

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 307 (2016), 5 – 10

UDC 550.383

STATISTICS OF NIGHTTIME ENHANCEMENTS OF THE ELECTRON DENSITY AT THE MAXIMUM OF THE F2-LAYER

A.F. Yakovets¹, G.I. Gordienko¹, B.T. Zhumabayev¹, Yu.G. Litvinov¹, N. Abdrakhmanov²

¹«Institute of Ionosphere» JSC «National Center of Space Research and Technology», Almaty;

²Korkyt ata's Kysylorda State University, Kysylorda

artyak40@mail.ru

Key words: ionosphere, vertical sounding, nighttime enhancement of the electron density

Abstract. On the basis of the vertical sounding of the ionosphere in Alma-Ata (76° 55'E, 43° 15'N) during 2000-2014, the analysis of the occurrence probability of the nighttime electron concentration enhancements in the maximum of the F2-layer (NmF2) was performed. A comparison of parameters of very large enhancements observed in Irkutsk and Alma-Ata simultaneously was conducted. During the period considered overall 2272 observation sessions were carried out, and in 1430 sessions enhancements of NmF2 were observed. There is a distinct seasonal dependence of the occurrence probability of enhancement appearance. The same features of the distributions for the high and low solar activity are the high occurrence probability near to 90% in January, February and November, December. In addition, a rapid decrease in the probability occurs from February to March, and a gradual increase from September to December. An evident maximum of the occurrence probability in the summer months takes place for high solar activity, while for the low activity the summer months are characterized by the minimum occurrence.

УДК 550.383

СТАТИСТИКА НОЧНЫХ УВЕЛИЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В МАКСИМУМЕ F2-СЛОЯ

А.Ф. Яковец¹, Г.И. Гордиенко¹, Б.Т. Жумабаев¹, Ю.Г. Литвинов¹, Н. Абдрахманов²

¹ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», Алматы;

²Кызылординский государственный университет им. Коркыт ата, Кызылорда

Ключевые слова: ионосфера, вертикальное зондирование, ночные увеличения электронной концентрации.

Аннотация. По данным учащенного пятиминутного вертикального зондирования ионосферы в Алматы, проведенного в 2000–2014 гг., выполнен анализ частоты возникновения ночных увеличений электронной концентрации в максимуме F2-слоя, получены распределения длительностей увеличения. За анализируемый период было проведено 2272 сеанса наблюдений, и в 1430 сеансах наблюдались увеличения NmF2. Одинаковыми чертами распределений для высокой и низкой солнечной активности

являются высокие вероятности формирования увеличений в январе, феврале и ноябре, декабре, достигающие 90%. Кроме того, одинаково происходит быстрое уменьшение вероятности от февраля к марту и плавное нарастание от сентября к декабрю. Для высокой солнечной активности характерен отчетливый максимум частоты в летние месяцы, тогда как при низкой активности им соответствует минимум частоты. Показана сезонная зависимость распределений длительности увеличений: длительности распределены в широком диапазоне значений в осенне-зимний сезон и узком диапазоне – в весенне-летний сезон.

Введение. Экспериментальные и теоретические исследования ночных увеличений электронной концентрации в максимуме $F2$ -слоя ионосферы ($NmF2$) проводятся в течение нескольких десятилетий. Морфология явления, включающая зависимости параметров увеличения $NmF2$ от сезона, фазы солнечного цикла, геомагнитной активности и географического расположения станций наблюдения, описана в работах [1-13]. В работах [2, 3, 14-17] рассматриваются механизмы формирования ночных увеличений, включающие направленный вверх дрейф плазмы, обусловленный меридиональным нейтральным ветром, на высоты с малыми коэффициентами рекомбинации и усиление направленного вниз потока плазмы из протоносферы из-за дополнительного нагрева плазмы протоносферы. В работе [2] говорится о различии механизмов формирования увеличений $NmF2$ в летний и зимний периоды, а также в разные фазы солнечной активности, поэтому исследование зависимости частоты формирования (вероятности событий) и других параметров увеличений от сезона и солнечной активности имеет большое значение для идентификации этих механизмов.

