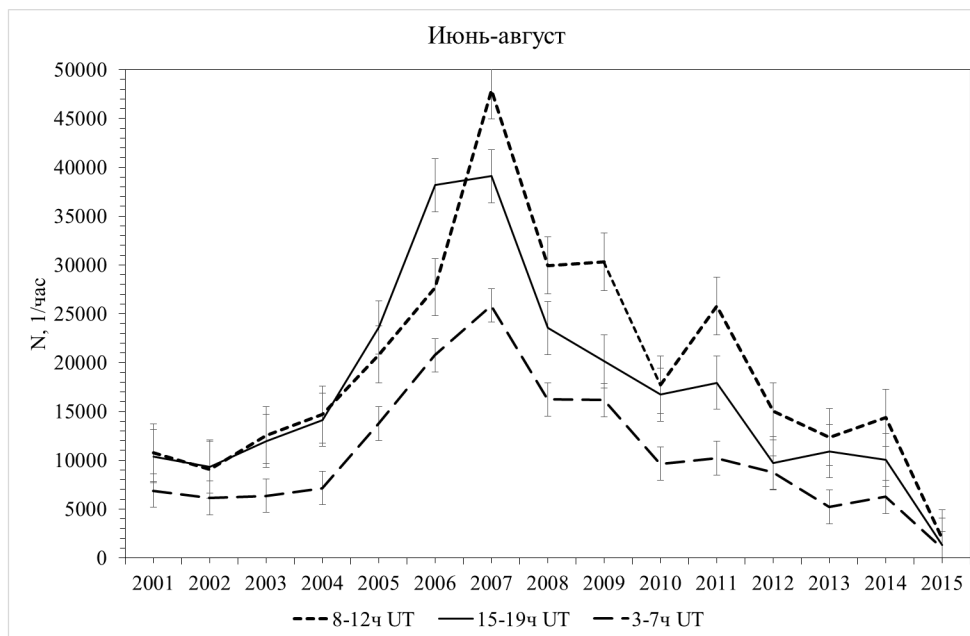


Рис. 1. Вариации числа атмосфериков, превышающих 1,75 мВ/м по наблюдениям в Якутске в летние месяцы 2001-2015 гг.

Одиннадцатилетняя вариация количества регистрируемых атмосфериков на наш взгляд может быть объяснена тремя причинами: изменением затухания атмосфериков при распространении, изменением активности грозовых очагов и смещением положения этих очагов относительно пункта регистрации.

В зимние месяцы из-за выставленного порога регистрируются атмосферерики от грозовых разрядов, происходящих на самом севере полуострова Индостан и даже небольшое смещение положения грозовых очагов в солнечном цикле приводит к значительным вариациям числа регистрируемых атмосфериков.

С 2009 г. в Якутске регистрируются сигналы ОНЧ навигационной системы станций РСДН – 20 (Новосибирск и Хабаровск). Методика регистрации описана в работе [8]. Якутский пункт с 2009 г. входит в мировую сеть регистрации гроз WWLLN [9]. По данным этой сети для Северо-Восточной Азии выделяются два максимума плотности грозовых разрядов, вносящих большой вклад в местную послеполуденную (3-7 UT) грозовую активность в летний период. Один максимум находится западнее Новосибирска, а второй – южнее Хабаровска. Вариации распространения атмосфериков из этих областей до Якутска и оцениваются с помощью регистрации сигналов станций Новосибирск и Хабаровск. В работе [10] указывается, что в дневных условиях в минимуме солнечной активности затухание примерно на 0,3 дБ / Мм больше, чем в солнечном максимуме. Максимальное расстояние регистрации атмосфериков составляет 10 Мм, таким образом оценка затухания в солнечном цикле меняется на 3 дБ, что соответствует изменению величины электрического поля в 1,41 раза. По нашим наблюдениям на трассе Новосибирск – Якутск изменение затухания составляет 1,2 раза. Для пересчета изменений в величине электрического поля E в изменениях в плотности потока атмосфериков $N(E)$ воспользуемся следующим соотношением:

