

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra22.04.304>

УДК 537.874.4; 550.388.2 О. А. ЛИТВИНЕНКО, С. К. ПАНИШКО

PACS numbers: 94.20.dm, 94.20.Vv, 94.20.ws
Обсерватория “УРАН-4”, Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Пушкинская, 4, г. Одесса, 65011, Украина
E-mail: uran4@te.net.ua

ВАРИАЦИИ ИНДЕКСА ИОНОСФЕРНЫХ МЕРЦАНИЙ НА КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛАХ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МОЩНЫХ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

Предмет и цель работы: Анализируются вариации индекса ионосферных мерцаний мощных космических радиоисточников (3С144, 3С274, 3С405 и 3С461) на временных интервалах от года до суток по наблюдениям на радиотелескопе УРАН-4 в декаметровом диапазоне радиоволн.

Методы и методология: Для анализа данных ионосферных мерцаний применялись статистические методы.

Результаты: Получены оценки индекса ионосферных мерцаний космических радиоисточников за период 1998–2007 гг. Среднегодовые значения, в значительной степени, коррелируют с индексами солнечной активности (число солнечных пятен и поток на длине волны 10.7 см). Для среднемесячных значений характерна хорошо выраженная сезонно-суточная зависимость. Среднесуточные значения показывают значительную изменчивость, в частности, связанную с геомагнитной активностью.

Заключение: Поведение индекса ионосферных мерцаний космических радиоисточников показывает различный характер на разных временных интервалах.

Ключевые слова: дискретные радиоисточники, ионосферные мерцания, индекс мерцаний, сезонно-суточная зависимость

1. Введение

Наблюдения мощных космических радиоисточников (3С144, 3С274, 3С405, 3С461) проводились на радиотелескопе УРАН-4 с 1998 по 2007 г. на частотах 20 и 25 МГц и для двух поляризаций (А и Б). Результаты измерений на радиотелескопе автоматически регистрировались в памяти компьютера. Мониторинговая программа наблюдений четырех мощных радиоисточников позволила накопить обширный объем данных. Как показывают наблюдения, записи прохождения радиоисточников через диаграмму направленности антенны радиотелескопа содержат флуктуации интенсивности, обусловленные мерцаниями на неоднородностях ионосферной плазмы. По этим записям были вычислены параметры ионосферных мерцаний, такие как индекс и характерный период мерцаний, показатель наклона спектра флуктуаций интенсивности. Данные для двух поляризаций анализируются как один числовой ряд. Более подробно методика обработки приведена в работе [1].

Как показали предыдущие исследования [2, 3], поведение параметров ионосферных мерцаний,

усредненных по разным временным интервалам, носит различный характер. Среднегодовые значения содержат низкочастотный тренд, скорее всего, связанный с циклом солнечной активности. Среднемесячные значения подвержены сезонно-суточной зависимости. Поведение среднесуточных значений имеет довольно изменчивый характер. Целью работы является изучение вариаций среднесуточных значений индекса ионосферных мерцаний и сравнение их с вариациями уровня геомагнитной активности.

2. Среднегодовая и сезонно-суточная зависимости индекса ионосферных мерцаний

Рассматриваемый период наблюдений практически совпадает по времени с 23-м циклом солнечной активности. Он начался в мае 1997 г., закончился в мае 2008 г., отличался двухпиковой структурой в максимуме и средним уровнем солнечной активности с числами Вольфа от 80 до 130 [4]. На рис. 1 представлены графики среднегодовых значений индекса ионосферных мерцаний S_i радиоисточников 3С144, 3С274, 3С405, 3С461 на частотах 25 и 20 МГц, полученных в период 1998–2007 гг., в сравнении с графиками индекса геомагнитной