Целью настоящей работы явился статистический анализ параметров ночных увеличений $NmF2$, включающий анализ частоты возникновения увеличений и распределений длительностей фазы развития увеличения (длительности увеличения), по данным ст. Алматы ($76^{\circ}55' E$, $43^{\circ}15' N$) за 2000–2014 гг.

Методы и результаты исследования. Ночные наблюдения ионосферы проводились в Институте ионосферы (ст. Алматы) на цифровом ионозонде, сопряженном с компьютером, который предназначен для сбора, хранения и обработки ионограмм в цифровом виде. Информация считывалась с ионограмм полуавтоматическим методом. Регистрация ионограмм, осуществлялось в 5-минутном режиме. Угущенное зондирование ионосферы давало возможность четко фиксировать увеличения $NmF2$ с малой длительностью (T), что позволяло при построении распределений длительностей, учитывать и случаи, когда $T < 1$ ч. Статистический анализ ночных увеличений $NmF2$ по данным поведения критических частот был проведен за период 2000–2014 гг., который включал два максимума и длительный минимум солнечной активности. За анализируемый период было проведено 2272 сеанса наблюдений, и в 1430 сеансах наблюдались увеличения $NmF2$. На рисунке 1 показаны основные характерные типы увеличений, встречавшиеся в записях.

В представленных на рис. 1 увеличениях две ночи характеризуются единственным увеличением (27-28 мая 2001 г. и 10-11 января 2013 г.), а две другие – двумя увеличениями (5-6 декабря 2007 г. и 7-8 марта 2012 г.). Стрелками отмечены моменты начала увеличений и их максимумов. Расстояние между стрелками определяет длительность фазы развития увеличения $NmF2$.

Весь массив данных (2000–2014 гг.) был разбит на два подмассива. Первый (2000–2003 гг. и 2011–2014 гг.) соответствовал высокой солнечной активности, когда среднегодовое значение числа Вольфа превышало 50 ($W > 50$). Второй (2004–2010 гг.) соответствовал низкой солнечной активности, когда среднегодовое значение числа Вольфа было меньше 50 ($W < 50$). Статистика параметров увеличений была представлена как для отдельных месяцев, так и сезонов: зимы (декабрь, январь, февраль), весны (март, апрель, май), лета (июнь, июль, август) и осени (сентябрь, октябрь, ноябрь). На рисунке 2 показаны распределения по месяцам частоты.

