

Вариации импульсной составляющей грозовых радиозумов и сигналов ОНЧ радиостанций по наблюдениям в Якутске в течение цикла солнечной активности 2001-2013 гг.

В.И. Козлов¹, А.А. Корсаков¹, В.А. Муллаяров¹, Л.Д. Тарабукина¹,
В.П. Мельчинов²

¹ *Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН
Якутск, 677980, Россия
E-mail: v.kozlov@ikfia.sbras.ru*

² *Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Физико-технический институт
Якутск, 677000, Россия*

Приводятся статистические характеристики магнитной составляющей импульсных (атмосфериков) естественных радиозумов очень низкочастотного диапазона, порожденных грозовыми разрядами и зарегистрированных в г. Якутске в 2001 - 2013 гг. В суточном ходе импульсов выделяются 3 экстремума: 8-12 UT – максимум вклада грозовой активности Восточной Азии; 15-19 UT – максимум вклада гроз предгорий Кавказа, Европейской территории России (ЕТР) и Африканского мирового грозового очага; 3-7 UT – максимум вклада грозового очага в Тихом океане. Суточная вариация атмосфериков, кроме летних месяцев, имеет вид полуволны с максимумом в 15-19 ч (UT). В летние месяцы суточная вариация имеет дополнительный максимумом в 9 UT. Вариация для суточного максимума в ~17 ч (UT) между летними и зимними месяцами составляет 230%, а в ~9 ч (UT) – 2600%, что определяется вкладом местной грозовой активности. Сезонная вариация потока атмосфериков имеет вид полуволны с вытянутым максимумом в летние месяцы. Количество атмосфериков находится в противофазе с солнечной активностью. Обсуждаются вариации зарегистрированных в 2009-2013 гг. сигналов навигационных радиостанций и сравнение их с вариациями потока атмосфериков со схожих направлений. Изменение затухания на трассе Новосибирск – Якутск в солнечном цикле составляет 1,2 раза. С учетом вклада распространения, отношение между количеством атмосфериков, принятых в минимуме (2009 г.) и максимуме (2013 г.) солнечной активности, составляет около 159%.

Ключевые слова: поток атмосфериков, молния, грозовой разряд, солнечная активность, радиозум, радиостанции, распространение радиоволн.

Введение

Основным природным источником очень низкочастотного излучения (ОНЧ: 3–30 кГц) являются грозовые разряды, порождающие радиоимпульсы – атмосферерики. Эти радиоимпульсы распространяются на большие расстояния с малым затуханием. Исследованиям импульсной составляющей радиозумов ОНЧ-диапазона посвящен ряд работ (Александров и др., 1972; Ремизов, 1985). Ряд работ (Клейменова, 1967; Козлов, Муллаяров, 2004; Лихтер, 1966) указывает на зависимость атмосферных помех от активности Солнца. Вариации атмосфериков, связанные с периодичностью солнечной активности, рассматриваются в данной работе.

Методика

Атмосферерики регистрировались на радиополигоне ИКФИА СО РАН, расположенном в 30 км от г. Якутска ($\varphi = 62^\circ$ с.ш.; $\lambda = 129,72^\circ$ в.д.). Рамочная приемная антенна ориентирована на восток-запад, имеет диаметр 5,7 м, 30 витков, эффективную площадь 760 кв. м, сопротивление ~ 20 Ом, индуктивность ~ 20 мГн, собственную емкость ~ 1000 пФ. Приемный тракт также включает в себя предварительный усилитель (ПУ) с полосой усиления 0,3–10 кГц,

Суточный ход потока импульсной составляющей радишума 2010 г.

