

РАДИОФИЗИКА ГЕОКОСМОСА

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra22.04.294>

УДК 524

PACS numbers: 95.55.Jz,
95.85.Bh, 96.50.WxЛ. И. СОБИТНЯК, М. И. РЯБОВ, А. Л. СУХАРЕВ,
С. К. ПАНИШКООбсерватория “УРАН-4”, Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Пушкинская, 37, г. Одесса, 65011, Украина
E-mail: sobitniak@gmail.com, ryabov-uran@ukr.net,
magister_phys@yahoo.com, spanishko@ukr.net

СТРУКТУРА ПЕРЕМЕННОСТИ ИНДЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В ПРИМЕНЕНИИ К ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОИСТОЧНИКОВ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ “УРАН-4”

Предмет и цель работы: Исследование эффектов влияния солнечной и геомагнитной активности на состояние верхней атмосферы Земли методом “просвечивания” ее излучением космических радиоисточников.

Методы и методология: Мониторинг потоков излучения мощных галактических и внегалактических радиоисточников проводится на радиотелескопе “УРАН-4” Одесской обсерватории Радиоастрономического института НАН Украины с 1987 г. и по настоящее время (22–24 циклы солнечной активности).

Результаты: В результате наблюдений отмечаются существенные вариации потоков радиоисточников долговременного и кратковременного характера. Эти изменения вызваны явлениями и процессами, которые связаны с проявлением солнечной и геомагнитной активности. Таким образом, исследуя данные, полученные в результате мониторинга потоков радиоисточников, можно определить степень и характер интегрального влияния космической погоды на верхнюю атмосферу Земли в течение солнечного цикла и в отдельные эпизоды ее экстремальных проявлений. В числе исследуемых факторов космической погоды, оказывающих влияние на верхнюю атмосферу Земли, рассматривались индекс потока радиоизлучения Солнца на волне 10 см – F10.7 (как индикатор ультрафиолетового излучения Солнца) и индекс планетарной геомагнитной активности – A_p -индекс (как индикатор воздействия корпускулярных потоков). Заключение: Мониторинг потоков космических радиоисточников, проводимый на радиотелескопе “УРАН-4”, позволяет “просвечивать” всю верхнюю атмосферу Земли и определяет интегральный эффект воздействия на нее солнечной и геомагнитной активности. Подобные результаты не могут быть получены с помощью наземных радиофизических и радиолокационных методов. Средствами вейвлет-анализа получены сведения о наличии основных периодов, характеризующих космическую погоду, и о времени их существования. Это позволяет связать наблюдаемые эффекты в изменениях потоков радиоисточников с основными источниками влияния на состояние верхней атмосферы Земли.

Ключевые слова: верхняя атмосфера, солнечная активность, геомагнитная активность, космическая погода

1. Введение

Со времени ввода в эксплуатацию радиотелескопа “УРАН-4” в 1987 г. на нем была организована программа мониторинга потоков излучения мощных галактических и внегалактических радиоисточников. Эта программа охватывает мониторинг остатков сверхновых – радиоисточников Кассиопея А, Телец А, и радиогалактик – Лебедь А и Дева А. Наблюдения радиоисточников проводи-

лись на частотах 25 и 20 МГц отдельными сеансами, в пределах ± 2 ч от моментов кульминации источников. В таких пределах наблюдений обеспечивается прием при высоких значениях эффективной площади антенны радиотелескопа. Интервалы часовых углов, в которых наблюдались радиоисточники, показаны на рис. 1.

Время прохождения радиоисточников 3C144, 3C274, 3C405 через диаграмму направленности составляло 40 мин (для каждого часового угла), для радиоисточника 3C461 – 60 мин. В целом общее время суточного мониторинга превышало 13 ч. Время кульминаций радиоисточников в

© Л. И. Собишняк, М. И. Рябов, А. Л. Сухарев,
С. К. Панишко, 2017

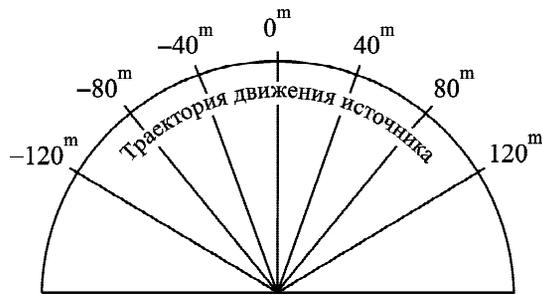


Рис. 1. Интервалы наблюдений радиоисточников в часовых углах относительно центрального меридиана

течение года показано на рис. 2. Таким образом, в результате мониторинга потоков радиоисточников получались данные наблюдений в различное время суток.

С 1987 по 1998 г. регистрация данных осуществлялась в аналоговом режиме. Начиная с 1999 г. наблюдения на радиотелескопе полностью автоматизированы, осуществляются цифровая запись сигналов и управление радиотелескопом персональной ЭВМ. Это позволяет проводить круглосуточные наблюдения в рамках различных программ. Образец записи данных по наблюдениям источника 3C405, полученный в автоматическом режиме регистрации, изображен на рис. 3. Сеансы наблюдений длительностью 10–14 сут проводились ежемесячно. Результатом наблюде-

ний стали средние значения плотностей потоков излучения радиоисточников за исследуемый период. Процедура получения этих данных представлена в работе [1].

