



УДК 520.27

Свойства индексов космической погоды и возможность их применения к анализу данных долговременных измерений потоков радиоисточников на радиотелескопе «Уран-4»

Л.И. Гугля, М.И. Рябов, А.Л. Сухарев

Одесская обсерватория «Уран-4» Радиоастрономического института НАН Украины

На радиотелескопе «УРАН-4» Одесской обсерватории Радиоастрономического института в течении 25 лет (с 1987 года по настоящее время) проводится мониторинг потоков мощных галактических и внегалактических радиоисточников на частотах 25 и 20 МГц. В целом наблюдения проводились в течении 22–23 циклов солнечной активности и в начале 24 цикла. Рассматриваются долговременные изменения плотности потоков в связи с изменением состояния ионосферы в цикле активности Солнца. Средствами Вейвлет анализа определена динамика изменений основных индексов космической погоды и выявлены основные периоды активности. Полученные данные будут использованы для интерпретации наблюдений изменений потоков радиоисточников, как в течение всего цикла активности, так и при экстремальных проявлениях космической погоды.

ВЛАСТИВОСТІ ІНДЕКСІВ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ І МОЖЛИВІСТЬ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДО АНАЛІЗУ ДАНИХ ДОВГОТРИВАЛИХ ВІМІРІВ ПОТОКІВ РАДІОДЖЕРЕЛ НА РАДІОТЕЛЕСКОПІ «УРАН-4», Гугля Л.І., Рябов М.І., Сухарев А.Л. — На радіотелескопі «УРАН-4» Одеської обсерваторії Радиоастрономічного інституту на протязі 25 років (з 1987 року по теперішній час) проводиться моніторинг потоків потужних галактичних і позагалактичних радіоджерел на частотах 25 і 20 МГц. Спостереження проводилися протягом 22–23 циклів сонячної активності і на початку 24 циклу. Розглядаються довготривалі зміни щільності потоків у зв'язку зі зміною стану іоносфери в циклі активності Сонця. Засобами Вейвлет аналізу визначена динаміка змін основних індексів космічної погоди та виявлено основні періоди активності. Отримані дані будуть використані для інтерпретації спостережень змін потоків радіоджерел, як протягом усього циклу активності, так і при екстремальних проявах космічної погоди.

PROPERTIES INDEXES OF SPACE WEATHER AND POSSIBILITY THEIR APPLICATION TO ANALYSIS DATA OF LONG DURATION OBSERVATION FLUXES RADIOSOURCES ON RADIOTELESCOPE «URAN-4», by Guglya L.I., Ryabov M.I., Suharev A.L. — On radio telescope "URAN-4" of the Odessa observatory of Radioastronomical Institute during of twenty five years (since 1987 on the present) monitoring of high-power galactic and extragalactic radiation sources on frequencies of 25 and 20 MHz has been carrying out. Data of supervision was spent in a current of the 22–23th cycles of solar activity and in the beginning the 24th cycles. Long-term density changes of flows in connection with change of a condition of an ionosphere in a cycle of activity of the Sun are considered. Means Fourier and Wavelet the analysis determine dynamics of changes of the basic indexes of space weather and the basic periods of activity are revealed. The obtained data will be used for interpretation of supervision of changes radiation sources fluxes, both during all cycle of activity, and at extreme developments of space weather.

Ключевые слова: радиотелескопы; космическая погода.

Key words: radio telescopes; space weather.

1. ВВЕДЕНИЕ

Со времени ввода в эксплуатацию радиотелескопа «УРАН-4» (1987 год) на нем была организована программа мониторинга потоков мощных галактических и внегалактических радиоисточников. В программу мониторинга входят четыре мощных радиоисточника: Кассиопея А, Телец А, Лебедь А и Девы А. Наблюдения радиоисточников проводились отдельными сеансами, в пределах ± 2 часа до и после кульминации источников. В данных направлениях обеспечивается прием при высоких значениях эффективной площади антенны радиотелескопа. Время прохождения радиоисточников ЗС144, ЗС274, ЗС405 через диаграмму направленности составляло 40 минут (для каждого часового угла), для радиоисточника ЗС461 — 60 минут. В целом общее время суточного мониторинга превышало 13 часов [2].

