

DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-92-98

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 537.867+551.594.6

СВЯЗЬ СУТОЧНЫХ ПЕРИОДОВ ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЙ С РЕНТГЕНОВСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Г. И. Дружин, И. Е. Стасий

Институт космических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО
РАН, 684034, с.Паратунка, Камчатский край

E-mail: drug@ikir.ru

Выполнен спектральный анализ шумовых электромагнитных излучений в ОНЧ диапазоне на трех фиксированных частотах за период с 1997 по 2015 г. Получены периодограммы, на которых присутствуют суточные составляющие, связанные с периодами вращения Земли относительно Солнца и относительно звезд. Показано, что в суточных вариациях ОНЧ излучений проявляется как рентгеновское излучение Солнца, так и рентгеновское излучение галактики.

Ключевые слова: ОНЧ излучение, суточные периоды, рентгеновское излучение, спектральный анализ, Солнце, галактика

© Дружин Г. И., Стасий И. Е., 2016

INSTRUMENTS AND METHODS OF MEASUREMENT

PACS 41.20.Jb

RELATION OF DAILY PERIODS OF VLF RADIATION WITH X-RAY SOURCES

G. I. Druzhin, I. E. Stasiy

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation IKIR FEB RAS,
684034, s.Paratunka, Kamchatka

E-mail: drug@ikir.ru

Spectral analysis of electromagnetic noise radiation in the VLF range at three fixed frequencies for the period from 1997 to 2015 have been carried out. Periodograms with diurnal components associated with the periods of the Earth rotation relatively the Sun and the stars have been obtained. It has been shown that the Sun x-radiation and the galaxy x-radiation affect daily variations of VLF radiation.

Key words: group, VLF radiation, daily periods, X-radiation, spectral analysis, Sun, galaxy

© Druzhin G. I., Stasiy I. E., 2016

Введение

Рентгеновское излучение Солнца является основным фактором, воздействующим на область D ионосферы [<http://ru.wikipedia.org/wiki>], [1, 2]. Дополнительные слабые источники ионизации: метеориты, сгорающие на высотах 60–100 км, космические лучи, энергичные частицы магнитосферы, заносимые в этот слой во время магнитных бурь, — также вносят определенный вклад в процесс ионизации области D, которая в основном влияет на условия распространения радиоволн в диапазоне очень низких частот.

В спектрах принимаемых на Земле электромагнитных ОНЧ излучений могут проявляться суточное вращение Солнца (~ 27 дней), а также недельный цикл, связанный с деятельностью человека [3]. Однако имеются лишь единичные случаи, где бы рассматривались суточные периоды ОНЧ излучений [4, 5].

Целью работы является изучение на больших временных интервалах шумовых характеристик электромагнитных ОНЧ сигналов в диапазоне периодов, близких к суточному вращению Земли, а также определение их возможной связи с рентгеновскими источниками излучения.

С этой целью мы выполнили на трех фиксированных частотах спектральный анализ огибающей шумовой составляющей ОНЧ излучений по данным многолетней регистрации в диапазоне периодов, близких к суточному вращению Земли.

Аппаратура и методы исследований

Регистрация электромагнитных шумовых излучений проводилась с помощью многоканального ОНЧ-регистратора, расположенного на Камчатке, в экспедиционном пункте «Карымшина» ($\varphi = 52^{\circ}49' \text{ N}$, $\lambda = 158^{\circ}07' \text{ E}$), записывающих огибающую ОНЧ-излучений на трех фиксированных частотах в узких частотных полосах (5% - 10% от центральной частоты). ОНЧ-регистратор состоит из стовитковой рамочной антенны, предварительного усилителя, расположенного непосредственно у основания антенны, кабельной линии связи, устройства фильтрации сигнала, выходного устройства. Рамочная антенна имеет геометрические размеры 7,5x15 м и ориентирована своей плоскостью в направлении восток – запад.

Спектральный анализ был выполнен для огибающей излучений на частотах 0.7, 1.2, 5.3 кГц вблизи суточных периодов. На рисунке показана периодограмма за период регистрации с 1997 г. по 2006 г. (10 лет). Из рисунка видно, что на всех регистрируемых частотах имеется основной максимум на периоде 1440 мин (1 сутки).

Этот период связан с суточным вращением Земли вокруг Солнца. Кроме этого, наблюдается еще один, меньший по величине, максимум на периоде 1436 мин. Этот период совпадает с периодом вращения Земли относительно удаленных звезд. Периодограммы за указанный выше период регистрации приводились в [4, 5].