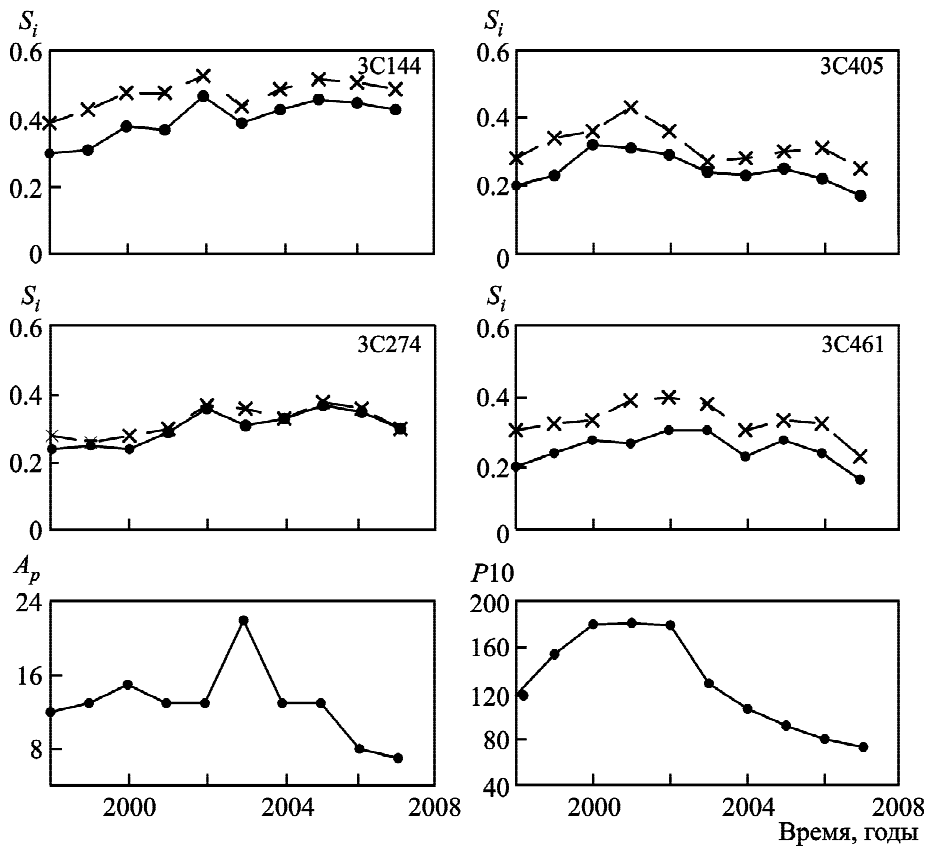


Рис. 1. Среднегодовые значения индекса ионосферных мерцаний S_i четырех радиосточников, геомагнитного индекса A_p и плотности потока радиоизлучения Солнца $P10$ на волне 10.7 см. Здесь и далее точками обозначены значения индекса мерцаний на частоте 25 МГц, а крестиками – на частоте 20 МГц

активности A_p и плотности потока радиоизлучения Солнца на волне 10.7 см $P10$.

Как видно из рисунка, двухпиковая структура наблюдается и в поведении индекса ионосферных мерцаний всех радиосточников на двух частотах, однако по времени она не совпадает с пиками индексов солнечной и геомагнитной активности.

На рис. 2 приведены усредненные за месяц значения индекса ионосферных мерцаний для всего периода наблюдений. Верхняя горизонтальная шкала показывает время кульминации радиосточника в середине месяца. Приведенные графики представляют собой сезонно-суточные зависимости. Можно отметить, что эти зависимости различаются для разных радиосточников. Это можно связать с тем, что для одного и того же сезона года время кульминации источников различно, и, следовательно, приведенные зависимости содержат суточные эффекты. Как видно из рисунка, возрастание уровня мерцаний на-

людается и в ночное, и в дневное время суток. В сезонной составляющей существуют два максимума разной интенсивности: летний и осенне-зимний. Более подробно сезонно-суточная зависимость проанализирована в работе [2], а здесь приведена для сравнения.

3. Среднесуточные вариации индекса ионосферных мерцаний

При рассмотрении среднесуточных значений параметров ионосферных мерцаний возникает сложность, связанная с тем, что по разным причинам (помехи, технические неполадки) невозможно обеспечить непрерывный ряд данных. Поэтому для анализа из базы данных были отобраны четыре временных интервала длительностью от 13 до 28 сут, которые содержат записи индекса мерцаний практически без пропусков для всех радиосточников на частотах 25 и 20 МГц. В каждом интервале значение индекса мерцаний может меняться существенным образом.