Состояние ионосферы Земли изучалось методом «просвечивания» ее излучением радиоисточника. В результате наблюдений отмечаются существенные вариации в уровне потока радиоисточников. Эти изменения вызваны явлениями и процессами, которые связаны с проявлением солнечной и геомагнитной активности. Таким образом, исследуя данные полученные в результате мониторинга потоков радиоисточников, может быть определена степень и характер влияния космической погоды на верхнюю атмосферу Земли. В числе исследуемых факторов космической погоды оказывающих физическое влияние на ионосферу рассматривался индекс потока радиоизлучения Солнца на волне 10 см. — F10.7 и индекс планетарной геомагнитной активности — Ар-индекс [1].

2. ОСНОВНЫЕ ПЕРИОДЫ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Активные области на Солнце выбрасывают солнечную плазму в виде высокоскоростных потоков, которые вызывают геомагнитные возмущения. Так как активные области на Солнце иногда сохраняются в течение нескольких солнечных оборотов по данным существует *27-дневная периодичность в исследуемых индексах космической погоды*.

Отмечается существование нескольких субпериодов *от 12 до 14 и от 6 до 9 суток*, наблюдаемых в геомагнитной активности [4–5]. Предполагается, что эти меньшие периоды связаны с секторами межпланетного магнитного поля, взаимодействующего с геомагнитным полем.

Среди более продолжительных периодов геомагнитной активности известна *полугодовая вариация* [7]. Геомагнитное поле испытывает также более продолжительные вариации. Сообщается о небольших *годовых вариациях*, хотя и не полностью установленных, которые могут объясняться ионосферными ветрами. Кроме того в обоих индексах, имеются хорошо известные *11-летние* и *22-летние периоды*, связанные с циклом солнечных пятен. Сообщается и о других периодах в интервале от 2 до 80 лет [4].

3. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Программа мониторинга потоков включала наблюдения мощных космических радиоисточников 3C144, 3C274, 3C405, 3C461 на частоте 25 МГц, в период с 1998 по 2005 годы. На рис. 1 представлены