Дальнейший анализ огибающей излучений вблизи суточных периодов на тех же частотах был проведен с 2007 по 2015 годы (9 лет). Из рис. б видно, что за этот период наблюдений также имеются основной и дополнительный максимумы на периодах 1440 и 1436 мин. Кроме них, наблюдается еще один максимум на периоде 1444 мин, который более отчетливо проявился на частоте 5.3 кГц. Этот максимум не совпадает с суточными периодами вращения Земли относительно Солнца и относительно звезд.

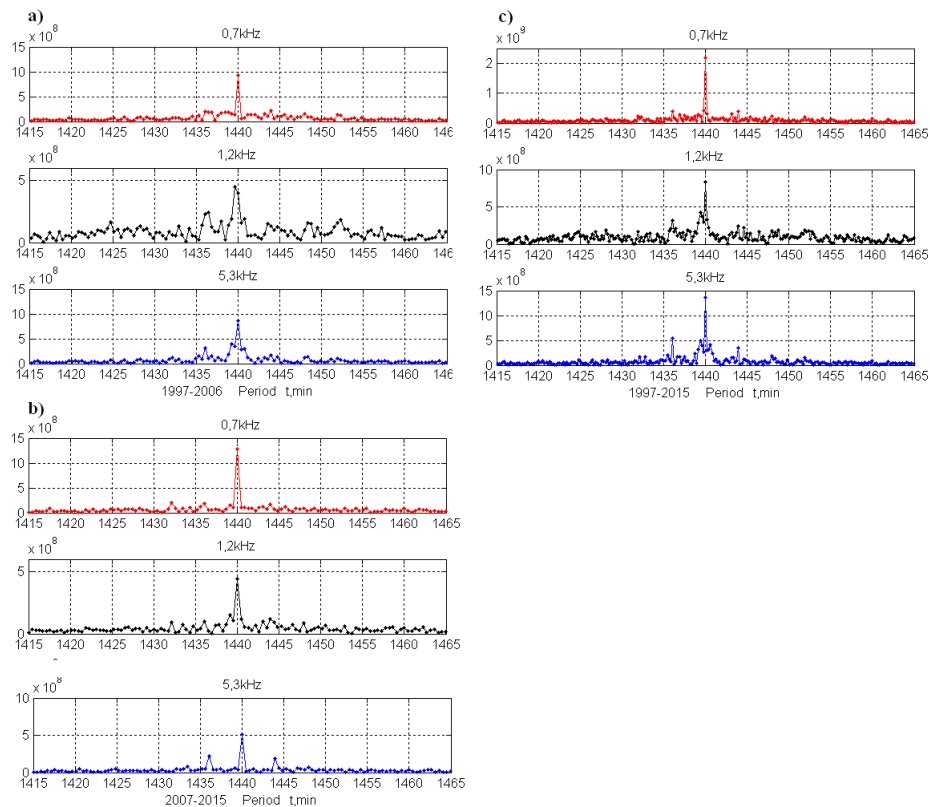


Рисунок. Периодограммы огибающей ОНЧ-шумов на трех частотах, вблизи суточных периодов, по наблюдениям за: а) 1997 – 2006 гг., б) 2007 – 2015 гг., в) 1997 – 2015 гг.

Скорее всего, он обусловлен годовым вращением Земли вокруг Солнца, поскольку суточный ход огибающей ОНЧ-излучения на частоте f_0 модулируется годовым ходом с частотой Δf . Поэтому в спектре сигнала за счет годового хода должны появиться, кроме основной частоты f_0 , две одинаковые по амплитуде составляющие на частотах $f_1 = f_0 + \Delta f$ и $f_2 = f_0 - \Delta f$, где Δf — частота модуляции. В нашем случае основной период $T_0 = 1/f_0 = 1440$ мин, $T_1 = 1/f_1 = 1436$ мин, $T_2 = 1/f_2 = 1444$ мин. Из этих «годовых» периодов со «звездным» совпадает только период t_1 .

На рис. с приведена периодограмма за период регистрации с 1997 г. по 2015 г. (19 лет). Объединение данных (1997 – 2006 гг. и 2007 – 2015 гг.) для выполнения спектрального анализа позволило увеличить разрешающую способность по периоду колебаний. На этой периодограмме более отчетливо выделяются максимумы на периодах 1440 и 1436 мин. Имеется максимумы и на периоде 1444 мин, но меньшие по амплитуде.