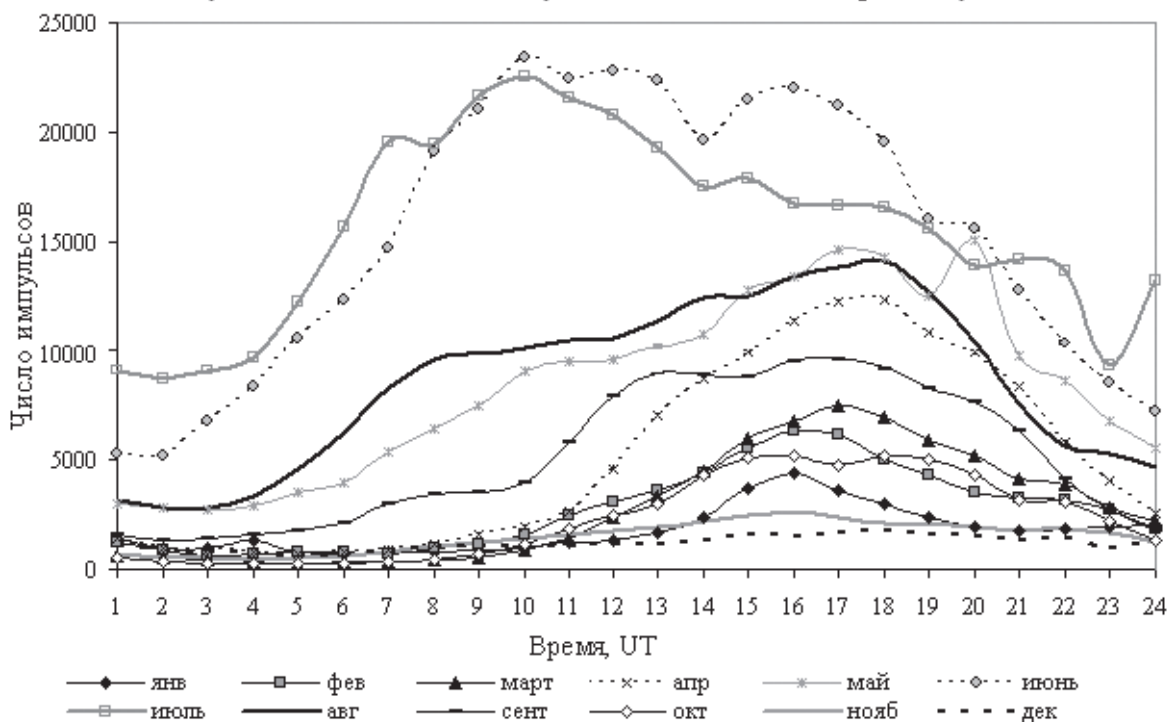


Рис. 1. Суточная вариация числа импульсов в зависимости от сезона

что соответствует полосе сосредоточения наибольшей энергии наземных грозных разрядов (Александров, 1972). Уровень собственных шумов ПУ в рассматриваемой полосе ~ 1 мкВ, коэффициент передачи 200, входное сопротивление ~ 100 Ом. Для устранения наводок на линии связи сигнал с ПУ в пункт сбора информации поступал через разделительные трансформаторы по симметричным кабельным линиям связи. Далее превысивший порог сигнал поступал на счетчик. Порог регистрации выбирался таким образом, чтобы средняя плотность потока атмосфериков в суточном дневном максимуме превышала 1 сек^{-1} . Общий коэффициент усиления сигналов в каналах счетчиков составляет 5000, поэтому каналу с порогом 0,9625 В на входе счетчика соответствует 192,5 мкВ на выходе антенны. С учетом действующей высоты ($h_d = 0,11$ м), пороговый уровень поля, принимаемого антенной $\sim 1,75$ мВ/м, что дает возможность регистрации импульсов на дальности до ~ 10000 км. 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 (McKerrow, 1960). Наши измерения показывают, что во время летних ближних гроз величина флуктуационной составляющей достигает 1 мВ/м. Таким образом, выставленный порог превышает верхнюю оценку шумовой составляющей.

Экспериментальные данные и их анализ

Для исследования вариаций потока атмосфериков использованы данные регистрации счета импульсов в час с 2001 по 2013 гг. В указанный период регистрации получены суточные и сезонные хода принимаемых атмосфериков.