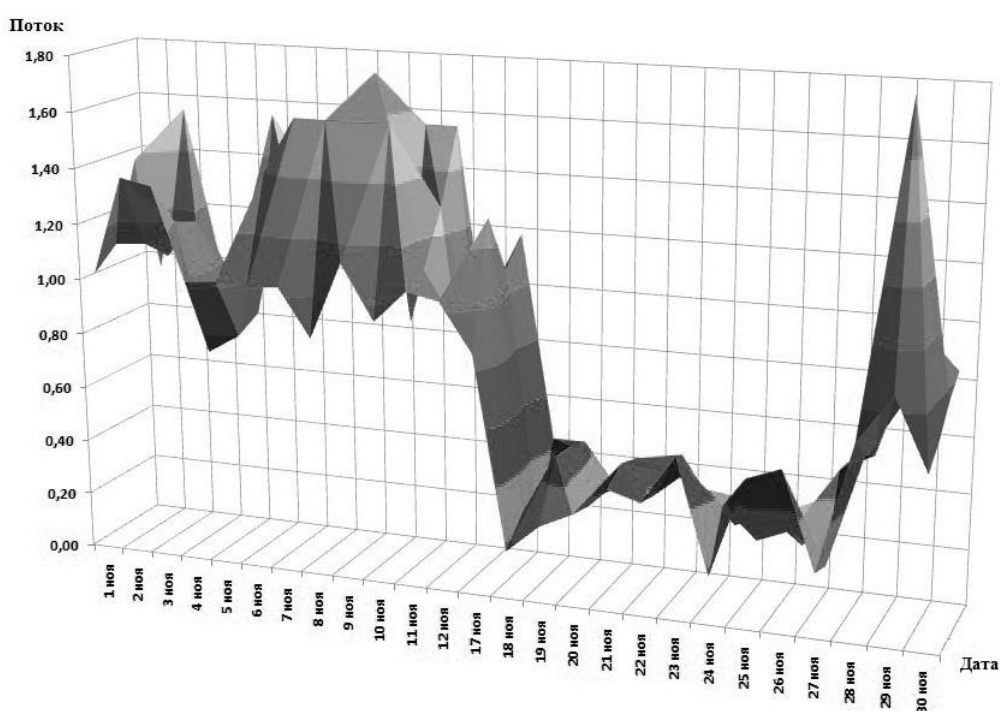


Рис. 1. Вариации потока радиоисточника C461 А 25 МГц в ноябре 2003
3C405A25

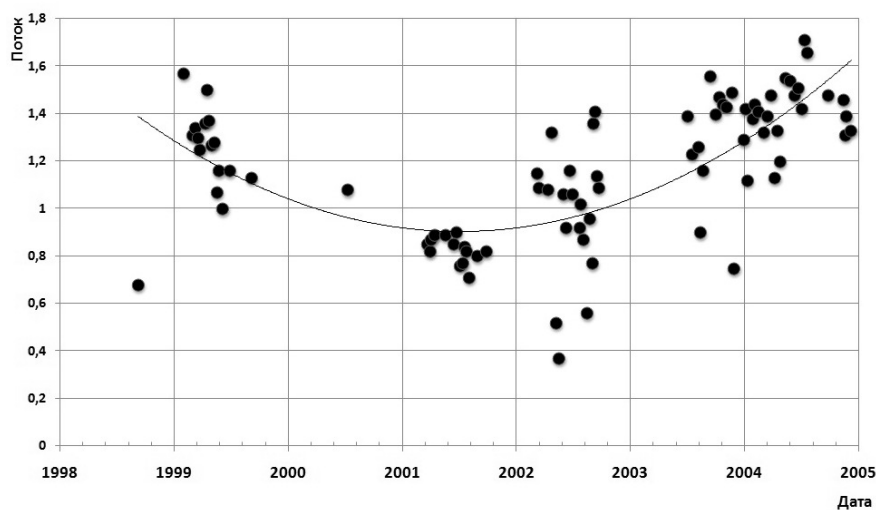


Рис. 2. Вариации потока радиоисточника C405 А 25 МГц на протяжении 23-го цикла солнечной активности

вариации уровня потока радиоисточника 3С461 в ноябре 2003 года, в период повышенной солнечной и геомагнитной активности [6]. Во время периода активности, который начался 17 ноября, отмечается резкий спад уровня потока радиоисточника. В этот период на Солнце произошло 8 вспышек, наиболее мощные баллов М1.2 и М4.2. 18 ноября на диске Солнца произошло 9 вспышек с максимальными баллами М3.2, М3.9 и М4.5. Наиболее геоэффективной была вспышка от 18 ноября (балла 2N), которая сопровождалась рентгеновскими всплесками балла М3.2 и М3.9. Данная вспышка вызвала большую магнитную бурю. Мощная вспышка балла М1.7 наблюдалась 19 ноября. В последующем 20 ноября период активности был продолжен вспышками М9.6/2b и М5.8. Деятельность 21–23 ноября проявилась вспышками баллов В9.2, В8.8, С4.3.

Анализируя долговременные изменения потока радиоисточников, можно проследить как 11-й цикл солнечной активности, так и отдельные всплески, вызванные экстремальными проявлениями космической погоды (рис. 2).

4. ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ ИНДЕКСА (F10.7)

Для получения данных о спектрально-пространственных характеристиках индекса F10.7 на всем временном ряду применялся вейвлет анализ. Вейвлет анализ обеспечивает получение сведений о наличии основных периодов и времени их существования [6].

В результате такого анализа был построен частотно-временной вейвлет спектр распределения плотности энергии (рис. 3).

В этом спектре существенно выделяется 11-ти летний период, являющийся самым интенсивным. Для исключения этого тренда, был рассчитан частотно временной вейвлет спектр для данных с отфильтрованным одиннадцатилетним периодом. Результаты расчетов отображены на рис. 4.