Рассмотрим зависимость обнаруженных максимумов от периода наблюдений, шума и частоты регистрации. Назовем естественное шумовое излучение сигналом, а собственные шумы аппаратуры, различного рода помехи — шумом. Среднее значение шума вычислим для диапазона спектральных составляющих от 1415 до 1465 мин, исключив из них период с 1435 по 1445 мин, где проявляются сигналы, связанные с суточным и годовым ходом естественного электромагнитного излучения. Затем амплитудные значения сигналов на периодах T_1 , T_0 и T_2 разделим на среднее значение

шума и результат запишем в таблицу. В таблицах 1 – 3 приведены для различных временных промежутков наблюдений за ОНЧ-излучением для огибающей на трех частотах значения K спектральных составляющих, деленных на средние значения шума.

Таблица 1

1997 – 2006 гг.			
Т (мин)	1436	1440	1444
К (0.7 кГц)	4.5	20.8	4.6
К (1.2 кГц)	3.2	5.7	1.8
К (5.3 кГц)	7.9	21.4	4.2

Таблица 2

2007 – 2015 гг.			
Т (мин)	1436	1440	1444
К (0.7 кГц)	3.9	26.9	3.6
К (1.2 кГц)	3.1	13.6	3.6
К (5.3 кГц)	9.2	21.0	4.9

Таблица 3

1997 – 2015 гг.			
Т (мин)	1436	1440	1444
К (0.7 кГц)	5.8	32.7	5.6
К (1.2 кГц)	4.0	10.7	3.1
К (5.3 кГц)	11.4	28.7	7.3

Из таблиц 1 – 3 видно, что основной суточный максимум K на периоде $T_0 = 1440$ мин значительно превышает уровень шума, а также максимумы K на периодах $T_1 = 1436$ мин и $T_2 = 1444$ мин, на всех регистрируемых частотах. Максимумы K на периодах 1436 мин и 1444 мин также, в основном, значительно превышают шумовой уровень.

За период наблюдений с 1997 по 2006 гг. (таблица 1) значения K на частоте 0,7 кГц, на периодах 1436 мин и 1444 мин, примерно одинаковы и превосходят уровень шума более чем в 4 раза. Это свидетельствует о том, что на этой частоте максимумы K на периодах 1436 мин и 1444 мин определяются, в основном, влиянием годового хода излучений, а небольшая разница в их значениях произошла из-за воздействия шума.

На частоте 1.2 кГц разница между K на периодах 1436 мин и 1444 мин (таблица 1) больше рассмотренной выше, что свидетельствует о наличии дополнительного, кроме годового, источника излучения, типа «звездного». Заметим, что на этой частоте значения K меньше, чем на других частотах, т. е. относительный вклад шума на этой частоте больше. На частоте 5.3 кГц значения K наибольшее, для всех приведенных в таблице 1 периодах T . На этой частоте хорошо проявляется как «звездный», так и «годовые» периоды.

За период наблюдений с 2007 по 2015 гг. (таблица 2) практически повторяется все, что было изложено для периода наблюдений с 1997 по 2006 гг., за исключением того, что на частоте 1.2 кГц значение K на периодах 1436 мин и 1444 мин примерно

одинаковые. На этой частоте проявляется «годовой» период, а небольшое превышение K на периоде 1444 мин над периодом 1436 мин объясняется воздействием шума.

Значения K за весь период наблюдений, с 1997 по 2015 гг. (таблица 3) показывают, что с увеличением времени наблюдений увеличивается отношение сигнал/шум и более отчетливо выделяется «звездный» период. Хорошо наблюдается и «годовые» периоды, например, на частоте 0.7 кГц, где разница между значениями K на периодах 1436 мин и 1444 мин небольшая. Как и в предыдущих случаях, уверенно выделяется «звездный» период 1436 мин на частоте 5.3 кГц.

Источники излучений

Известно, что основным источником естественных электромагнитных излучений в ОНЧ диапазоне являются грозные разряды. При приеме этих излучений уровень сигнала зависит от интенсивности грозных источников и условий прохождения сигналов на трассе распространения. В летний период на северо-востоке России принимаются в основном излучения от ближних (региональных) грозных источников. Уровень принимаемого шума в этот период времени максимальный. Зимой местные грозы отсутствуют и ОНЧ приемник регистрирует удаленные грозы, находящиеся в основном, в приэкваториальных областях. Принимаются излучения от мировых очагов гроз [6]. Уровень принимаемого излучения в это в это время года значительно зависит от условий прохождения сигнала на трассе распространения, поскольку в ночное время принимаются излучения, находящийся на расстоянии порядка 10 000 км от пункта регистрации.