2. Результаты наблюдений долговременных изменений потоков излучения радиоисточников

Долговременные изменения потоков излучения радиоисточников показывают влияние изменения состояния солнечной активности на верхнюю атмосферу Земли в течение солнечного цикла. Здесь основными влияющими факторами являются изменение поглощения излучения радиоисточника в ионосфере и генерация ионосферных неоднородностей при различной солнечной и геомагнитной активности [2–6]. На рис. 4–7 показаны результаты мониторинга потоков радиоисточников 3C144, 3C274, 3C405, 3C461 за период 23-го солнечного цикла. Каждая точка на графике представляет собой среднее значение результатов наблюдений за период длительностью до двух недель. Отмечается тренд изменения потока с солнечным циклом. Разброс данных относительно тренда определяется состоянием солнечной и геомагнитной активности, сезоном и временем наблюдения радиоисточника. Причина этих от-

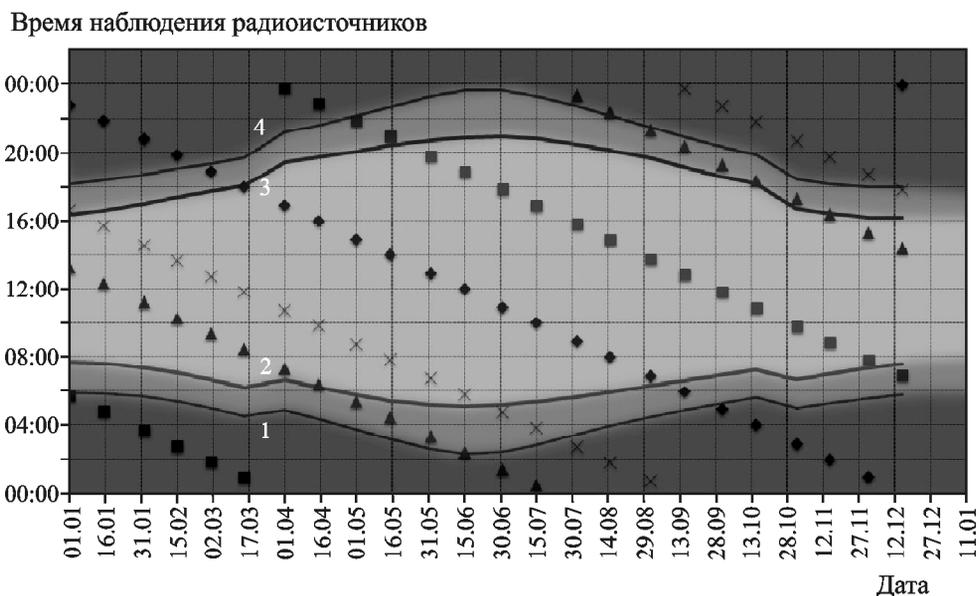


Рис. 2. Время наблюдений радиоисточников 3C144 (◇), 3C274(□), 3C405(△), 3C461(×). Линия 1 и линия 2 – соответственно начало и окончание сумерек при восходе Солнца, линия 3 и линия 4 – соответственно начало и окончание сумерек при заходе Солнца

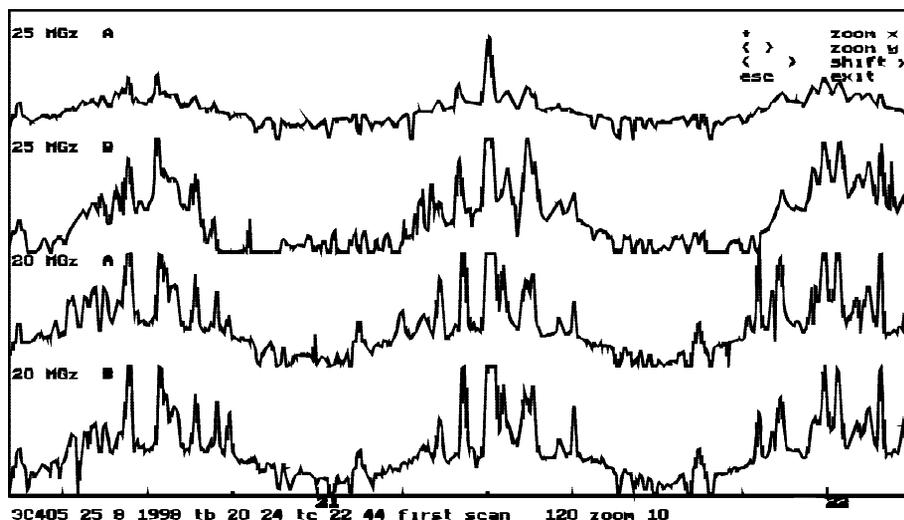


Рис. 3. Образец записи плотности потока радиосточника 3C405, полученный в автоматическом режиме регистрации

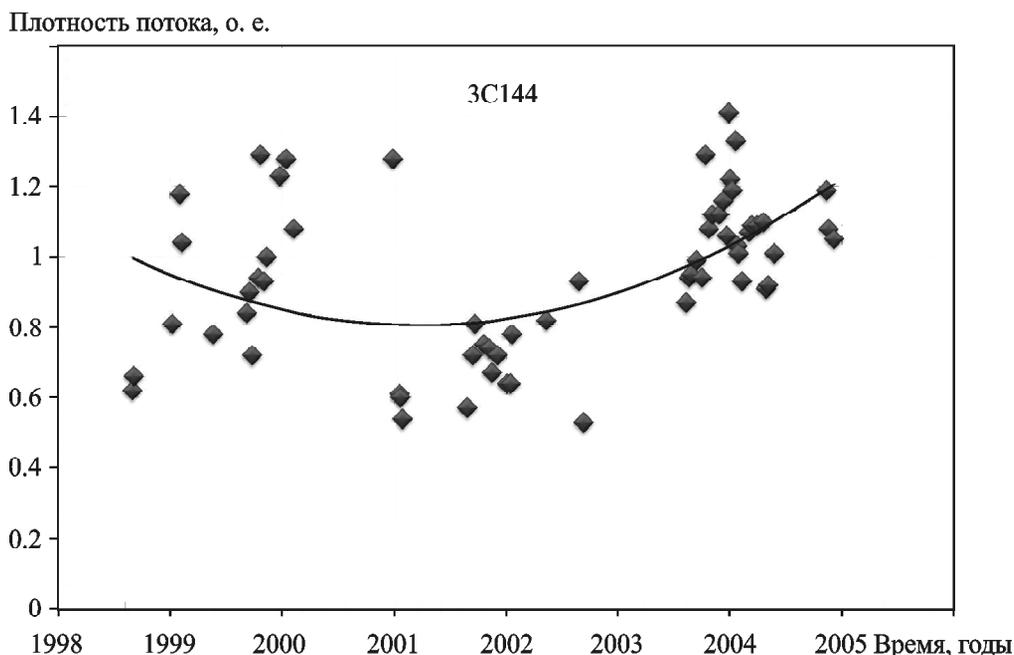


Рис. 4. Вариации плотности потока излучения радиосточника 3C144 (по отношению к сигналу генератора шума) на частоте 25 МГц, поляризация А, на протяжении 23-го цикла солнечной активности

клонений станет предметом исследований в последующих работах.