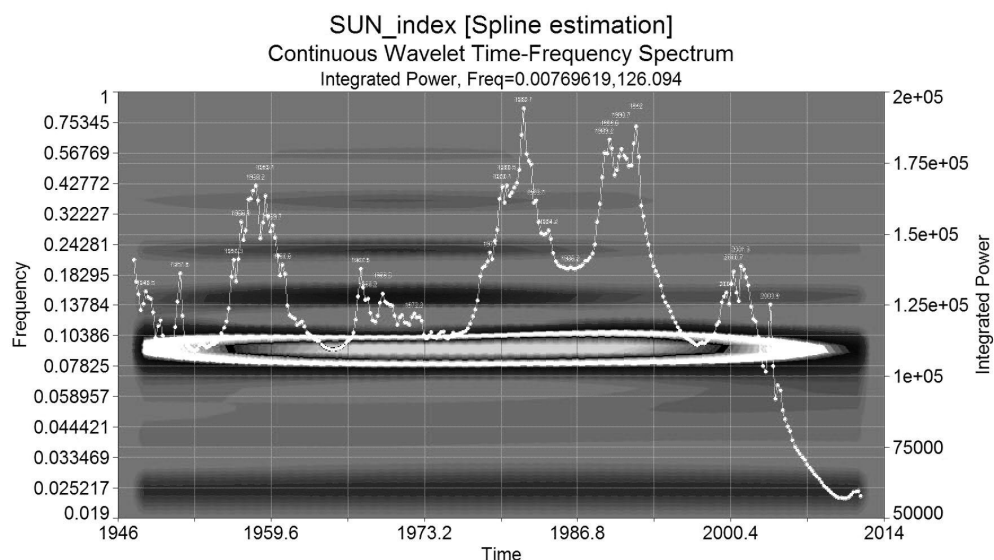


Рис. 3. Частотно-временной вейвлет спектр распределения плотности энергии (F10.7)

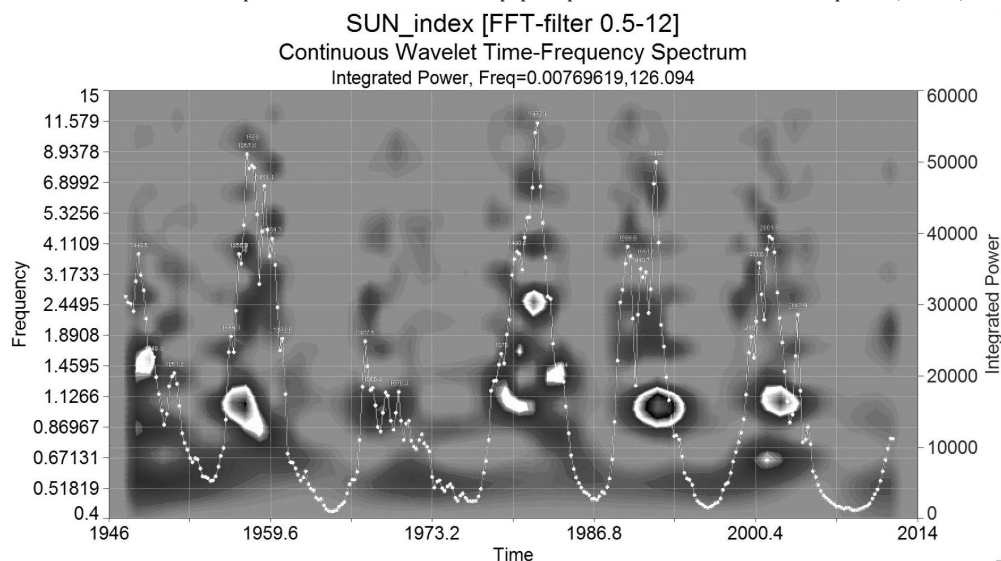


Рис. 4. Частотно-временной вейвлет спектр распределения плотности энергии, с вычетом 11-летнего периода (F10.7)

В результате вейвлет-анализа были выявлены ведущие периоды, характеризующие каждый год 23-го цикла солнечной активности по данному индексу (табл. 1).

Таким образом, была получена общая картина наиболее интенсивных периодов по индексу F10.7 на протяжении всего 23 цикла солнечной активности, которая формируется долгопериодическими процессами, соответствующие периодам: 575 дней (примерно 1.5 года), 370 дней (окологодовой период). Отмечается целый «спектр периодов» промежуточной продолжительности, которые присутствуют на различных фазах цикла (191, 153, 122, 98, 79 дней). Среди самых коротких присутствуют периоды в 63, 50, 32 дня.

5. ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ ДАННЫХ Ар-ИНДЕКСА

Аналогичная процедура была проведена для геомагнитного индекса. На первом этапе был построен частотно-временной спектр для исходного ряда данных (рис. 5). Затем методом фильтрации были выделены короткопериодические процессы на всем временном интервале (рис. 6).