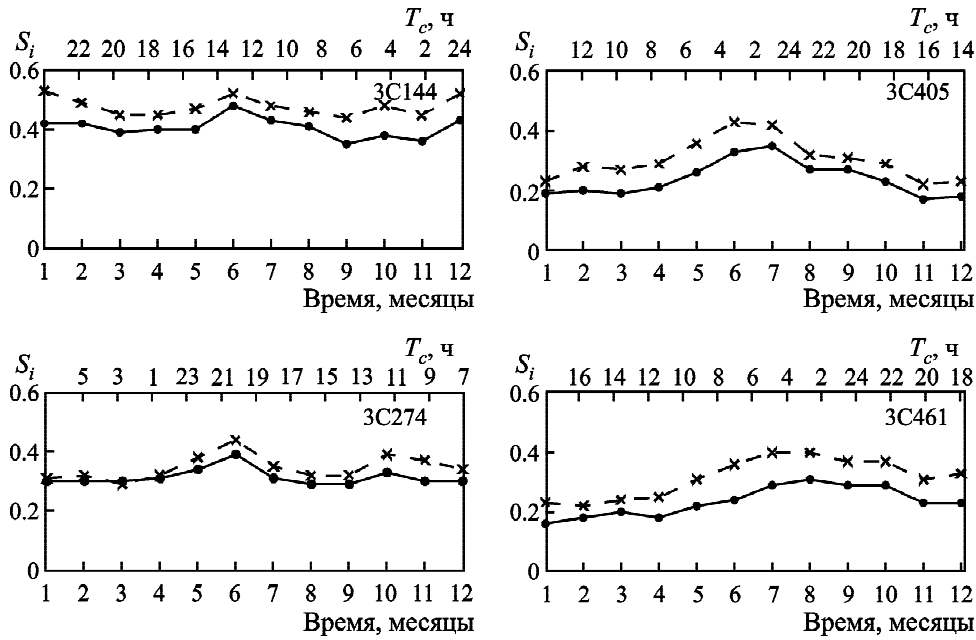


Рис. 2. Сезонно-суточные зависимости индекса ионосферных мерцаний четырех радиостанций на частотах 25 и 20 МГц. На верхних горизонтальных шкалах указаны времена кульминации T_c радиостанций

В табл. 1 для четырех временных интервалов приведены средние значения индекса ионосферных мерцаний S_i радиостанций 3C144, 3C274, 3C405, 3C461 на двух частотах и индекса геомагнитной активности A_p . Первый интервал (20.10.2003–13.11.2003) отличается наибольшей геомагнитной активностью с большим разбросом. Наименьший индекс A_p наблюдался в третьем интервале (11.02.2006–08.03.2006). Оставшиеся интервалы (26.10.2005–14.11.2005 и 03.03.2007–14.03.2007) характеризуются приблизительно одинаковым уровнем геомагнитной активности.

Графики индекса ионосферных мерцаний, построенные для первого и второго интервалов, приведены на рис. 3, а и б, а для третьего и четвертого интервалов – на рис. 4, а и б. На нижней панели каждого рисунка для сравнения приведен график изменения индекса геомагнитной активности A_p . Из рис. 3 и рис. 4 видно, что в 2003 и 2005 гг. для радиостанции 3C405, а также в 2006 и 2007 гг. для 3C274 характерны довольно низкие значения индекса мерцаний. Это связано, скорее всего, с тем, что выбранные для анализа временные интервалы соответ-

Таблица 1. Средние значения индекса ионосферных мерцаний радиостанций S_i и геомагнитного индекса A_p в четырех временных интервалах