3. Изменения потоков излучения радиосточников при экстремальных состояниях солнечной активности

На рис. 8 представлены вариации уровня потока излучения радиосточника 3C461 в ноябре

2003 г. в период экстремально высокой солнечной и геомагнитной активности. В этот период, который начался 17 ноября и продолжился до 27 ноября, отмечался резкий спад уровня потока радиосточника. 17 ноября на Солнце произошло 8 вспышек, наиболее мощные M1.2 и M4.2. 18 ноября на диске Солнца произошло 9 вспышек с максимальными баллами M3.2, M3.9

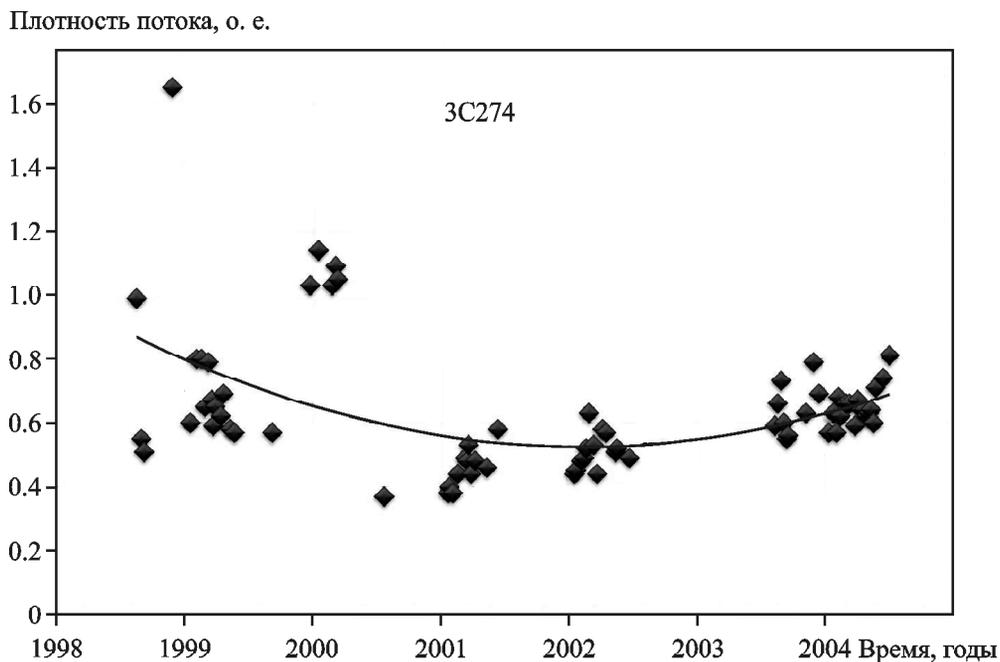


Рис. 5. Вариации плотности потока излучения радиоисточника 3C274 (по отношению к сигналу генератора шума) на частоте 25 МГц, поляризация А, на протяжении 23-го цикла солнечной активности

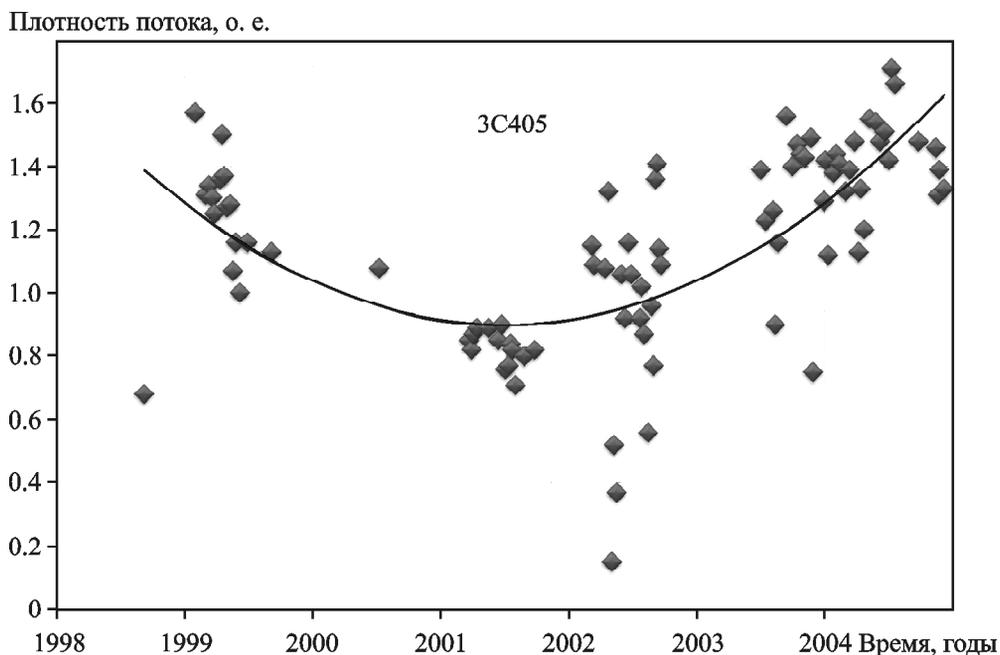


Рис. 6. Вариации плотности потока излучения радиоисточника 3C405 (по отношению к сигналу генератора шума) на частоте 25 МГц, поляризация А, на протяжении 23-го цикла солнечной активности

и М4.5. Наиболее геоэффективная вспышка 2N произошла 18 ноября и сопровождалась рентгеновскими всплесками М3.2 и М3.9. Эта вспышка вызвала сильную магнитную бурю. Импульсивная вспышка М1.7 наблюдалась 19 ноября.

Период активности был продолжен 20 ноября вспышками М9.6/2b и М5.8, 21–23 ноября – вспышками В9.2, В8.8, С4.3.