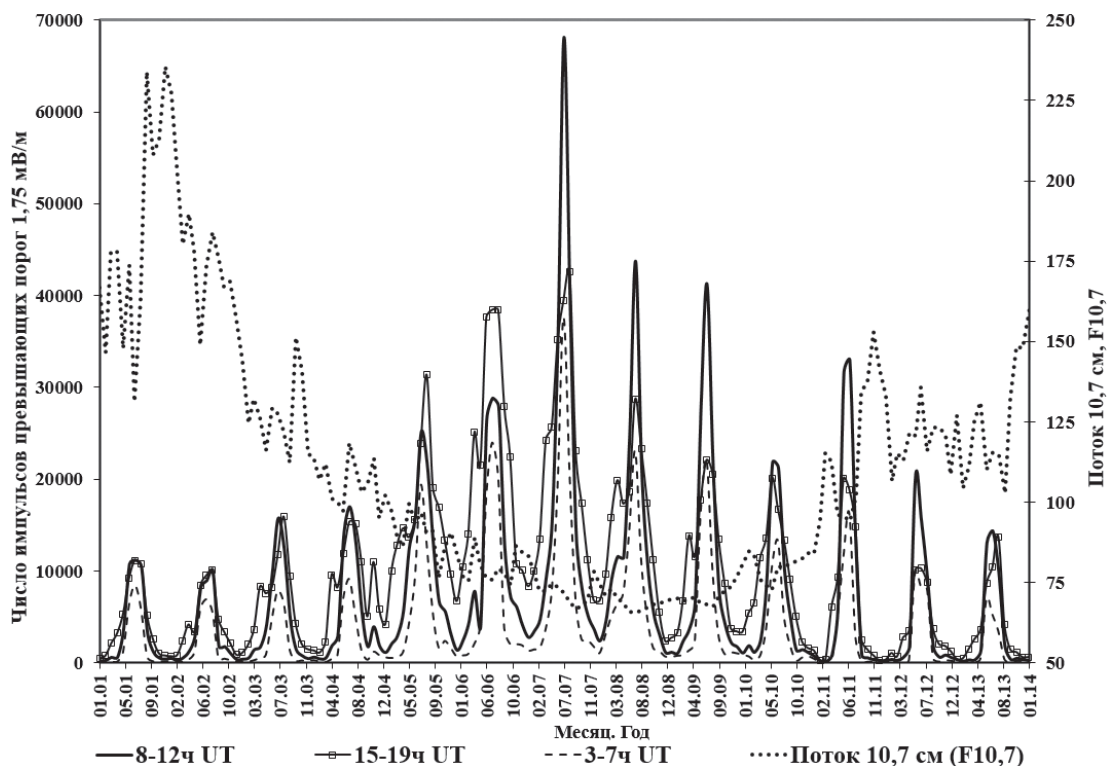


Рис. 2. Вариации потока радиоимпульсов и радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см

На рис. 1 представлена суточная вариация числа импульсов в зависимости от сезона. В суточном ходе импульсов выделяются три характерных периода: 8-12 UT – максимум вклада грозовой активности Восточной Азии; 15-19 UT – максимум вклада гроз предгорий Кавказа, Европейской территории России (ЕТР) и Африканского мирового грозового очага; 3-7 UT – максимум вклада грозового очага в Тихом океане. Указанные грозовые очаги в выделенные интервалы времени определены в результате работы в окрестностях г. Якутска узкосекторного грозопеленгатора (Козлов, Муллаяров, Васильев, 2000). Суточная вариация атмосфериков, кроме летних месяцев, имеет вид полуволны с максимумом в 15-19 ч (UT). В летние месяцы суточная вариация имеет дополнительный максимум в 9 UT. Вариация для суточного максимума в ~17 ч (UT) между летними и зимними месяцами составляет 230%, а в ~9 ч (UT) – 2600%, что определяется вкладом местной грозовой активности.

Сезонная вариация имеет характерный вид полуволны с вытянутым максимумом в летние месяцы для всех отмеченных выше экстремумов суточного хода. На рис. 2 приведены сезонные ходы радиоимпульсов и вариация потока радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см (U.S. Dept. of Commerce, NOAA) для 2001 – 2013 гг. 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 – 2013 гг.), наоборот, наблюдается уменьшение плотности потока атмосфериков. Таким образом, поток атмосфериков находится в противофазе с солнечной активностью.

Сезонная зависимость интенсивности потока радиоимпульсов из-за отсутствия местной грозовой активности и ослабления гроз в Северном полушарии зимой указывает на