Источник	Частота, МГц	20.10.2003–13.11.2003	26.10.2005–14.11.2005	11.02.2006–08.03.2006	03.03.2007–14.03.2007
3C144	20	0.42 ± 0.10	0.54 ± 0.11	0.52 ± 0.11	0.49 ± 0.10
	25	0.36 ± 0.07	0.45 ± 0.08	0.49 ± 0.09	0.39 ± 0.06
3C274	20	0.31 ± 0.11	0.45 ± 0.08	0.34 ± 0.08	0.32 ± 0.10
	25	0.26 ± 0.06	0.42 ± 0.16	0.39 ± 0.06	0.31 ± 0.07
3C405	20	0.19 ± 0.05	0.24 ± 0.07	0.26 ± 0.09	0.29 ± 0.12
	25	0.12 ± 0.03	0.17 ± 0.05	0.18 ± 0.07	0.20 ± 0.11
3C461	20	0.34 ± 0.18	0.35 ± 0.16	0.26 ± 0.11	0.23 ± 0.11
	25	0.26 ± 0.14	0.27 ± 0.11	0.19 ± 0.08	0.22 ± 0.08
A_p -индекс		42.76 ± 52.13	9.70 ± 6.03	6.50 ± 5.04	9.75 ± 7.11

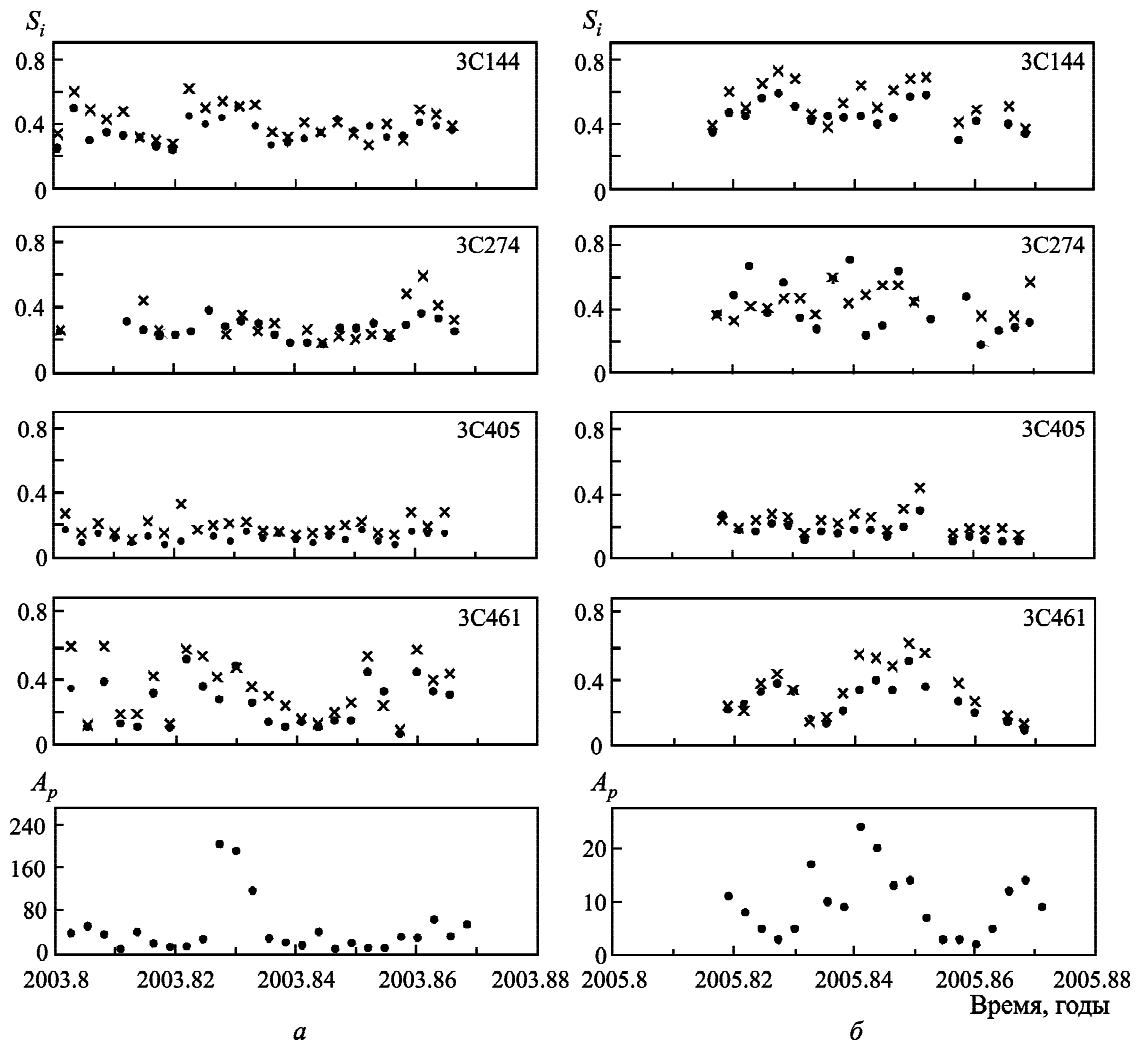


Рис. 3. Среднесуточные значения индекса ионосферных мерцаний для радиосточников 3C144, 3C274, 3C405, 3C461 на частотах 25 и 20 МГц и геомагнитного индекса A_p в двух выбранных временных интервалах: а – 20.10.2003–13.11.2003; б – 26.10.2005–14.11.2005

ствуют периодам низкой активности ионосферных мерцаний этих радиосточников (рис. 2).

Можно видеть, что в выбранных интервалах вариации индекса ионосферных мерцаний всех радиосточников на обеих частотах следуют поведению индекса геомагнитной активности, иногда даже детально. Пробелы в данных, полученных для индекса мерцаний, не позволили выбрать большее количество интервалов для непосредственного сравнения вариаций индекса мерцаний с вариациями индекса геомагнитной активности. В дальнейшем потребуются разработка методики сравнения, допускающей использование данных с пробелами, чтобы увеличить достоверность полученных результатов.

4. Выводы

По наблюдениям четырех мощных радиосточников в декаметровом диапазоне получен индекс ионосферных мерцаний. Проведено сравнение средних значений этой величины для временных интервалов от суток до года. Показано, что годовые изменения индекса мерцаний связаны с ходом цикла солнечной активности. Среднемесячные значения имеют выраженный сезонно-суточный характер. Для отдельных реализаций на временных интервалах в пределах месяца сравнение среднесуточных значений индекса мерцаний с индексом A_p геомагнитной активности демонстрирует взаимосвязь этих величин. В общем, среднесуточные значения индекса мерцаний по-