Таким образом, совместное действие различных проявлений космической погоды находит свое

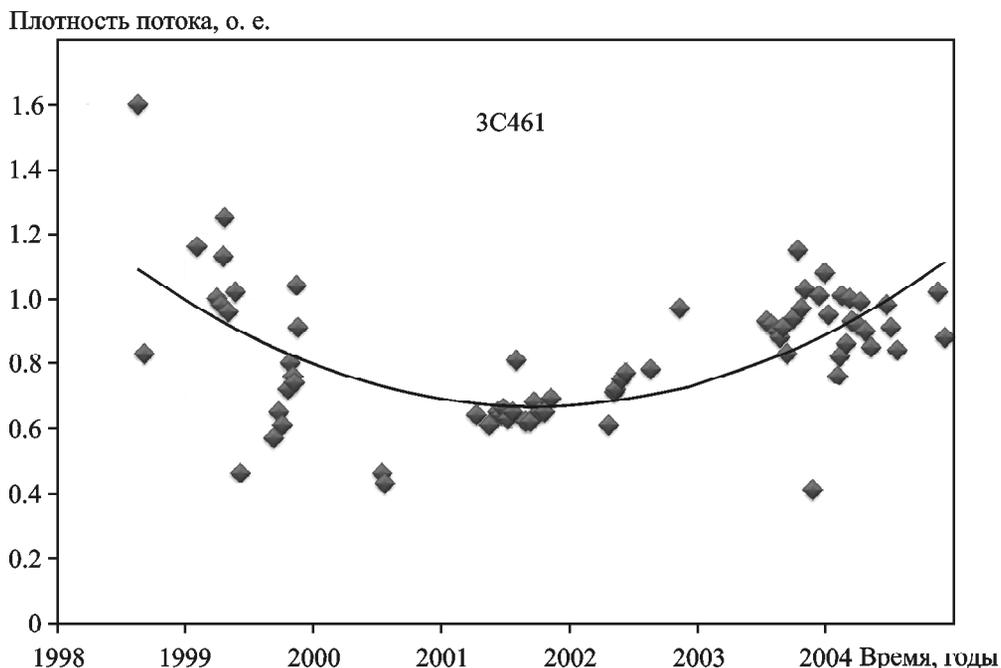


Рис. 7. Вариации плотности потока излучения радиисточника 3C405 (по отношению к сигналу генератора шума) на частоте 25 МГц, поляризация А, на протяжении 23-го цикла солнечной активности

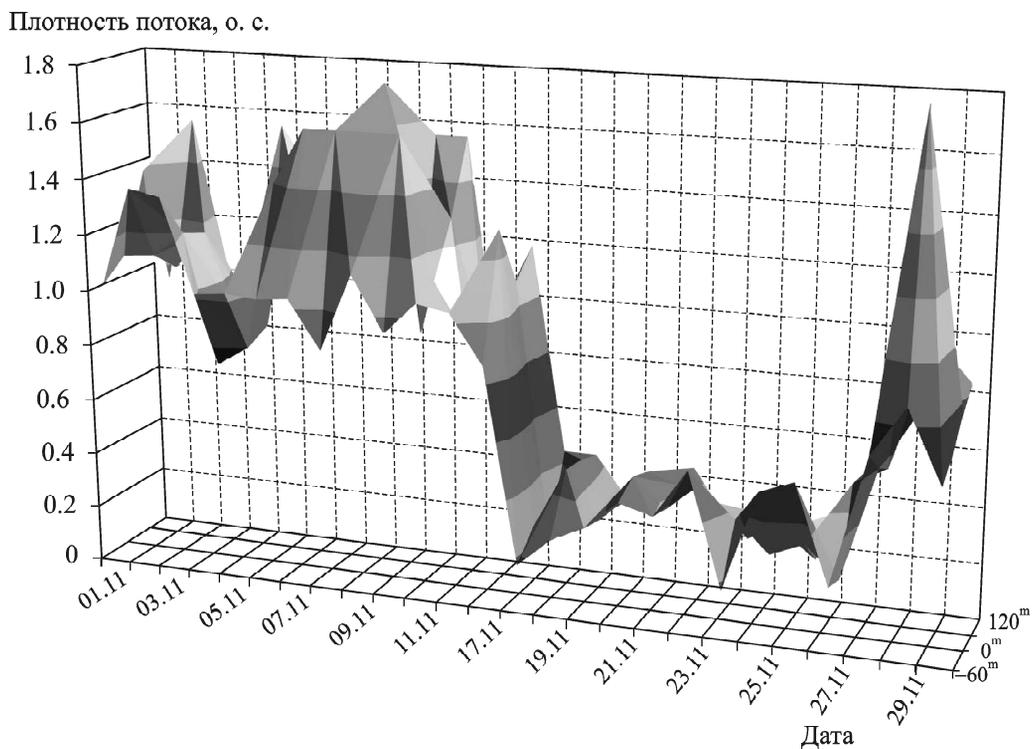


Рис. 8. Вариации плотности потока излучения радиисточника 3C461 (по отношению к сигналу генератора шума) при наблюдениях на различных часовых углах на частоте 25 МГц в ноябре 2003 г.

отражение в длительных депрессиях потоков мощных радиисточников в декаметровом диапазоне.

Для интерпретации данных долговременных и кратковременных изменений плотностей потоков радиисточников необходимо привлечение сведе-

ний о динамике изменений основных индексов космической погоды.

4. Исследование вариаций основных индексов космической погоды

В числе исследуемых факторов космической погоды, оказывающих влияние на ионосферу, рассматривались индекс потока радиоизлучения Солнца на волне 10 см – $F10.7$ и индекс планетарной геомагнитной активности – A_p -индекс. Для получения данных о спектрально-пространственных характеристиках индекса $F10.7$ исследование временной последовательности его значений проводилось с использованием вейвлет-анализа [7]. В работе [1] этот метод применялся к последовательности значений индексов $F10.7$, полученных в 1963–2013 гг. В настоящей работе временной диапазон расширен до 2017 г.