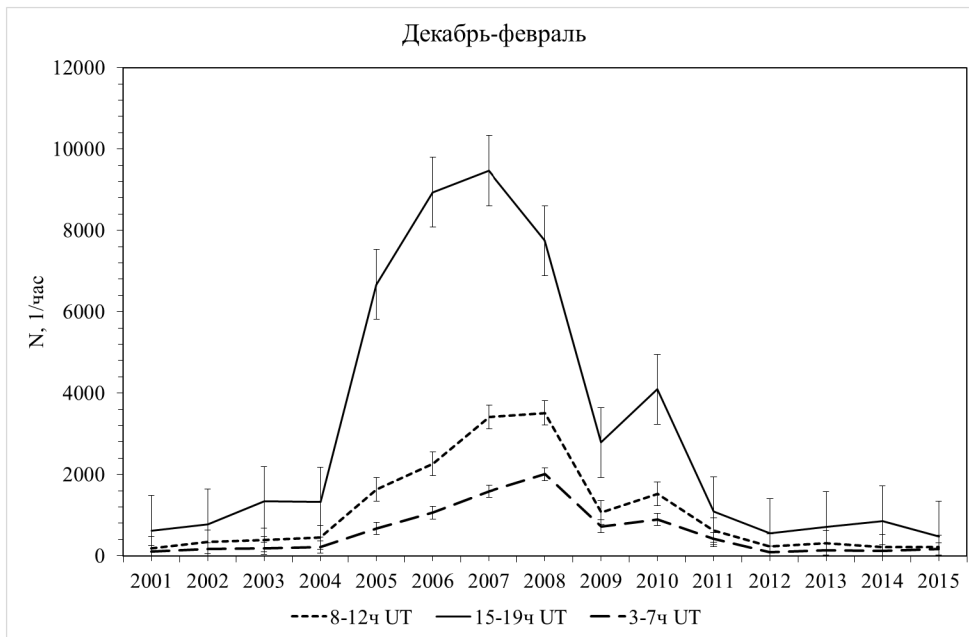


Рис. 2. Вариации числа атмосфериков, превышающих 1,75 мВ/м по наблюдения в Якутске в зимние месяцы 2001-2015 гг.

$N(E)/N(E_0) = (E/E_0)^k$, где в нашем случае $k = 2,5$. Соотношение выведено исходя из следующих допущений: равномерного распределения гроз по поверхности Земли; амплитуда атмосферика убывает по степенному закону при удалении от источника; функция распределения амплитуд атмосфериков логарифмически нормальная для любого грозового очага на небольшом расстоянии от него. Значения показателя k для Якутска изменяются от 1,36...3 летом до 2...3,2 зимой. Для сезонов весна-осень значения показателя составляют 2,2...2,9. Полученные нами значения k соответствуют значениям 1,5...3 весной и осенью, 1...2 летом и 2,5...3,5 зимой, измеренным в средних широтах европейской части России [2]. Сравнение вариаций ОНЧ сигналов радиостанций, зарегистрированных в 2009-2014 гг., с вариациями потока атмосфериков указывает на присутствие связи солнечной активности с числом регистрируемых импульсов от грозовых источников. С учетом вклада распространения, отношение между количеством атмосфериков, принятых в минимуме солнечной активности (2009 г.) и максимуме (2013 г.) для летних месяцев составляет около 159%.

Эффекты вариаций флуктуационной составляющей ОНЧ естественных радишумов, вызываемых грозовой активностью по наблюдениям в 1979-1996 гг. в Якутске рассмотрены в [5], где показано, что вариация интенсивности регистрируемых радишумов противофазна солнечной активности и модулируется параметрами солнечного ветра. Количество молний по наблюдениям в Европе также модулируется скоростными потоками солнечного ветра [11-12].

Регистрируемое изменение функции прохождения не может полностью объяснить величину наблюдаемой нами одиннадцатилетней вариации количества регистрируемых атмосфериков. Имеются публикации о регистрации длинного ряда грозовых разрядов в двух регионах, Южной ($8^\circ \text{N}-35^\circ \text{N}$, $60^\circ \text{E}-95^\circ \text{E}$) и Юго-Восточной Азии ($8^\circ \text{N}-35^\circ \text{N}$, $95^\circ \text{E}-120^\circ \text{E}$) [13]. В работе рассмотрен длинный ряд данных регистрации числа световых вспышек молний спутниковым прибором Lightning Imaging Sensors (LISs) помещенным на борту спутника Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). LIS обнаруживает и определяет местоположение молнии с пространственным разрешением 5-10 км и временным разрешением 2 мс на большой области земной поверхности в окрестности от 35° южной широты до 35° северной широты. Эффективность детектирование молниевых вспышек LIS около

90% в поле наблюдения сенсора, и он обнаруживает как внутриоблачные разряды так, и разряды облако-земля в дневных и ночных условиях. Используются ежемесячные данные, с разрешением сетки $5^\circ \times 5^\circ$ за период 1998-2010. одиннадцатилетняя вариация количества гроз как в Южной Азии, так и Юго-Восточной Азии находится в противофазе с солнечной активностью, выражаемой количеством солнечных пятен и потоком радиоизлучения F10,7. В тоже время одиннадцатилетняя вариация количества гроз коррелирует в фазе с потоком космических лучей. Изменение количество гроз с 2000 до 2007 год составило 3,5 раза.