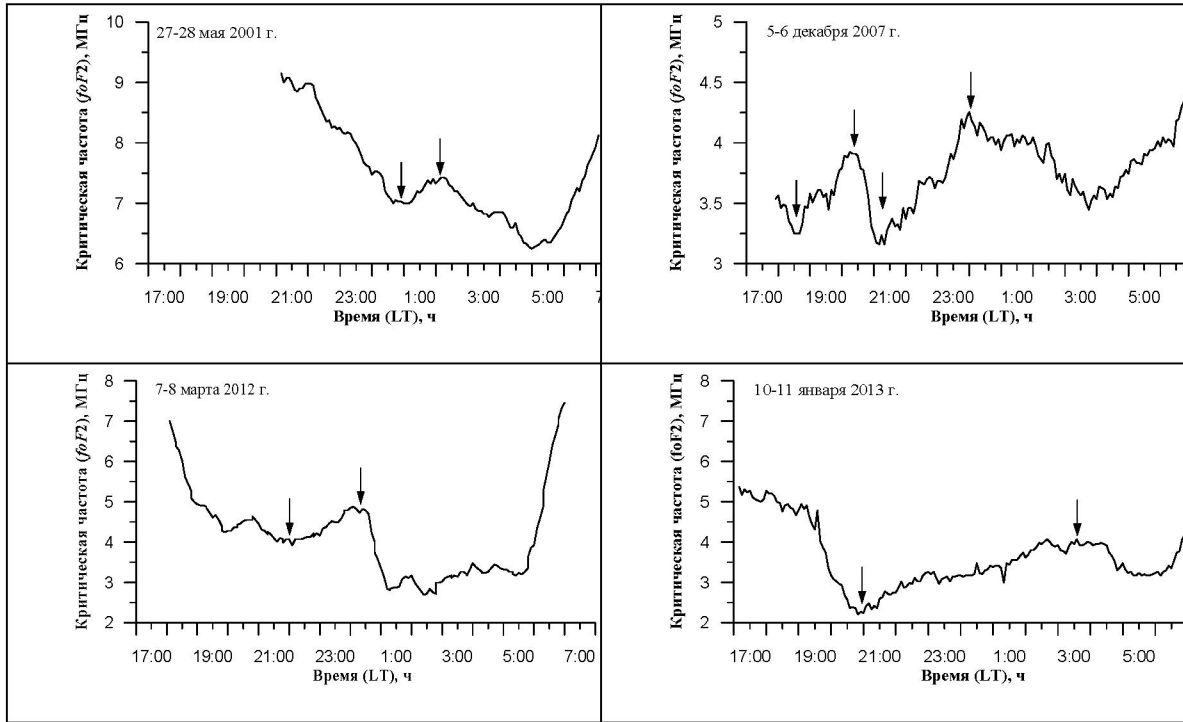


Рисунок 1 - Основные характерные типы увеличений, встречающиеся в записях f_oF_2 .

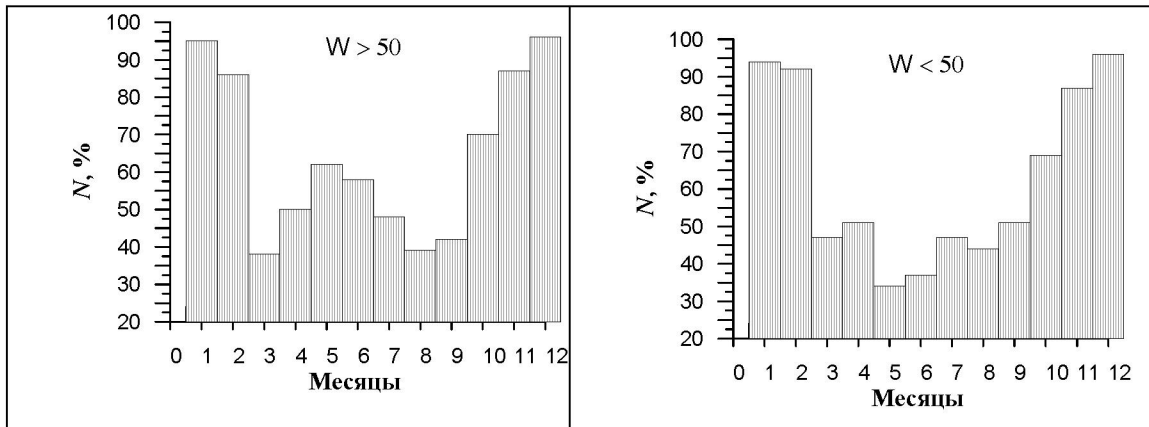


Рисунок 2 – Распределения по месяцам частоты возникновения увеличений, выраженной в процентах, для $W > 50$ и $W < 50$.

возникновения увеличений, выраженные в процентах для $W > 50$ и $W < 50$. Существует хорошо выраженная сезонная зависимость частоты возникновения увеличений. Одинаковыми чертами распределений для $W > 50$ и $W < 50$ являются высокие вероятности событий, достигающие 90%, в январе, феврале и ноябре, декабре. Кроме того, одинаково происходит быстрое уменьшение вероятности от февраля к марту и плавное нарастание от сентября к декабрю. При высокой солнечной активности образуется отчетливый максимум в летние месяцы, тогда как при низкой активности им соответствует минимум частоты. Полученные распределения во многом близки к распределениям, полученным в работе [2] для Алматы по данным за 19–22 циклы солнечной активности. В частности, для этих циклов активности вероятность событий была также максимальна в зимние месяцы, а летний максимум был характерен для предполуночных увеличений при высокой солнечной активности. Это говорит о хорошей повторяемости от цикла к циклу зависимости частоты увеличений от сезона и фазы солнечной активности.