Основные периоды, составляющие 23-й цикл солнечной активности, занесены в табл. 2.

По результатам вейвлет анализа были выявлены наиболее интенсивные периоды и определена динамика изменения их интенсивности на протяжении всего 23 цикла солнечной активности (рисунок 10). Были определены долгопериодические процессы: околорядовый период (627 дней), примерно годовой (374 дней). Периоды промежуточной продолжительности: 270, 253, «полугодовой» — 183–196 дней, и короткопериодические процессы (периоды 53 дня, 19 дней, 26, 13–14 дней).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование мониторинга потоков космических радиоисточников проводимых на радиотелескопе «URAN-4» позволяет «просвечивать» всю верхнюю атмосферу Земли и определяет интегральный эффект

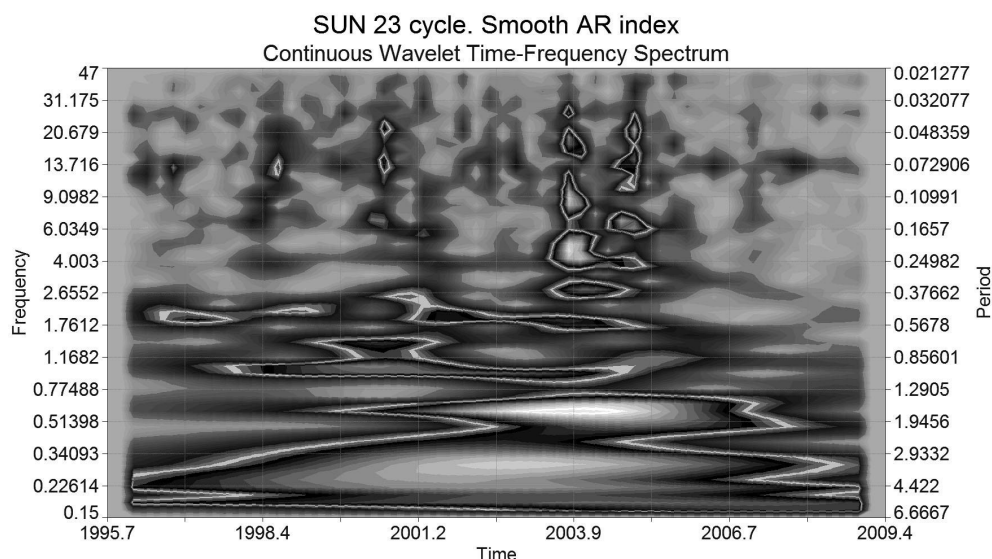


Рис. 5. Частотно-временной вейвлет спектр распределения плотности энергии (Ар-индекс)

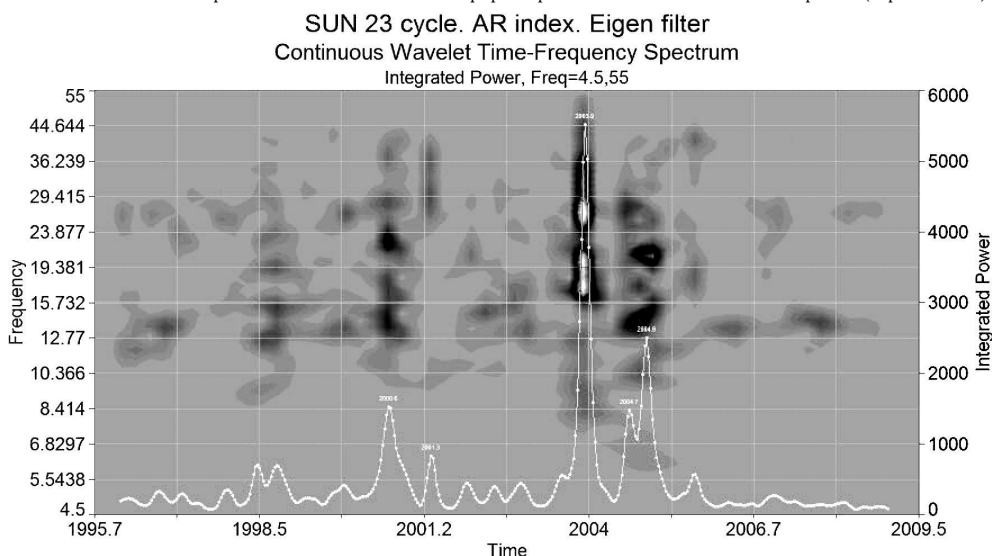


Рис. 6. Частотно-временной вейвлет спектр распределения плотности энергии, короткопериодические процессы (Ар-индекс)