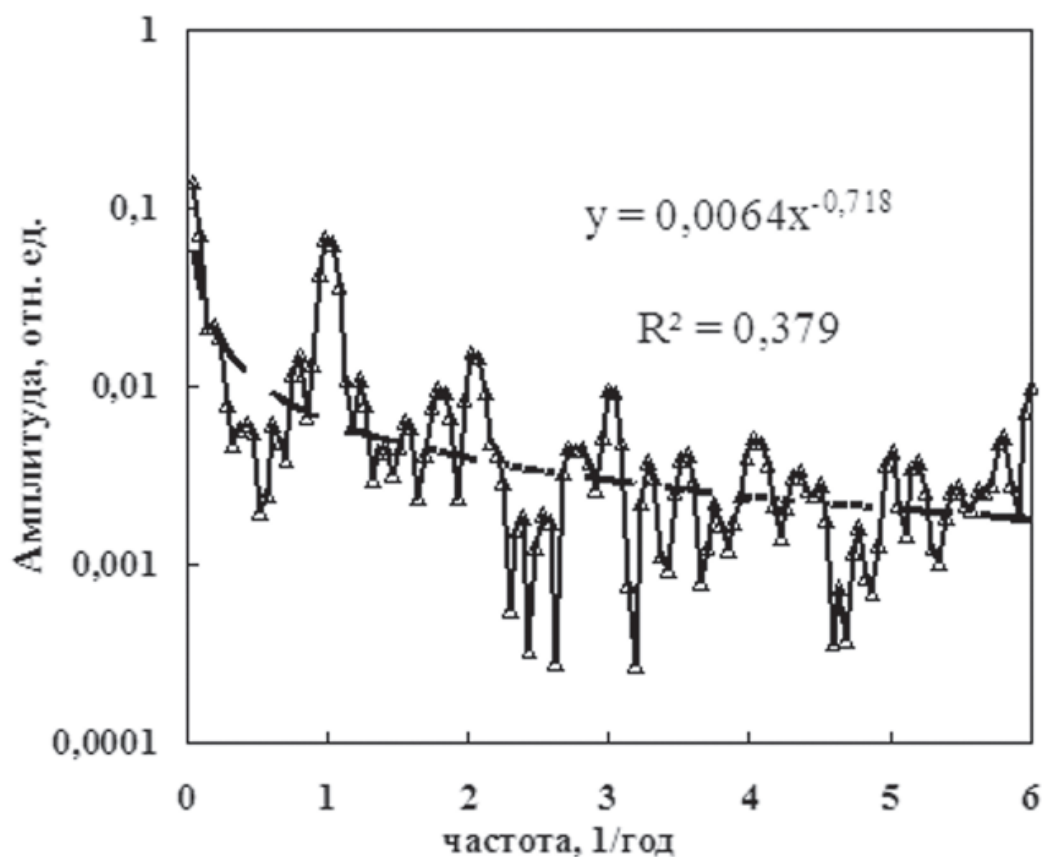


Рис. 3. Амплитудный спектр потока радиоимпульсов (15-19 ч UT)

необходимость рассмотрения поведения гроз и активности Солнца от года к году отдельно для каждого сезона (Козлов, Муллаяров, Каримов, 2008). От максимума к минимуму солнечной активности (2001-2013 гг.) изменение потока радиоимпульсов 3-7 UT (грозовой очаг в Тихом океане) составило 59 и 13 раз в зимний и летний сезоны, соответственно. Изменение потока атмосфериков с предгорий Кавказа, Европейской территории России (ЕТР) и Африканского мирового очага (15-19 UT) составило 38 и 5 раз в зимний и летний сезоны, соответственно. Повышение потока атмосфериков, соответствующих грозовому очагу Восточной Азии (8-12 UT), составило 34 и 8 раз для зимы и лета, соответственно.

На рис. 3 представлен амплитудный спектр сезонного хода потока радиоимпульсов грозовых разрядов (15-19 ч UT). В спектрах двенадцатилетних рядов потоков атмосфериков

Таблица 1. Максимумы в амплитудных спектрах, нормированных на максимальное значение потоков радиоимпульсов

Период, год	S(имп 8-12ч UT)	S(имп 15-19ч UT)	S(имп 3-7ч UT)
11	0,03497	0,0712	0,03346
1	0,05474	0,06761	0,05415
1/2	0,03222	0,01535	0,03588
1/3	0,0183	0,00961	0,01997
1/4	0,00878	0,00503	0,00864