На рисунке 3 показаны распределения длительности увеличений, построенные для разных сезонов и уровней солнечной активности. Видно, что независимо от уровня активности

распределения имеют одинаковые черты. Зимой и осенью длительности распределены в широком диапазоне значений, при этом основная часть увеличений заключена в диапазоне 1–5 ч. Весной и летом основная часть увеличений заключена в диапазоне 1-2 ч.

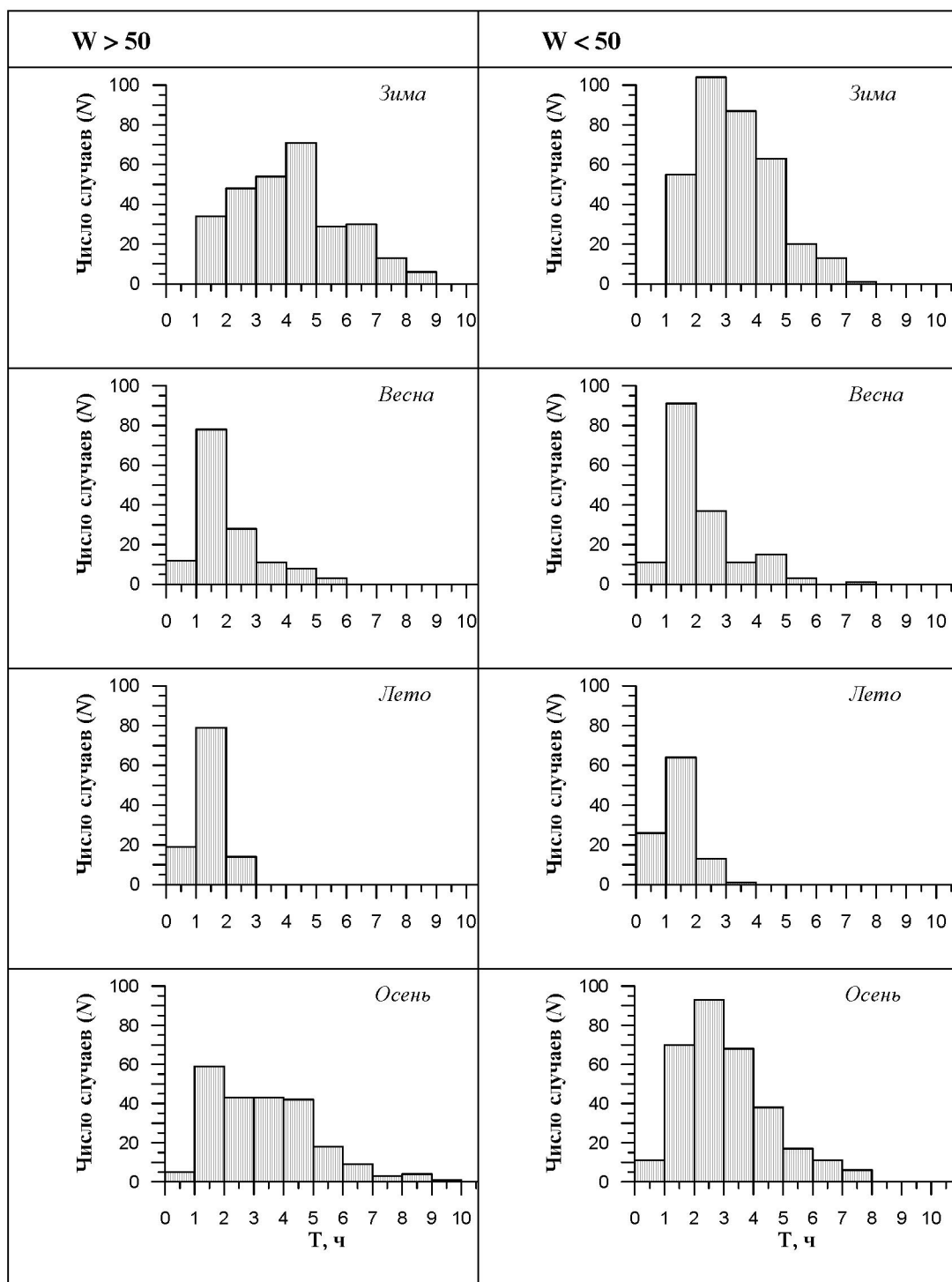


Рисунок 3 - Распределения длительности увеличений (T), построенные для разных сезонов и уровней солнечной активности ($W > 50$ и $W < 50$). По вертикальной оси отложено число увеличений (N)