5. Основные периодические составляющие в последовательности значений индекса $F10.7$

Индекс $F10.7$ коррелирует с ультрафиолетовым и рентгеновским излучениями Солнца, оказывающими волновое воздействие на ионизацию ионосферы [8]. В результате вейвлет-анализа был построен частотно-временной спектр распределения

плотности энергии для индекса $F10.7$ в период 20–24 циклов солнечной активности с исключением наиболее мощного 11-летнего цикла (рис. 9). При таком подходе удается выявить кратковременные изменения индекса $F10.7$ в каждом цикле солнечной активности.

Наиболее заметно и продолжительно проявляют себя периоды в интервале от 1 до 3 лет. Значения этих периодов, в порядке их максимального проявления, составляют такую последовательность: 2.3 года, 1.8 года, 2.5 года, 1 год, 260 дней, 313 дней. На рис. 10 показана динамика изменения амплитуды этих периодов в сравнении с общим ходом изменения индекса $F10.7$. Каждый период имеет свои максимумы в различных циклах солнечной активности. В результате их взаимодействия обеспечивается ход изменения индекса $F10.7$ в различных циклах.

Использование вейвлет-анализа позволяет построить “спектры периодов” как наличие набора периодов на определенных фазах солнечного цикла. На рис. 11 продемонстрированы “спектры периодов”, которые проявляют себя в фазе минимума (1996 г.) и фазе спада (2003 г.) 23 цикла солнечной активности. В минимуме наиболее интенсивными являются долгопериодические процессы, в период спада отмечается существенный рост амплитуды короткопериодических процессов.

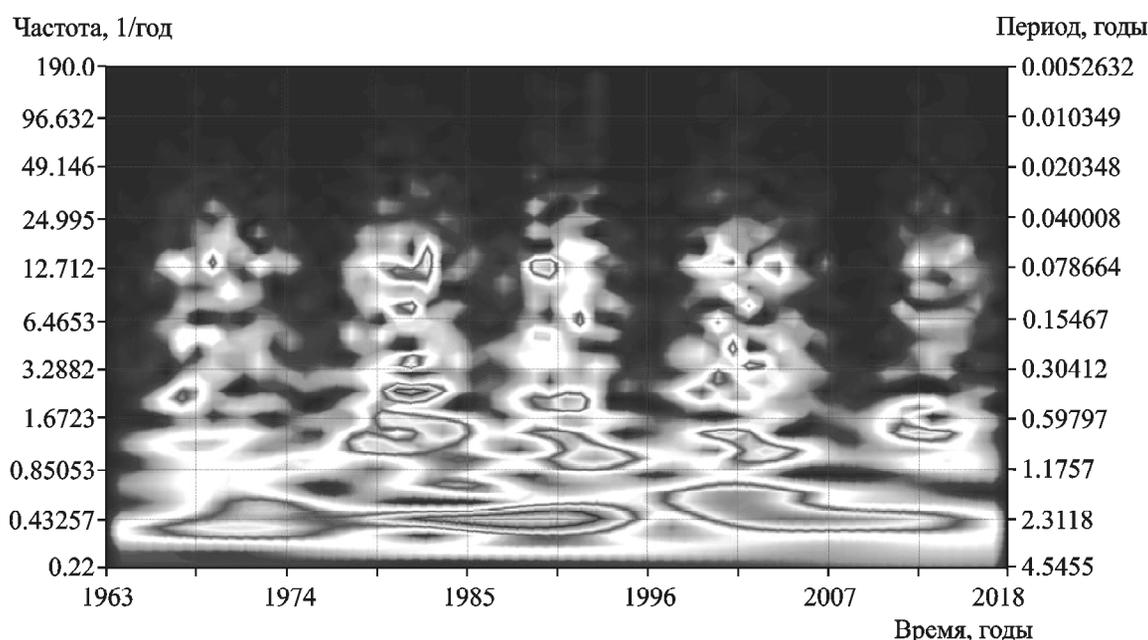


Рис. 9. Частотно-временной вейвлет-спектр распределения плотности энергии для индекса $F10.7$ в период 20–24 циклов солнечной активности с вычетом одного 11-летнего периода

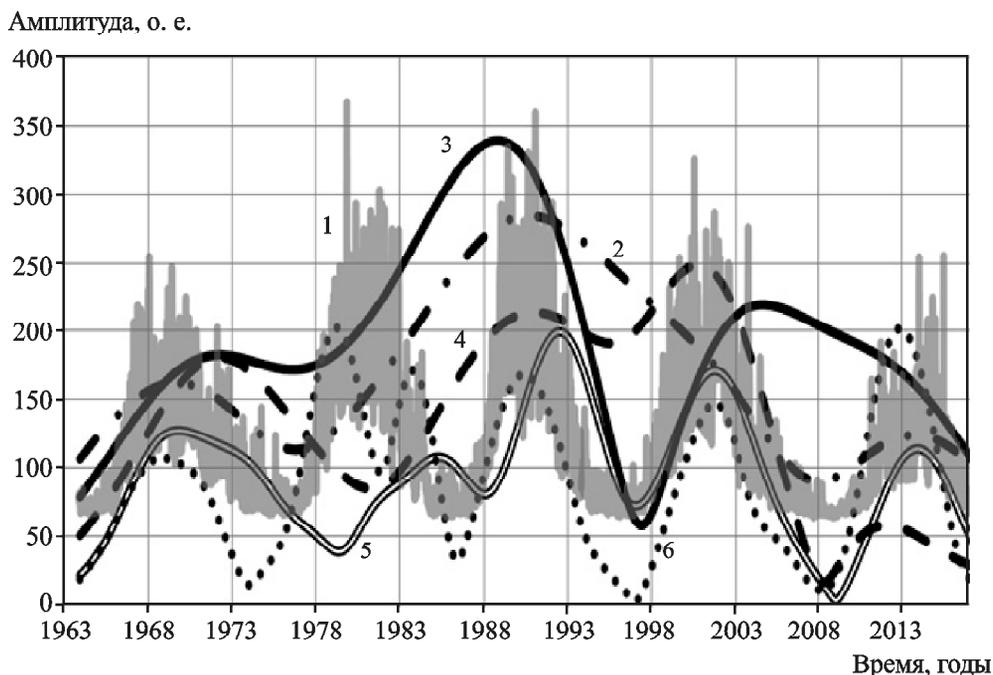


Рис. 10. Основные периоды индекса $F10.7$: кривая 1 – $F10.7$ (измеряется в солнечных единицах потока), кривая 2 – 2.7 года, кривая 3 – 2.3 года, кривая 4 – 1.8 года, кривая 5 – 1 год, кривая 6 – 262 дня