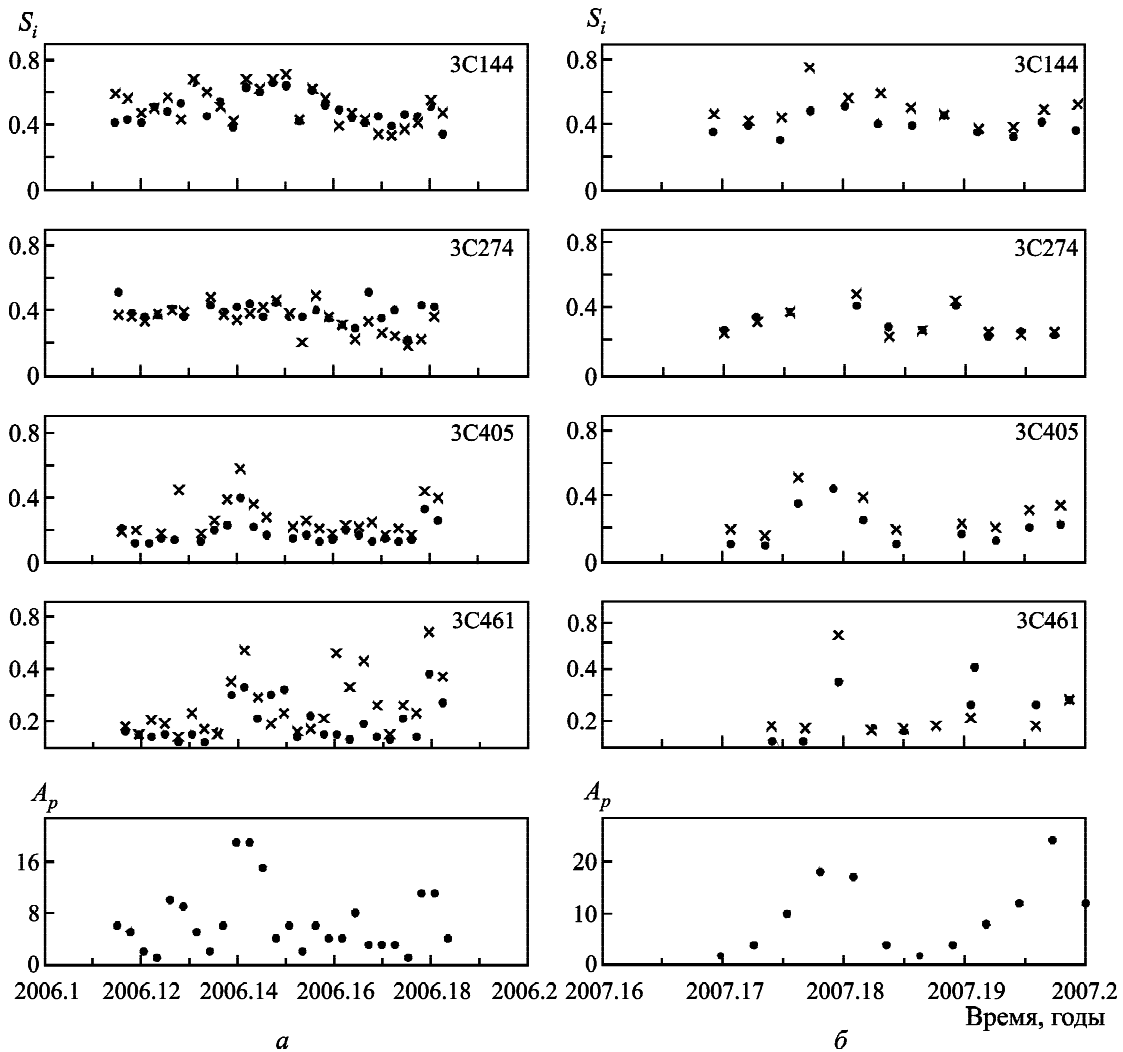


Рис. 4. Среднесуточные значения индекса ионосферных мерцаний радиоисточников 3C144, 3C274, 3C405, 3C461 на частотах 25 и 20 МГц и геомагнитного индекса A_p в двух выбранных временных интервалах: а – 11.02. 2006–08.03.2006; б – 03.03. 2007–14.03.2007

казывают значительную изменчивость. В дальнейшем, для определения надежности полученных взаимосвязей на временных интервалах до месяца, предполагается расширить количество анализируемых реализаций, допускающее выполнение статистических оценок.

Неоднородная структура ионосферы Земли, вызывающая флуктуации интенсивности потоков радиоисточников, может зависеть от различных факторов: солнечной и геомагнитной активности, состояния нижней атмосферы, различных искусственных и природных событий. Сравнение поведения индекса ионосферных мерцаний на временных интервалах от суток до года показывает, что солнечная, а следовательно, и геомагнитная ак-

тивность могут оказывать значительное влияние на уровень мерцаний космических источников на неоднородностях ионосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Derevyagin V. G., Isaeva E. A., Kravetz R. O., Litvinenko O. A., and Panishko S. K. Observations of power cosmic radio sources on the radio telescope URAN-4 during 1998-2004 // *Astron. Astrophys. Trans.* – 2005. – Vol. 24, Is. 5. – P. 421–424. DOI: 10.1080/10556790600631652
2. Панишко С. К., Литвиненко О. А. Сравнение параметров ионосферных мерцаний мощных радиоисточников в дециметровом диапазоне с индексами солнечной и геомагнитной активности // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2008. – Т. 13, № 3. – С. S130–S133.
3. Lytvynenko O. A. and Panishko S. K. Seasonal variations of the ionosphere scintillations parameters obtained from

the long observations of the power cosmic radio sources at the decameter wave range // *Odessa Astronomical Publications*. – 2015. – Vol. 28, Is. 2. – P. 235–237.