Выводы. Анализ частоты возникновения ночных увеличений $NmF2$ и распределений длительностей увеличения по данным ст. Алма-Ата за 2000–2014 гг. показал следующее.

1. Существует хорошо выраженная сезонная зависимость частоты возникновения увеличений. Одинаковыми чертами распределений для высокой и низкой солнечной активности являются высокие вероятности формирования увеличений в январе, феврале и ноябре, декабре. Кроме того, одинаково происходит быстрое уменьшение вероятности от февраля к марту и ее плавное нарастание от сентября к декабрю. Для высокой солнечной активности характерен отчетливый максимум частоты в летние месяцы, тогда как при низкой активности лету соответствует минимум частоты.

2. Показано, что распределения длительности увеличений независимо от уровня солнечной активности имеют одинаковые черты. Зимой и осенью длительности распределены в широком диапазоне значений, при этом основная часть увеличений заключена в диапазоне 1–5 ч. Для весенне-летних месяцев (апрель–август) продолжительность основной части увеличений лежит в диапазоне 1–2 ч.

Работа выполнена по РБП-076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций» в рамках целевой программы «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (Шифр О.0674), подпрограмма 2. «Развитие методов исследования ближнего космоса с использованием информационных технологий»:

- тема «Изучить структуру и динамику потока космических лучей, геомагнитного поля, ионосферы и атмосферы с целью диагностики и прогноза состояния ближнего космоса», Регистрационный номер (РН) 0115РК01275.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Farello A.F., Herrais M., Mikhailov A.V. Global morphology of night-time NmF2 enhancements, *Ann. Geophysicae*, V. 20, 2002, P. 1795–1806.
- [2] Mikhailov A.V., Leschinskaya T.Yu., Fürster M. Morphology of NmF2 nighttime increases in the Eurasian sector, *Ann. Geophysicae*, V. 18, 2000, P. 618–628.
- [3] Mikhailov A.V., Forster M., Leschinskaya T.Y. On the mechanism of the post-midnight winter NmF2 enhancements: dependence on solar activity, *Ann. Geophysicae*, V. 18, 2000, P. 1422–1434.
- [4] Belehaki, A. and Tsagouri, I.: On the occurrence of storm-induced nighttime ionization enhancements at ionospheric middle latitudes, *J. Geophys. Res.*, 107, 1209, doi:10.1029/2001JA005029, 2002.
- [5] Buresova, D. and Lastovichka, J.: Pre-storm enhancements of *f*oF2 above Europe, *Adv. Space Res.*, 39, 1298–1303, 2007.
- [6] Buresova, D. and Lastovichka, J.: Pre-storm electron density enhancements at middle latitudes, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 70, 1848–1855, 2008.
- [7] Davies, K., Anderson, D. N., Paul, A. K., Degenhardt, W., Hartman, G. K., and Leitingner, R.: Nighttime increase in total electron content observed with the ATS 6 radio beacon, *J. Geophys. Res.*, 84, 1536–1542, 1979.
- [8] Kane, R. P.: Ionospheric *f*oF2 anomalies during some intense geomagnetic storms, *Ann. Geophys.*, 23, 2487–2499, 2005, <http://www.ann-geophys.net/23/2487/2005/>.
- [9] Liu, L., Wan, W., Zhang, M.-L., Zhao, B., and Ning, B.: Prestorm enhancements in NmF2 and total electron content at low latitudes, *J. Geophys. Res.*, 113, A02311, doi:10.1029/2007JA012832, 2008.
- [10] Mikhailov, A. V. and Schlegel, K.: Geomagnetic storm effects at F1-layer heights from incoherent scatter observations, *Ann. Geophys.*, 21, 583–596, 2003, <http://www.ann-geophys.net/21/583/2003/>.
- [11] Mikhailov, A. V., Depueva, A. H., and Leschinskaya, T. Yu.: Morphology of quiet time F2-layer disturbances: High and lower latitudes, *Int. J. Geomag. Aeronom.*, 1–14, GI1006, doi:10.1029/2003GI000058, 2004.
- [12] Mikhailov, A. V., Depuev, V. H., and Depueva, A. H.: Synchronous NmF2 and NmE daytime variations as a key to the mechanism of quiet-time F2-layer disturbances, *Ann. Geophys.*, 25, 483–493, 2007, <http://www.ann-geophys.net/25/483/2007/>.
- [13] PrEolss, G. W.: Electron temperature enhancement beneath the magnetospheric cusp, *J. Geophys. Res.*, 111, A07304, doi:10.1029/2006JA011618, 2006.
- [14] Bailey G.J., Sellek R., Balan N. The effect of interhemispheric coupling on nighttime enhancement in ionospheric total electron content during winter at solar minimum. *Ann. Geophysicae*, V. 9, 1991, P. 738–747.
- [15] Pavlov A.V., Pavlova N.M. Mechanism of the post-midnight winter night-time enhancement in the NmF2 over Millstone Hill during 14-17 January 1986. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, V. 67, N 4, P. 381–395, 2005.
- [16] Pavlov A.V., Pavlova N.M. Causes of the mid-latitude NmF2 winter anomaly at solar maximum, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, V. 67, 2005, P. 862–877.
- [17] Павлов А.В., Павлова Н.М., Макаренко С.Ф., Шубин В.Н. Аномальные вариации структуры области F2 ионосферы средних геомагнитных широт южного и северного полушарий при переходе от летних к зимним условиям при высокой солнечной активности, *Геомагнетизм и аэронавигация*, Т. 48, 2008, С. 79–92.