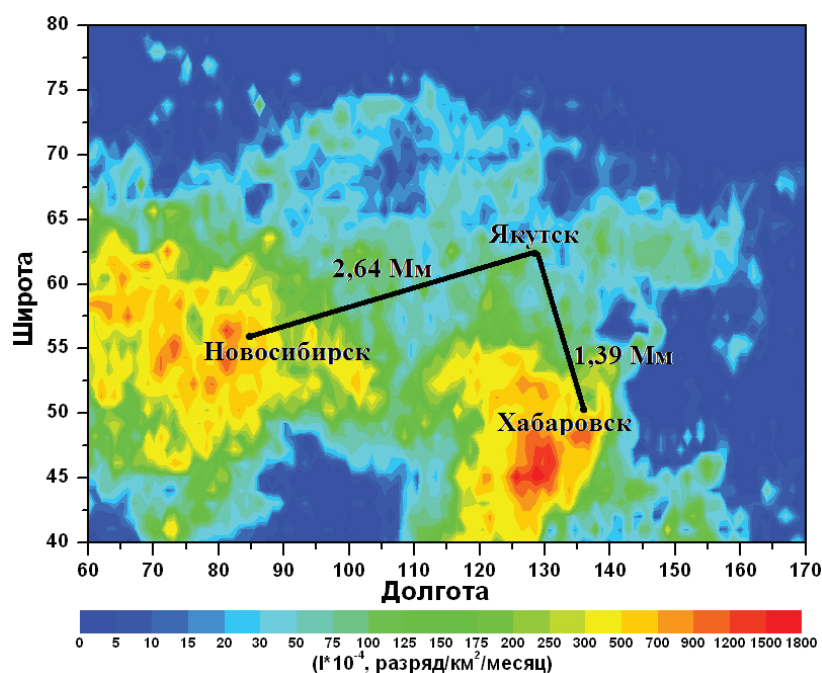


Рис. 4. Усредненная плотность грозовых разрядов в летний период 2009-2010 гг.

(на всех рассматриваемых временных интервалах суточного хода) отчетливо выделяются годовая составляющая и ее гармоники.

Вклад указанных составляющих приводится в *табл. 1*. Широкий спектр соответствует форме сезонной вариации атмосфериков, регистрируемых в Якутске (более длительный зимний и короткий летний периоды), с наличием резких фронтов при переходе от зимнего периода к летнему, что приводит к образованию гармоник.

С 2009 г. в Якутске регистрируются сигналы навигационной системы станций РСДН – 20 (Новосибирск и Хабаровск). Методика регистрации описана в работе (Каримов и др., 2012).

На *рис. 4* представлена усредненная плотность грозовых разрядов в летний период 2009 – 2010 гг. по данным Мировой сети локализации молний (World Wide Lightning Location Network) (Dowden et al., 2002).

В указанную сеть входит также Якутский пункт (Козлов, Муллаяров, Каримов, 2011). 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.

На *рис. 5* представлены нормированные к уровню 2013 года летние вариации амплитуд радиосигналов станций Новосибирск и Хабаровск (14,9 кГц), а также потока радиоимпульсов в 3-7 ч UT, что соответствует послеполуденному времени в Якутске. В работе (Thomson, Clilverd, 2000) 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

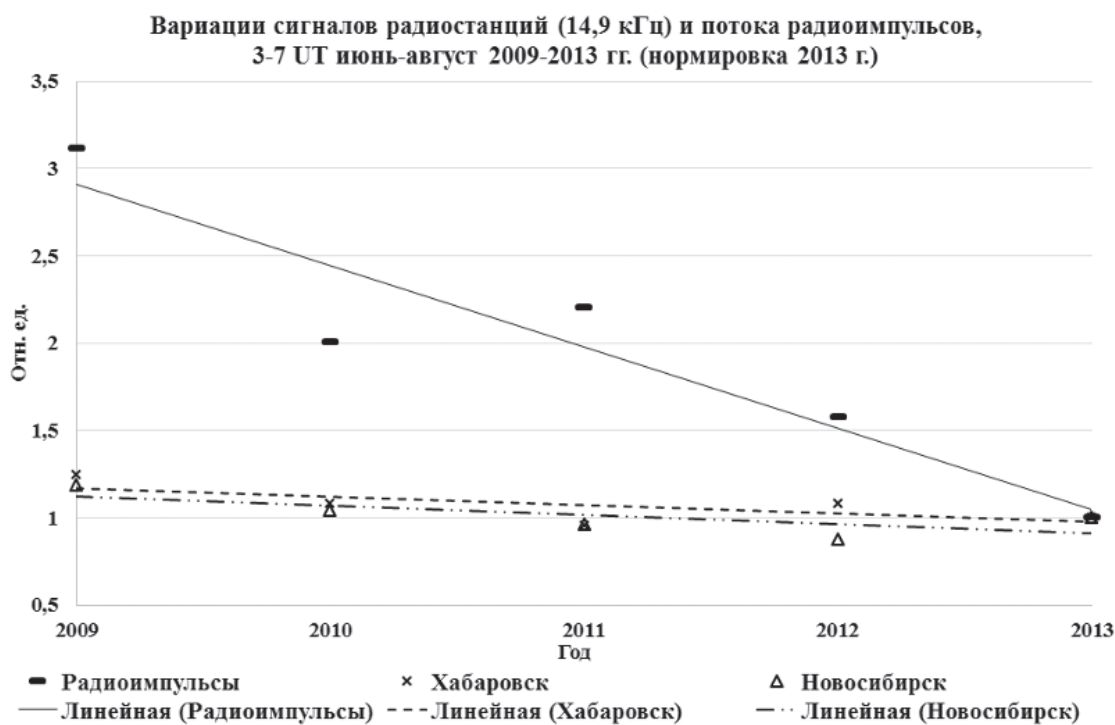


Рис. 5. Вариации сигналов радиостанций и потока радиоимпульсов в дневной (3-7 UT) летний период (июнь – август). Нормировка к уровню 2013 г.