При распространении излучений от удаленных источников основным фактором, влияющим прием ОНЧ сигналов, является рентгеновское излучение Солнца. В работе [1] установлена тесная связь вариаций интенсивности ОНЧ-шумов с изменениями рентгеновского потока во время солнечных вспышек, а в работе [2] по уровню поглощения регулярного шумового ОНЧ-излучения рассмотрен метод оценки потоков рентгеновского излучения солнечных вспышек. Интенсивность рентгеновского излучения солнечной вспышки может достигать больших значений. Например, вспышке, произошедшей 4 ноября 2004 г., соответствует пиковая интенсивность $28 \cdot 10^{-4}$ Вт/м² [<http://ru.wikipedia.org/wiki/>]. Способность рентгеновских вспышек вызывать внезапное ионосферное возмущение зависит как от величины его потока, так и от степени увеличения жесткости во время вспышки, оцениваемой как отношение уровней потоков в спектральных интервалах $0 - 3 A^0$ и $0 - 8 A^0$ [7]. Кроме солнечного, имеется и галактическое излучение в рентгеновском диапазоне, которое также может влиять на уровень принимаемого ОНЧ-шума путем воздействия на области D и E ионосферы. С.Л. Мандельштам пишет [<http://w-rabbit.narod.ru/gaznoe/rentgen.htm>], что у границы земной атмосферы поток рентгеновского излучения Солнца в области 1 – 10 ангстрем составляет 10^{-4} эрг/(см²с) (полный поток электромагнитного излучения от Солнца у границы земной атмосферы равен $1,5 \cdot 10^6$ эрг/(см²с), а наиболее сильный источник галактики находится в созвездии Скорпиона Sco X-1, поток от которого составляет $5 \cdot 10^{-7}$ эрг/(см²с) (от галактики на рентгеновский диапазон приходится $10^{-4} - 10^{-3}$ светимости относительно оптического диапазона). Имеются около сотни дискретных рентгеновских источников. Также рентгеновское излучение наблюдается из рентгеновского хребта Галактики и представляет собой протяженное излучение малой поверхност-

ной яркости, расположенное в виде полосы шириной около 1 – 2 градусов вдоль галактической плоскости [<http://ru.wikipedia.org/wiki/>]. Кроме того, по разумным, статистически обоснованным подсчетам, можно ожидать около тысячи метagalактических рентгеновских источников [<http://w-rabbit.narod.ru/raznoe/rentgen.htm>], но поток, доходящий до земной атмосферы от этих источников, мал из-за огромного до них расстояния. Из изложенного следует, что поток рентгеновского излучения галактики у границы земной атмосферы хотя и отличается по величине от потока рентгеновского излучения Солнца, но также способен влиять на уровень ионизации областей D и E ионосферы, что приводит к изменению амплитуды принимаемых ОНЧ-излучений.

Кроме рентгеновского излучения, на прием шумовых ОНЧ-сигналов могут оказывать влияние ионосферные и магнитосферные бури, а также промышленные помехи, помехи сети 50Гц и ее гармоники. Основной вклад ионосферно-магнитосферные бури вносят при приеме ОНЧ-сигналов на высоких широтах, в зоне полярных сияний. Промышленные помехи в большей степени наблюдаются вблизи городов и промышленных поселений. В нашем случае пункт наблюдения расположен вдали от зоны полярных сияний и от помех промышленного происхождения. Все же хотя и не большой, но определенный вклад указанные источники в шумовую составляющую ОНЧ-сигналов вносят.

Рентгеновское излучение, влияющее на процесс ионизации ионосферы, различным образом воздействует на частотные характеристики принимаемых ОНЧ-сигналов. Замечено, что в области частот меньших 1 кГц во время солнечных рентгеновских вспышек обычно наблюдалось повышение шумового уровня принимаемого излучения, в то время как на частотах 4 – 5 кГц имелось значительное его уменьшение. В нашем случае принимаемые излучения на 0,7 кГц и 1,2 кГц находятся в переходной области частот, на которые рентгеновское излучение оказывает слабое воздействие, поэтому эффект от воздействия рентгеновских источников на этих частотах будет минимальным. На этих частотах примерно одинаковые значения K на периодах 1436 мин и 1444 мин (таблицы 1 – 3) свидетельствуют о превышении «годового» вклада над «звездным».

Частота 5,3 кГц приходится на диапазон частот с максимальным воздействием рентгеновского излучения, поэтому эффект от него на этой частоте должен быть более значимым, что и наблюдается в значениях K (таблицы 1 – 3). Значительное превышение K на периоде 1436 по сравнению с периодом 1444 свидетельствует в пользу превышения преобладания «звездного» источника над «годовым».