REFERENCES

- [1] Farello A.F., Herrais M., Mikhailov A.V. Global morphology of night-time NmF2 enhancements, *Ann. Geophysicae*, V. 20, 2002, P. 1795–1806.
- [2] Mikhailov A. V., Leschinskaya T. Yu., Firster M. Morphology of NmF2 nighttime increases in the Eurasian sector, *Ann. Geophysicae*, V. 18, 2000, P. 618–628.
- [3] Mikhailov A.V., Forster M., Leschinskaya T.Y. On the mechanism of the post-midnight winter NmF2 enhancements: dependence on solar activity, *Ann. Geophysicae*, V. 18, 2000, P. 1422–1434.
- [4] Belehaki, A. and Tsagouri, I.: On the occurrence of storm-induced nighttime ionization enhancements at ionospheric middle latitudes, *J. Geophys. Res.*, 107, 1209, doi:10.1029/2001JA005029, 2002.
- [5] Buresova, D. and Lastovichka, J.: Pre-storm enhancements of f_oF_2 above Europe, *Adv. Space Res.*, 39, 1298–1303, 2007.
- [6] Buresova, D. and Lastovichka, J.: Pre-storm electron density enhancements at middle latitudes, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 70, 1848–1855, 2008.
- [7] Davies, K., Anderson, D. N., Paul, A. K., Degenhardt, W., Hartman, G. K., and Leitinger, R.: Nighttime increase in total electron content observed with the ATS 6 radio beacon, *J. Geophys. Res.*, 84, 1536–1542, 1979.
- [8] Kane, R. P.: Ionospheric f_oF_2 anomalies during some intense geomagnetic storms, *Ann. Geophys.*, 23, 2487–2499, 2005, <http://www.ann-geophys.net/23/2487/2005/>.
- [9] Liu, L., Wan, W., Zhang, M.-L., Zhao, B., and Ning, B.: Prestorm enhancements in NmF2 and total electron content at low latitudes, *J. Geophys. Res.*, 113, A02311, doi:10.1029/2007JA012832, 2008.
- [10] Mikhailov, A. V. and Schlegel, K.: Geomagnetic storm effects at F1-layer heights from incoherent scatter observations, *Ann. Geophys.*, 21, 583–596, 2003, <http://www.ann-geophys.net/21/583/2003/>.
- [11] Mikhailov, A. V., Depueva, A. H., and Leschinskaya, T. Yu.: Morphology of quiet time F2-layer disturbances: High and lower latitudes, *Int. J. Geomag. Aeronom.*, 1–14, GI1006, doi:10.1029/2003GI000058, 2004.
- [12] Mikhailov, A. V., Depuev, V. H., and Depueva, A. H.: Synchronous NmF2 and NmE daytime variations as a key to the mechanism of quiet-time F2-layer disturbances, *Ann. Geophys.*, 25, 483–493, 2007, <http://www.ann-geophys.net/25/483/2007/>.
- [13] Prössl, G. W.: Electron temperature enhancement beneath the magnetospheric cusp, *J. Geophys. Res.*, 111, A07304, doi:10.1029/2006JA011618, 2006.