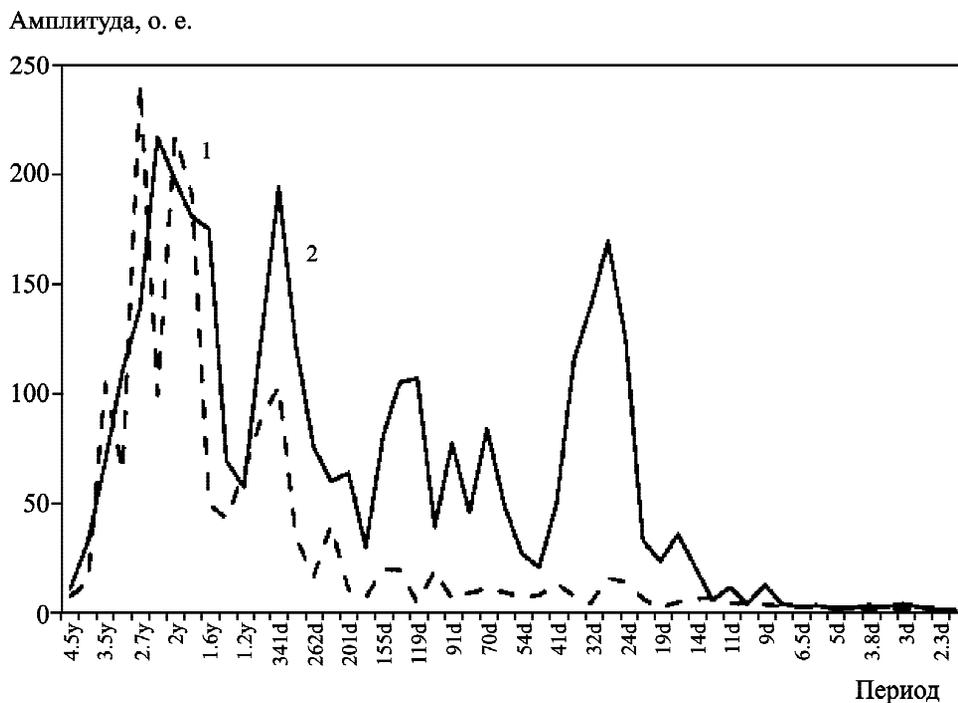


Рис. 11. Амплитуда периодов индекса $F10.7$ в разные циклы солнечной активности: кривая 1 – 1996 г. (минимум солнечной активности), кривая 2 – 2003 г. (фаза спада солнечной активности); у – годы, d – дни

Таким образом, была получена общая картина наиболее значимых периодов индекса $F10.7$ на протяжении 20–24 циклов солнечной

активности, которая формируется долгопериодическими и короткопериодическими процессами.

6. Основные периодические составляющие A_p -индекса

Аналогичная процедура была проведена для временной последовательности значений геомагнитного A_p -индекса. На первом этапе был построен частотно-временной спектр для исходного ряда данных (рис. 12). Затем методом фильтрации были выделены короткопериодические процессы на протяжении 23–24 циклов солнечной активности. В результате была получена картина основных периодов в исследуемом интервале времени. Наиболее значимые периоды: 4.4 года, 4 года, 3 года, 2 года, 1.6 года, 1 год. Каждый из этих периодов имеет свои максимумы в различных циклах солнечной активности. В результате их взаимодействия обеспечивается ход изменения A_p -индекса в различных циклах.

На рис. 13 изображены периоды A_p -индекса, характеризующие различные фазы солнечной активности. В минимуме солнечной активности наиболее ярко проявляются долгопериодические процессы. В максимуме солнечной активности отмечается существенный рост амплитуды короткопериодических процессов.

7. Заключение

1. Мониторинг потоков излучения космических радиоисточников, проводимый на радиотелескопе

“УРАН-4” позволяет “просвечивать” всю верхнюю атмосферу Земли и определять интегральный эффект воздействия на нее солнечной и геомагнитной активности.

2. Отмечается наличие долговременных изменений плотностей потоков внегалактических радиоисточников в декаметровом диапазоне в течение 23 цикла солнечной активности.

3. Регистрируются изменения плотностей потоков космических радиоисточников в периоды аномальных проявлений солнечной и геомагнитной активности, которые наблюдаются в течение 23 цикла солнечной активности.

4. Средствами вейвлет-анализа впервые получен комплекс данных:

- о наличии основных периодов для временной последовательности значений индексов, характеризующих космическую погоду;

- детали сведения о периодах в 20–24 циклах солнечной активности, характеризующих наиболее интенсивные фазы активности;

- “спектры периодов”, показывающие динамику изменения индексов космической погоды со временем.

5. Для индекса $F10.7$ в 20–24 циклах показано наличие преобладающих периодов: 3 года, 2.7 года, 2.4 года, 2 года, 262 дня, 28 дней.

6. Для A_p -индекса в 23 цикле отмечались преобладающие периоды: 4.4 года, 3.9 года, 3.4 года, 2.4 года, 360 дней, 30 дней.