Подобный же анализ регистрации грозových разрядов, использующих данные как спутника OTD, так и LIS проведен для того же временного периода 1998-2009 годы проведен в работе [14].

Данные для количества грозových разрядов для региона Индии антикоррелируют с солнечной активностью и коррелируют со средней температурой земной поверхности. При этом изменение плотности грозových разрядов для северной геосферы от минимума 1999-2000 до максимума 2006-2007 составляет 1,4 раза.

В заключение можно сделать вывод, что с учетом вклада распространения, отношение между количеством атмосфериков, принятых в минимуме солнечной активности (2009 г.) и максимуме (2013 г.) составляет около полутора раз. Это соответствует вариации количества грозových разрядов, наблюдаемых в Южной и Юго-Восточной Азии. То есть, как в Южной и Юго-Восточной Азии, так и в Северной Азии вариация грозových разрядов находится в противофазе с солнечной активностью и в фазе с вариацией галактических космических лучей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, № 15-45-05005-р_восток_a, № 15-45-05135-р_восток_a и частично РНФ (проект №14-19-01079).

Литература

1. Ремизов Л.Т. Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. 196 с.
2. Александров М.С. Исследование атмосферных радиопомех ОНЧ- и НЧ-диапазонов и их источников. // Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 10. С. 3-25.
3. Лихтер Я.И. О циклических вариациях интенсивности атмосферных радиопомех // Геомагнетизм и аэрномия. 1966. Т.6. №4. С. 795-796.
4. Клейменова З.П. Об изменении грозовой активности в солнечном цикле // Метрология и гидрология. 1967. № 8. С. 64-68.
5. Mullayarov V.A., Kozlov V.I., Karimov R.R. Effect of Variations in the Solar Wind Parameters on Thunderstorm Activity // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49. № 8. (Special Issue 2). P. 1299–1301.
6. McKerrow C.A. Some Measurements of Atmospheric Noise at Low and Very Low Frequencies in Canada // JGRes. 1960. V. 65, № 7, P. 1901-1926.
7. Козлов В.И., Федорова Г.В., Шабеганова С.Н. Суточно-сезонные вариации атмосфериков // Вестник Якутского государственного университета. 2009. Т. 6. № 4. С. 29-34.
8. Каримов Р.Р., Козлов В.И., Корсаков А.А., Муллаяров В.А., Мельчинов В.П. Вариации параметров сигналов радионавигационных станций, регистрируемых в Якутске в диапазоне очень низких частот // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 57-62.
9. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р. Пространственное распределение плотности грозových разрядов на Востоке России по данным дистанционных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011 Т. 8. № 3. С. 257-262.

10. Thomson N.R., Clilverd M.A. Solar cycle changes in daytime VLF subionospheric attenuation // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2000. V. 62. № 7. P. 601–608.
11. Scott C.J., Harrison R.G., Owens M.J., Lockwood M., Barnard L. Evidence for solar wind modulation of lightning // *Environmental Research Letters*. 2014. V. 9. doi:10.1088/1748-9326/9/5/055004.
12. Williams E., Guha A., Boldi R., Satori G., Koloskov A., Yampolski Yu. Global Circuit Response to the 11-Year Solar Cycle: Changes in Source or in Medium? // XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A. [Электронный ресурс].
URL: http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Williams_299.pdf.
13. Siingha D., Kumara P.R., Kulkarnia M.N., Singhb R.P., Singhc A.K. Lightning, convective rain and solar activity — Over the South/Southeast Asia // *Atmospheric Research*. 2013. V. 120–121, P. 99–111. doi:10.1016/j.atmosres.2012.07.026.
14. Pereira F.B., Priyadarsini G., Girish T.E. A possible relationship between global warming and lightning activity in India during the period 1998–2009 // arxiv.org/pdf/1012.3338 (2010).