4. Одеський астрономічний календарь: 2009 / Под ред. В. Г. Каретникова. – Одесса: Астропринт, 2008. – Вып. 10. – С. 158–163.

REFERENCES

1. DEREVYAGIN, V. G., ISAEVA, E. A., KRAVETZ, R. O., LITVINENKO, O. A. and PANISHKO, S. K., 2005. Observations of power cosmic radio sources on the radio telescope URAN-4 during 1998-2004. *Astron. Astrophys. Trans.* vol. 91, is. 5, pp. 421–424. DOI: 10.1080/10556790600631652
2. PANISHKO, S. K. and LYTVYENKO, O. A., 2008. Comparison of Ionosphere Scintillation Parameters of Powerful Radio Sources at Decameter Wavelengths with Indices of Solar and Geomagnetic Activity. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 13, no. 3, pp. S130–S133, (in Russian).
3. LYTVYENKO, O. A. and PANISHKO, S. K., 2015. Seasonal variations of the ionosphere scintillations parameters obtained from the long observations of the power cosmic radio sources at the decameter wave range. *Odessa Astronomical Publications*. vol. 28, is. 2, pp. 235–237.
4. KARETNIKOV, V. G., ed. 2008. *Odessa Astronomical Calendar: 2009*. Odessa, Ukraine: Astroprint Publ., 2008. vol. 10, pp. 158–163, (in Russian).

O. A. Lytvynenko and S. K. Panishko

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

VARIATIONS OF IONOSPHERIC SCINTILLATION INDEX FOR THE SHORT-TIME INTERVALS OBSERVED ON THE POWER COSMIC RADIO SOURCES AT THE DECAMETER WAVELENGTHS

Purpose: Variations of ionospheric scintillation index of the power cosmic radio sources (3C144, 3C274, 3C405, and 3C461) observed for the year-to-day time intervals with the radio telescope at the decameter wavelengths are analyzed.

Design/methodology/approach: The statistical methods were used for the ionospheric scintillation data analysis.

Findings: The ionospheric scintillation index had been estimated during 1998–2007. Annual average values correlated very largely with the solar activity indices (sunspot numbers and flux at the wavelength of 10.7 cm). Daily-seasonal dependence is characteristic of monthly mean values. Daily mean values show significant variability, in particular, related to geomagnetic activity.

Conclusions: Behavior of the ionospheric scintillation index of the power cosmic radio sources shows different character for different time intervals.

Key words: discrete radio sources, ionospheric scintillations, scintillation index, daily-seasonal dependence

O. O. Литвиненко, С. К. Панішко

Обсерваторія “УРАН-4”, Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Пушкінська, 37, м. Одеса, 65011, Україна

ВАРІАЦІЇ ІНДЕКСА ІОНОСФЕРНИХ МЕРЕХТІНЬ НА КОРОТКИХ ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛАХ ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ ПОТУЖНИХ КОСМІЧНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ В ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ РАДІОХВИЛЬ

Предмет та мета роботи: Аналізуються варіації індекса іоносферних мерехтіння потужних космічних радіоджерел (3C144, 3C274, 3C405 та 3C461) на часових інтервалах від року до доби за спостереженнями на радіотелескопі УРАН-4 в декаметровому діапазоні радіохвиль.

Методи і методологія: Для аналізу даних іоносферних мерехтіння використовувались статистичні методи.

Результати: Отримано оцінки індекса іоносферних мерехтіння космічних радіоджерел за період 1998–2007 рр. Середньорічні значення великою мірою корелюють з індексами сонячної активності (число сонячних плям і потік на хвилі довжиною 10.7 см). Для середньомісячних значень характерною є добре помітна сезонно-добова залежність. Середньодобові значення показують значну змінність, зокрема, пов'язану з геомагнітною активністю.

Висновок: Поведінка індекса іоносферних мерехтіння космічних радіоджерел показує різний характер на різних часових інтервалах.

Ключові слова: дискретні радіоджерела, іоносферні мерехтіння, індекс мерехтіння, сезонно-добова залежність

Статья поступила в редакцию 08.11.2017