трассе Новосибирск – Якутск изменение затухания составляет 1,2 раза. Для пересчета изменений в величине электрического поля E в изменения в плотности потока атмосфериков $N(E)$ воспользуемся следующим соотношением: $N(E)/N(E_0) = (E/E_0)^k$, 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 (Козлов, Федорова, Шабаганова, 2009) изменяются от 1,36...3 летом до 2...3,2 зимой. Для сезонов весна – осень значения показателя составляют 2,2...2,9. Показатель соответствует значениям 1,5...3 весной и осенью, 1...2 летом и 2,5...3,5 зимой, измеренным в средних широтах европейской части России (Александров, 1998).

Сравнение вариаций ОНЧ сигналов радиостанций, зарегистрированных в 2009-2013 гг., с вариациями потока атмосфериков указывает на присутствие связи солнечной активности с активностью грозовых источников. С учетом вклада распространения, отношение между количеством атмосфериков, принятых в минимуме солнечной активности (2009 г.) и максимуме (2013 г.) составляет около 159%.

Следует также отметить, что повышенное число импульсов в 2011 г. объясняется повышенной местной грозовой активностью. Число дней с грозой на территории круга с центром в Якутске и радиусом 400 км с 2009 по 2012 годы по нашим наблюдениям изменялось, соответственно, как 46, 37, 63, 38 дней в летний период (с 1 июня по 31 августа). При этом наблюдалось следующее число дней с интенсивными грозами на рассматриваемой территории (> 100 разряд/день): 29 (2009), 21 (2010), 43 (2011), 27 (2012). Суммарное число зарегистрированных грозовых разрядов составило: 2009 г. – 56086, 2010 г. – 49413, 2011 г. – 48359, 2012 г. – 40231 разрядов (Козлов и др., 2014).

Эффекты вариаций параметрами солнечного ветра флуктуационной составляющей ОНЧ естественных радишумов, вызываемых грозовой активностью по длинно-периодным наблюдениям в 1979-1996 гг. были рассмотрены в (Mullayarov, Kozlov, Karimov, 2009), где показано, что вариация интенсивности радишумов противофазна солнечной активности. Имеется также публикация о модуляции скоростными потоками солнечного ветра количества молний по наблюдениям в Европе (Scott et al., 2014).

По наблюдениям электромагнитного поля на частотах Шумановских резонансов на Антарктической станции также наблюдается устойчивое снижение от солнечного максимума около 2001 г. до солнечного минимума вблизи 2009 г. с общим изменением интенсивности порядка 50% (Williams et al., 2014).

Заключение

С помощью описанного выше комплекса по приему и счету атмосфериков при регистрации в Якутске с 2001 по 2013 гг. составлены статистические характеристики импульсных грозовых радишумов очень низкочастотного диапазона – атмосфериков. Суточная вариация атмосфериков, за исключением летних месяцев, обладает формой полуволны с максимумом в 15-19 ч. (UT). В летние месяцы суточная вариация имеет двугорбый характер с наибольшим максимумом в 9 ч (UT). Сравнение вариаций сигналов навигационных радиостанций, зарегистрированных в 2009 – 2013 гг., с вариациями потока атмосфериков указывает на присутствие связи солнечной активности с активностью грозового источника. На участке повышения активности Солнца (2009 – 2013 гг.) амплитуда сигналов радиостанций менялась незначительно, что свидетельствует об отсутствии значимых изменений в распространении по волноводу Земля – ионосфера. Грозовая и солнечная активности находятся в противофазе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 12-05-98528-р_восток_a, № 12-02-00174-а, № 14-05-31056 мол_a, а также гранта «Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)» № 2014-01-0015.