Таблица 1. Наиболее значимые периоды радиоизлучения Солнца на волне 10.7 см (дни)

Год	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность
1996	718	28168	370	12266	153	1218	238	993
1997	718	21161	370	5724	153	4951	98	3429
1998	575	35758	153	32864	297	12855	79	3977
1999	575	54251	153	41446	297	20698	32	8334
2000	575	68807	297	59561	122	37909	63	32128
2001	297	79048	575	68702	79	42941	153	27532
2002	370	89038	575	67323	98	27117	50	14475
2003	370	83000	575	52589	32	20068	122	15929
2004	370	53999	575	37102	122	17752	32	14847
2005	370	22151	575	21138	98	9674	153	2620
2006	575	11529	370	8975	122	3671	191	2720
2007	718	8327	370	5439	191	2678	122	1104
2008	718	15559	370	8280	191	1202	122	607
2009	718	20659	370	10681	238	1943	191	1425
2010	718	29298	191	19399	370	10777	122	2564
2011	191	31190	718	22794	370	10307	50	7165

Таблица 2. Наиболее значимые периоды Ар-индекса (дни)

Год	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность	Период, дни	Мощность
1996	183	1500	28	1170	350	734	627	340
1997	196	1500	374	1340	627	580	14	200
1998	374	2032	26	1580	183	1066	627	880
1999	374	2500	270	1600	627	1327	183	1067
2000	374	2509	24	2200	627	1900	270	1820
2001	627	2706	374	2500	253	1660	196	1540
2002	627	3405	183	1832	399	1713	23	1023
2003	20	5900	627	3700	41	3600	74	3400
2004	627	3700	19	3000	196	1900	141	1600
2005	627	3200	57	2100	96	1400	209	1250
2006	588	2200	328	977	223	769	26	730
2007	761	1500	551	1280	26	960	328	590
2008	761	1065	551	702	26	656	328	311

воздействия солнечной и геомагнитной активности. Подобные результаты не могут быть получены с помощью наземных радиофизических и радиолокационных методов.

2. Средствами вейвлет анализа получены сведения о наличии и времени существования основных периодов, формирующих космическую погоду.

3. С помощью применения вейвлет анализа были получены более детальные сведения о периодах, определяющих наиболее интенсивные фазы активности. Для индекса F 10.6 обнаружены периоды: 575 дней, 370 дней. Для Ар-индекса: 627 дней, 374 дней (долгопериодические процессы) и 53 дня, 19 дней, 13 дней короткопериодические процессы). Различие между двумя индексами обусловлено особенностями воздействия активности Солнца на магнитосферу Земли в которых заметную роль проявляют потоки от корональных дыр. Наличие самих корональных дыр в формировании индекса F10.7 проявляется с обратным знаком приводя к уменьшению потока радиоизлучения.

1. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1975.
2. Гуля Л.И., Рябов М.И., Панишко С.К. Эффекты воздействия состояния космической погоды на верхнюю атмосферу земли по данным мониторинга потоков мощных радиоисточников на «РТ УРАН-4» РИ НАНУ // 11-я Гамовская астрономическая конференция-школа: сб. науч. трудов. — 2011. — С. 159–161.
3. Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос–Земля. Прогнозы. — М.: Мысль, 1974.
4. Иванов-Холодный Г.С., Никольский Г.М. Солнце и ионосфера: монография. — М.: Наука, 1969.
5. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. — М.: Физматлит, 2004.
6. Смоленцев Н.К. Введение в теорию вейвлетов. — Москва-Ижевск, 2005. — 401 с.
7. Russell C.T., Mcpherron R.L. Semiannual Variation of Geomagnetic Activity // J. Geophys. California Res. — 1973. — 78(1). — P.92.

Поступила в редакцию 9.08.2013