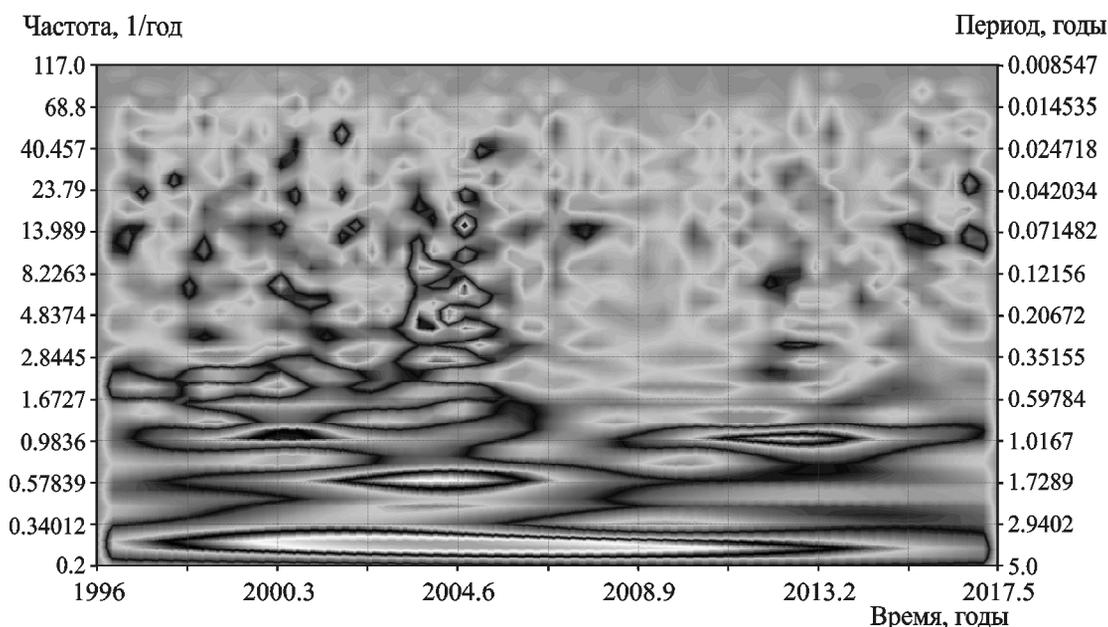


Рис. 12. Частотно-временной вейвлет-спектр распределения плотности энергии для A_p -индекса в период 20–24 циклов солнечной активности

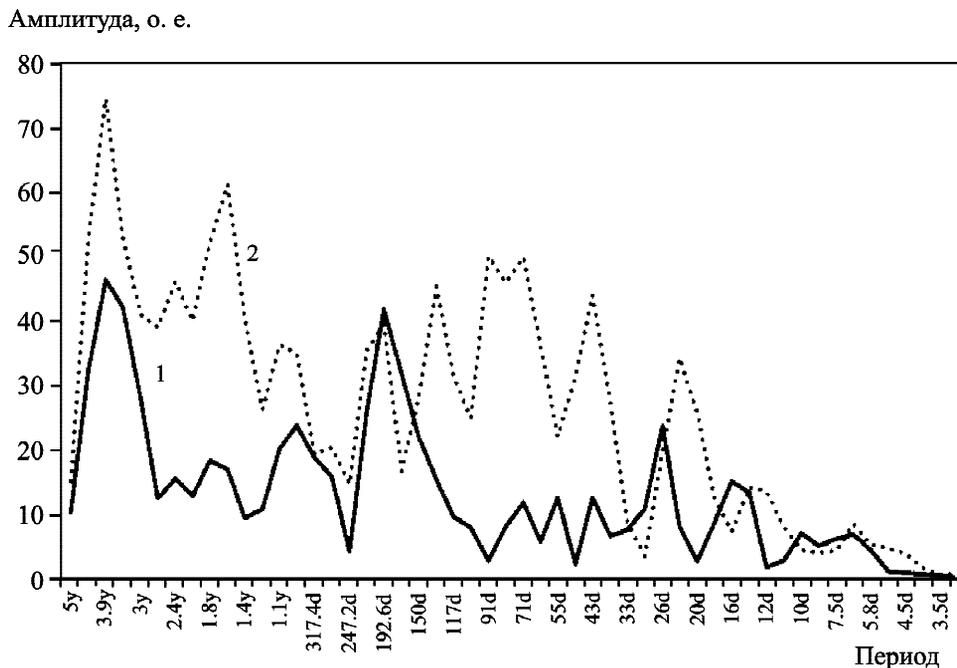


Рис. 13. Амплитуда периодов A_p -индекса, характеризующих различные фазы солнечной активности: кривая 1 – 1996 г. (минимум солнечной активности), кривая 2 – 2003 г. (фаза спада солнечной активности); y – годы, d – дни

Полученные результаты будут использованы для интерпретации данных наблюдений изменений потоков радиоисточников на радиотелескопе “УРАН-4” и диагностики состояния верхней атмосферы Земли как в течение долгопериодических изменений, так и при экстремальных проявлениях космической погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов М. И., Панишко С. К, Гугля Л. И, Эффекты воздействия состояния космической погоды на верхнюю атмосферу Земли по данным мониторинга потоков мощных радиоисточников на РТ “УРАН-4” РИ НАНУ // *Odessa Astronomical Publications*. – 2011. – Vol. 24. – С. 159–161.
2. Плазменная гелиогеофизика. В 2 т. / Под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 1. – 664 с., Т. 2. – 564 с.
3. Электромагнитные и плазменные процессы. От недр Солнца до недр Земли / Под ред. Ю. Я. Ружина, В. Д. Кузнецова. – М.: ИЗМИРАН, 2015. – 480 с.
4. Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей. – М.: Университетская книга, 2011. – 174 с.
5. Витинский Ю. И., Оль А. И., Сазонов Б. И. Солнце и атмосфера Земли. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 351 с.
6. Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н. Космос-Земля. Прогнозы. – М.: Мысль, 1974. – 288 с.
7. Смоленцев Н. К. Введение в теорию вейвлетов. – М.-Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2010. – 292 с.
8. Иванов-Холодный Г. С., Никольский Г. М. Солнце и ионосфера (коротковолновое излучение Солнца и его воздействие на ионосферу). – М.: Наука, 1969. – 480 с.