Литература

1. Александров М.С. Исследование атмосферных радиопомех ОНЧ- и НЧ-диапазонов и их источников. // Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 10. С. 3-25.
2. Александров М.С., Бакленева З.М., Гладштейн Н.Д. Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. Под ред. Александрова. М.С. М.: Наука, 1972. 195 с.
3. 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.
4. Клейменова З.П. Об изменении грозовой активности в солнечном цикле // Метрология и гидрология. 1967. № 8. С. 64-68.
5. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 104 с.
6. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Васильев А.Е. Узкосекторная пеленгация источников шумового ОНЧ излучения // Известия вузов. Радиофизика. 2000. Т. 43. № 11. С. 954-957.
7. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Григорьев Ю.М., Тарабукина Л.Д. Параметры грозовой активности и молниевых разрядов на территории центральной Якутии в 2009–2012 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 3. С. 365–372.

8. Козлов В.И., Мулларов В.А., Каримов Р.Р. Отклик грозových ОНЧ-радиозумов на солнечную активность по наблюдениям в Якутске // Солнечно-земная физика. Вып. 12. Т.2. (2008) С. 319-320.
9. Козлов В.И., Мулларов 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. Козлов В.И., Федорова Г.В., Шабаганова С.Н. Суточно-сезонные вариации атмосфериков // Вестник Якутского государственного университета. 2009. Т. 6. № 4. С. 29-34.
11. Лихтер Я.И. О циклических вариациях интенсивности атмосферных радиопомех // Геомагнетизм и аэрoномия. 1966. Т. 6. № 4. С. 795-796.
12. Ремизов Л.Т. Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. 196 с.
13. Dowden R.L., Brundell J.B., Rogder C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J. Atmos. Solar-Ter. Phys. 2002. V. 64, No. 7. P. 817-879.
14. McKerrow C.A. Some Measurements of Atmospheric Noise at Low and Very Low Frequencies in Canada // JGRes. 1960. Vol. 65. No. 7. P. 1901-1926.
15. Mullayarov V.A., Kozlov V.I., Karimov R.R. Effect of Variations in the Solar Wind Parameters on Thunderstorm Activity // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. Vol. 49. No. 8 (Special Issue 2). P. 1299–1301.
16. Scott C.J., Harrison R.G., Owens M.J., Lockwood M., Barnard L. Evidence for solar wind modulation of lightning // Environmental Research Letters. Vol. 9. 2014. doi:10.1088/1748-9326/9/5/055004.
17. Thomson N.R., Clilverd M.A. Solar cycle changes in daytime VLF subionospheric attenuation // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Vol. 62. Issue 7. 2000. P. 601–608.
18. U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Weather Prediction Center. URL: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/weekly/RecentIndices.txt>.
19. 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. URL: http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Williams_299.pdf.

Pulse component variations of lightning radio noise and signals by radio observations in Yakutsk from 2001 to 2013

V.I. Kozlov ¹, A.A. Korsakov ¹, V.A. Mullayarov ¹, L.D. Tarabukina ¹, V.P. Mel'chinov ²

¹*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS
Yakutsk 677980, Russia*

E-mail: v.kozlov@ikfia.sbras.ru

²*Physical-Technical Institute of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University
Yakutsk 677000, Russia*

Very Low Frequency range lightning generated magnetic component of pulsed natural radio noise (atmospherics) statistical characteristics registered in Yakutsk in 2001 – 2013 are presented. In diurnal pulse variations three extremes are distinguished: 8-12 UT - maximum contribution of thunderstorm activity in East Asia; 15-19 UT - maximum contribution of thunderstorms in the Caucasus foothills region, the European territory of Russia (ETR) and the African world thunderstorm center; 3-7 UT - maximum contribution of thunderstorm activity in the Pacific Ocean. Diurnal variation of atmospherics, except summer months, has the form of a half-wave with a peak at 15-19 hours (UT). In the summer months, the daily variation has an additional peak at 9 UT. The variation for daily maximum at ~ 17 h (UT) between summer and winter is 230%, while at ~ 9 hours (UT) - 2600%, which is determined by the contribution of local storm activity. Seasonal atmospherics flux variation is given by a half-wave with an extended peak in summer. Atmospherics quantity and solar activity are in counter phase. Radio navigation signals variations registered in 2009-2013 are discussed and compared with atmospherics flux variations received from similar directions. Novosibirsk - Yakutsk path attenuation over the solar cycle changes 1.2 times. With signal propagation taken into account, the ratio of atmospherics number in the solar activity minimum (2009) and maximum (2013) is about 159%.

Keywords: atmospherics flux, lightning, thunderstorm, solar activity, radio noise, radio station, radio wave propagation.