Заключение

Выполнен спектральный анализ огибающей шумовых электромагнитных излучений на частотах 0,7, 1,2, 5,3 кГц вблизи суточных периодов за время наблюдений с 1997 г. по 2006 г. (10 лет), с 2006 г. по 2015 г. (9 лет) и за весь период наблюдений с 1997 г. по 2015 гг. (19 лет).

В спектральных составляющих наблюдаются максимумы излучений на периодах 1436, 1440 и 1444 мин. Все зарегистрированные максимумы за период наблюдений с 1997 г. по 2015 гг. превышают средние значения шума более чем в 3 раза. Максимальное превышение излучений над шумом равно 28,7 и наблюдается на периоде 1440 мин для принимаемой частоты 5,3 кГц. Спектральная составляющая на периоде

1440 мин обусловлена суточным вращением Земли вокруг Солнца, а на периоде 1436 суточным вращением Земли относительно удаленных звезд. В спектральных составляющих шумового электромагнитного излучения проявляется также годовой ход на периодах 1436 и 1444 мин.

Показано, что рентгеновское излучение галактики способно влиять на уровень ионизации области D ионосферы и его воздействие приводит к появлению максимума в спектре шумового ОНЧ излучения на периоде 1436 мин, связанного с вращением Земли относительно звезд. Полученный результат может способствовать более полному пониманию процессов, влияющих на область D и ионосферы.

Список литературы

- [1] Мурзаева Н. Н., *Связь ОНЧ излучения верхней атмосферы с другими геофизическими явлениями*, изд. ЯФ СО АН СССР, Якутск, 1977, 21-24 с., [Murzaeva N. N. Svyaz' ONCh izlucheniya verkhney atmosfery s drugimi geofizicheskimi yavleniyami. Yakutsk. izd. YaF SO AN SSSR. 1977. 21-24 (in Russian)].
- [2] Муллаяров В. А., Каримов Р. Р., Козлов В. И., Мурзаева Н. Н., "Связь грозовой деятельности с солнечной активностью по наблюдениям фонового ОНЧ-излучения", *Метеорология и гидрология*, **8** (1998), 48–56, [Mullayarov V. A., Karimov R. R., Kozlov V. I., Murzaeva N. N. Svyaz' grozovoy deyatel'nosti s solnechnoy aktivnost'yu po nablyudeniya fonovogo ONCh-izlucheniya. Meteorologiya i gidrologiya. 1998. 8. 48–56 (in Russian)].
- [3] Козлов В. И., Муллаяров В. А., *Грозовая активность в Якутии.*, изд. ЯФ СО РАН, Якутск, 2004, 104 с., [Kozlov V. I., Mullayarov V. A. Grozovaya aktivnost' v Yakutii. Yakutsk izd. YaF SO RAN. 2004. 104 (in Russian)].
- [4] Дружин Г. И., Мельников А. Н., Чернева Н. В., "Проявление суточных периодов Земли в ОНЧ излучениях", *Доклады Академии Наук*, **457:1** (2014), 92–94, [Druzhin G. I., Mel'nikov A. N., Cherneva N. V. Proyavlenie sutochnykh periodov Zemli v ONCh izlucheniya. Doklady Akademii Nauk. 2014. 457:1. 92–94 (in Russian)].
- [5] Дружин Г. И., "Суточные периоды в ОНЧ излучении и их связь с рентгеновским излучением", *Международный научно-исследовательский журнал*, **8:39** (2015), 98–101, [Druzhin G. I. Sutochnye periody v ONCh izlucheni i ikh svyaz' s rentgenovskim izlucheniem. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2015. 8:39. 98–101 (in Russian)].
- [6] Дружин Г. И., Шапаев В. И., "Роль мировой грозовой активности в формировании амплитуды регулярного шумового фона", *Геомагнетизм и аэрномия*, **28:1** (1988), 81–86, [Druzhin G. I., Shapaev V. I. Rol' mirovoy grozovoy aktivnosti v formirovanii amplitudy regul'yarnogo shumovogo fona. Geomagnetizm i aeronomiya. 1988. 28:1. 81–86 (in Russian)].
- [7] Митра А., *Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли*, изд. Мир, М., 1977, 370 с., [Mitra A. Vozdeystvie solnechnykh vspyshek na ionosferu Zemli M. izd. Mir 1977. 370 (in Russian)].

Для цитирования: Дружин Г. И., Стасий И. Е. Связь суточных периодов ОНЧ излучений с рентгеновскими источниками // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2016. № 4(15). С. 92-98. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-92-98

For citation: Druzhin G. I., Stasiy I. E. Relation of daily periods of VLF radiation with X-ray sources, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2016, **15**: 4, 92-98. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-92-98

Поступила в редакцию / Original article submitted: 07.09.2016