REFERENCES

1. RYABOV, M. I., PANISHKO, S. K. and GUGLYA, L. I., 2011. Space weather impacts on the Earth’s upper atmosphere according to the monitoring of powerful radio sources fluxes at the URAN-4 radio telescope (Institute of Radio Astronomy, NAS of Ukraine). *Odessa Astronomical Publications*. vol. 24, pp. 159–161 (in Russian).
2. ZELENY, L. M. and VESELOVSKY, I. S., eds. 2008. *Plasma Heliogeophysics. Vol. 1-2*. Moscow, Russia: Fizmatlit. Publ. (in Russian).
3. RUZHIN, YU. YA. and KUZNETSOV, V. D., eds. 2015. *Electromagnetic and plasma processes from the Sun to the Core of the Earth*. Moscow, Russia: IZMIRAN Publ. (in Russian).
4. MIROSHNICHENKO, L. I., 2011. *Physics of the Sun and solar-terrestrial relations*. Moscow, Russia: Universitetskaya Kniga Publ. (in Russian).
5. VITINSKY, YU. I., OL’, A. I. and SAZONOV, B. I., 1975. *The Sun and the Earth’s Atmosphere*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat Publ. (in Russian).
6. DRUZHININ, I. P., SAZONOV B. I. and YAGODINSKIY, V. N., 1974. *Space-Earth. Forecasts*. Moscow, Russia: Mysl’ Publ. (in Russian).
7. SMOLENTSEV, N. K., 2005. *Introduction to the theory of wavelets*. Moscow-Izhevsk, Russia: NITS “Regulyarnaya i Khaoticheskaya Dinamika” Publ. (in Russian).
8. IVANOV-KHOLODNYI, G. S. and NIKOLSKY, G. M., 1969. *The Sun and Ionosphere (short wave solar radia-*

tion and its effect on the ionosphere). Moscow, Russia: Nauka publ. (in Russian).

L. I. Sobitniak, M. I. Ryabov, A. L. Sukharev,
and S. K. Panishko

Observatory "URAN-4", Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
37, Pushkinska St., Odesa, 65011, Ukraine

STRUCTURE OF VARIABILITY INDEXES
OF COSMIC WEATHER AS APPLIED TO DATA
MONITORING OF FLUXES OF RADIO SOURCES
AT THE "URAN-4" RADIO TELESCOPE

Purpose: Investigation of the effects of the influence of solar and geomagnetic activity on the state of the Earth's upper atmosphere by the method of "transmission through" it with the radiation of cosmic radio sources.

Design/Methodology/approach: Monitoring of the fluxes of powerful galactic and extragalactic radio sources is carried out at the URAN-4 radio telescope of the Odesa Observatory of the Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine from 1987 till now (22–24 cycles of solar activity).

Findings: As a result of observations, there are significant variations in the fluxes of long-term and short-term radio sources. These changes are caused by the phenomena and processes associated with manifestation of the solar and geomagnetic activity. Thus, by examining the data obtained as a result of monitoring the radio fluxes, the degree and nature of the integral influence of space weather on the upper atmosphere of the Earth during the solar cycle and in certain episodes of extreme manifestations can be determined. Among the studied factors of cosmic weather which exert influence on the Earth upper atmosphere, the index of the radio emission of the Sun at the wavelength of 10 cm – F10.7 (as an indicator of ultraviolet radiation from the Sun) and the index of planetary geomagnetic activity – A_p -index was considered as an indicator of the effects of corpuscular fluxes.

Conclusions: Monitoring of the fluxes of space radio sources made at the "URAN-4" radio telescope makes it possible to "transmit through" the entire upper atmosphere of the Earth and determines the integral effect of the solar and geomagnetic activity influence on it. Such results can not be achieved with the terrestrial radio-physics and radar methods. By means of wavelet analysis, the information on the existence of the main periods characterizing the space weather and the time of their existence was obtained. This makes it possible to relate the observed effects in changes of the fluxes of radio sources with the main sources of influence on the state of the Earth's upper atmosphere.

Key words: upper atmosphere, solar activity, geomagnetic activity, space weather

Л. І. Собітняк, М. І. Рябов, А. Л. Сухарев, С. К. Панішко
Обсерваторія "УРАН-4",
Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Пушкінська, 37, м. Одеса, 65011, Україна

СТРУКТУРА МІНЛИВОСТІ ІНДЕКСІВ КОСМІЧНОЇ
ПОГОДИ СТОСОВНО ДАНИХ МОНІТОРИНГУ
ПОТОКІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОДЖЕРЕЛ
НА РАДІОТЕЛЕСКОПІ "УРАН-4"

Предмет і мета роботи: Дослідження ефектів впливу сонячної і геомагнітної активності на стан верхньої атмосфери Землі методом "просвічування" її випромінюванням космічних радіоджерел.

Методи і методологія: Моніторинг потоків потужних галактичних і позагалактичних радіоджерел виконується на радіотелескопі "УРАН-4" Одеської обсерваторії Радіоастрономічного інституту НАН України з 1987 р. і до тепер (22–24 цикли сонячної активності).

Результати: В результаті спостережень відзначаються істотні варіації потоків випромінювання радіоджерел довготривалого і короткочасного характеру. Ці зміни викликані явищами і процесами, пов'язаними з проявом сонячної і геомагнітної активності. Таким чином, досліджуючи дані, отримані в результаті моніторингу потоків радіоджерел, можна визначити ступінь і характер інтегрального впливу космічної погоди на верхню атмосферу Землі протягом сонячного циклу і в окремі епізоди її екстремальних проявів. У числі досліджуваних факторів космічної погоди, що впливають на верхню атмосферу Землі, розглядалися індекс потоку радіовипромінювання Сонця на хвилі 10 см – F10.7 (як індикатор ультрафіолетового випромінювання Сонця) та індекс планетарної геомагнітної активності – A_p -індекс (як індикатор впливу корпускулярних потоків).

Висновок: Моніторинг потоків космічних радіоджерел, що виконується на радіотелескопі "УРАН-4", дозволяє "просвічувати" усю верхню атмосферу Землі та визначає інтегральний ефект впливу на неї сонячної й геомагнітної активності. Подібні результати не можуть бути отримані за допомогою наземних радіофізичних і радіолокаційних методів. Засобами вейвлет-аналізу отримано відомості про наявність основних періодів, що характеризують космічну погоду, та про час їх існування. Це дозволяє пов'язати спостережувані ефекти в змінах потоків радіоджерел з основними джерелами впливу на стан верхньої атмосфери Землі.

Ключові слова: верхня атмосфера, сонячна активність, геомагнітна активність, космічна погода

Статья поступила в редакцию 30.10.2017