References

1. Aleksandrov M.S., Issledovanie atmosferynykh radiopomekh ONCh- i NCh-diapazonov i ikh istochnikov (The study of atmospheric interference VLF and LF bands and their sources), *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 1998, No. 10, pp. 3-25.
2. Aleksandrov M.S., Baklneva Z.M., Gladshstein N.D., *Fluktuatsii elektromagnitnogo polya Zemli v diapazone SNCh* (Fluctuations of the electromagnetic field of the Earth in the range of ELF), Moscow: Nauka, 1972, 195 p.
3. Karimov R.R., Kozlov V.I., Korsakov A.A., Mullayarov V.A., Mel'chinov V.P., Variatsii parametrov signalov

- radionavigatsionnykh stantsii, registriruemykh v Yakutske v diapazone ochen' nizkikh chastot (Variations of very low frequency signal parameters of radio navigation stations, registered in Yakutsk), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 4, pp. 57-62.
4. Kleimenova Z.P., Ob izmenenii grozovoi aktivnosti v solnechnom tsikle (Change of thunderstorm activity in Solar cycle), *Metrologiya i gidrologiya*, 1967, No. 8, pp.64-68.
 5. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., *Grozovaya aktivnost' v Yakutii* (Thunderstorm activity in Yakutia), Yakutsk: YaF Izd-va SO RAN, 2004, 104 p.
 6. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Vasil'ev A.E., Uzkosekturnaya pelengatsiya istochnikov shumovogo ONCh izlucheniya (Narrow sector direction-finding of VLF radiation sources), *Izvestiya vuzov. Radiofizika*, 2000, Vol. 43, No. 11, pp. 954-957.
 7. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Grigor'ev Yu.M., Tarabukina L.D., Parametry grozovoi aktivnosti i molnievykh razryadov na territorii tsentral'noi Yakutii v 2009–2012 gg (Parameters of thunderstorm activity and lightning discharges in Central Yakutia in 2009-2012), *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2014, Vol. 50, No. 3, pp. 365–372.
 8. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Karimov R.R., Otklik grozovykh ONCh-radioshumov na solnechnuyu aktivnost' po nablyudeniyam v Yakutske (Thunderstorm VLF radio noise response on the Solar activity observed in Yakutsk), *Solnechno-zemnaya fizika*, Issue 12, Vol. 2, 2008, pp. 319-320.
 9. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Karimov R.R., Prostranstvennoe raspredelenie plotnosti grozovykh razryadov na Vostoke Rossii po dannym distantsionnykh nablyudenii (The spatial distribution of lightning discharges density in the East of Russia on remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 257-262.
 10. Kozlov V.I., Fedorova G.V., Shabaganova S.N., Sutochno-sezonnnye variatsii atmosferikov (Daily, seasonal variations atmospheric), *Vestnik Yakutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, Vol. 6, No. 4, pp. 29-34.
 11. Likhter Ya.I., O tsiklicheskikh variatsiyakh intensivnosti atmosferykh radiopomekh (The cyclic variations in the intensity of atmospheric interference), *Geomagnetizm i aeronomiya*, 1966, Vol. 6, No. 4, pp. 795-796.
 12. Remizov L.T., *Estestvennye radiopomekhi* (Natural radio interferences), Moscow: Nauka, 1985, 196 p.
 13. Dowden R.L., Brundell J.B., Rogder C.J., VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites, *J. Atmos. Solar-Ter. Phys.*, 2002, Vol. 64, No.7, pp. 817-879.
 14. McKerrow C.A., Some Measurements of Atmospheric Noise at Low and Very Low Frequencies in Canada, *Journal of Geophysical Research*, 1960, Vol. 65, No. 7, pp. 1901-1926.
 15. Mullayarov V.A., Kozlov V.I., Karimov R.R., Effect of Variations in the Solar Wind Parameters on Thunderstorm Activity, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2009, Vol. 49, No. 8, Special Issue 2, pp. 1299–1301.
 16. Scott C.J., Harrison R.G., Owens M.J., Lockwood M., Barnard L., Evidence for solar wind modulation of lightning, *Environmental Research Letters*, Vol. 9, 2014. doi:10.1088/1748-9326/9/5/055004.
 17. Thomson N.R., Clilverd M.A., Solar cycle changes in daytime VLF subionospheric attenuation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 62, Issue 7, 2000, pp. 601–608.
 18. U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Weather Prediction Center, available at: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/weekly/RecentIndices.txt> (August 20, 2014).
 19. 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., available at: http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Williams_299.pdf.