- [14] Bailey G.J., Sellek R., Balan N. The effect of interhemispheric coupling on nighttime enhancement in ionospheric total electron content during winter at solar minimum, *Ann. Geophysicae*, V. 9, 1991, P. 738–747.
- [15] Pavlov A.V., Pavlova N.M. Mechanism of the post-midnight winter night-time enhancement in the NmF2 over Millstone Hill during 14-17 January 1986, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, V. 67, N 4, P. 381–395, 2005.
- [16] Pavlov A.V., Pavlova N.M. Causes of the mid-latitude NmF2 winter anomaly at solar maximum, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, V. 67, 2005, P. 862–877.
- [17] Pavlov AV, Pavlova NM, Makarenko SF, Shubin V. Abnormal variations in the structure of the F2 region of the ionosphere medium geomagnetic latitudes of the southern and northern hemispheres during the transition from summer to winter conditions with high solar activity, *Geomagnetism and Aeronomy*, V, 48, 2008, P. 79–92.

F2-ҚАБАТ МАКСИМУМДАҒЫ ЭЛЕКТРОНДЫҚ КОНЦЕНТРАЦИЯНЫҢ ТҮНДЕГІ АРТУЫНЫҢ СТАТИСТИКАСЫ

А.Ф. Яковец¹, Г.И. Гордиенко¹, Б.Т. Жумабаев¹, Ю.Г. Литвинов¹, Н. Абдрахманов²

¹ ЕЖПИС «Ионосфера институты» «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ, Алматы;

² Қорқыт ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда.

Түйін сөздер: ионосфера, вертикалды барлау, электрондық концентрацияның түндегі артуы.

Аннотация. 2010–2014 ж. жүргізілген Алматы қаласындағы ионосфераны бес минуттық вертикалды барлауда жиі келіп түскен деректер бойынша F2-қабат максимумдағы электрондық концентрацияның түндегі артуы әсерінің жиілігіне талдау жасалынды, артудың ұзақтығының бөлінуі алынды. Талдау жасау кезеңінде 2272 бақылау сеансы жүргізілді және 1430 бақылау сеансында NmF2 артуы байқалды. Жоғары және төменгі күн белсенділігі үшін бөлінудің бірдей сипаттамалары қаңтар, ақпан және қараша, желтоқсанда артудың жоғары қалыптастыру ықтималдығы байқалды. Сондай-ақ қаңтардан наурызға дейін бірдей жедел азаю ықтималдығы, ал қыркүйектен желтоқсанға дейін бірқалыпты ұлғаю жүреді. Төменгі жиілікке сәйкес төменгі белсенділік кезінде жазғы уақытта Күн сәулесінің жоғары белсенділігі үшін айқын жиілік максимумы сипатталады. Артудың бөліну ұзақтығы күз бен қыста кең диапазондық және жаз көктем мен жаз мерзімінде жиішікке диапазонға ие екені бөліну ұзақтығының маусымға тәуелді екенін көрсетеді.

Поступила 17.06.2016 г.