

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**4 (302)**

**ШІЛДЕ – ТАМЫЗ 2015 ж.**

**ИЮЛЬ – АВГУСТ 2015 г.**

**JULY – AUGUST 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчекөв Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**N E W S**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 12 – 18

**MECHANISMS OF NIGHTTIME ENHANCEMENTS  
IN THE ELECTRON CONCENTRATION IN THE F2-LAYER MAXIMUM  
OF THE MIDLATITUDE IONOSPHERE**

**A. F. Yakovets, G. I. Gordienko, Yu. G. Litvinov**

Institute of the Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: artyak40@mail.ru

**Key words:** ionosphere, vertical sounding, midlatitude summer nighttime anomaly.

**Abstract.** The goal of this paper is to reveal signs in the behavior of the nighttime F2-layer, making it possible to identify the events of enhancements in  $N_mF2$  and LS TIDs according to the ionospheric vertical sounding data. The data obtained are interpreted on the basis of the occurrence of a self-supporting avalanche-like process, representing the mechanism of formation of electron concentration nighttime enhancements, which is based on the equatorward thermospheric wind, and therefore a raise of the F2-layer to heights characterized by substantially lower recombination rates, and on the increase in the downward plasma flux from the protonosphere. Comparison of the behavior of the F2-layer parameters caused by the mechanism considered, with their behavior during LS TIDs passages showed their similarity. During a passage of LS TIDs, the  $N_mF2$  peak value is formed later than the  $h_mF2$  peak value, as in the first mechanism. Phase relations between the variations of the electron concentration at the neighboring heights, showing the phase delay of variations at lower altitudes relative to the higher altitudes, also reveal the similarity in the F2-layer reactions to two considered mechanisms of nighttime enhancements. Possible methods of identification of mechanisms are discussed.

УДК 550.383

## МЕХАНИЗМЫ НОЧНЫХ УВЕЛИЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В F2-СЛОЕ НАД АЛМАТОЙ

А. Ф. Яковец, Г. И. Гордиенко, Ю. Г. Литвинов

ДТОО «Институт ионосферы» Акционерного общества  
«Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** вертикальное зондирование ионосферы, ночные увеличения электронной концентрации, перемещающиеся ионосферные возмущения

**Аннотация.** В работе рассмотрены признаки поведения ночного F2-слоя ионосферы, позволяющие идентифицировать увеличения электронной концентрации ( $N_mF2$ ) в его максимуме и крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (КМ ПИВ) по данным вертикального зондирования. Полученные данные проинтерпретированы в рамках лавинообразного процесса, представляющего механизм образования ночных увеличений электронной концентрации, основанный на экваториальном термосферном ветре, который поднимает F2-слой на большие высоты, характеризующиеся низкими рекомбинационными потерями, и потоком плазмы из протоносферы. Сравнение поведения параметров слоя, обусловленного рассмотренным механизмом с поведением при прохождении КМ ПИВ, показало их подобие. Во время прохождения КМ ПИВ пиковое значение электронной концентрации в максимуме слоя образуется позднее пикового значения высоты максимума слоя, как и в первом механизме. Фазовые соотношения между вариациями электронной концентрации на соседних высотах обнаружили задержку вариаций на нижних высотах относительно больших высот, что также подобно реакции F2-слоя при увеличении концентрации. Рассмотрены возможные способы идентификации процессов.

**Введение.** Известны различные типы ночных увеличений электронной концентрации максимума F2-слоя ( $N_mF2$ ) среднеширотной ионосферы, различающиеся механизмами их формирования. В большей части работ [1–8] ночные послеполуночные увеличения  $N_mF2$  среднеширотной ионосферы связывают с увеличением скорости направленного вниз потока плазмы из протоносферы и подъемом F2-слоя, обусловленным направленным к экватору термосферным ветром, на высоты, где скорость рекомбинации невелика.

Вероятность формирования ночных увеличений  $N_mF2$  весьма высока. В среднем она достигает 50%, а в зимние месяцы может превышать 80% [9]. Следует заметить, что ночные вариации  $N_mF2$  могут быть обусловлены также крупномасштабными перемещающимися ионосферными возмущениями (КМ ПИВ) [10]. КМ ПИВ являются проявлением распространения атмосферных гравитационных волн (АГВ), генерируемых в полярных районах во время геомагнитных возмущений [11–13] и в нижней атмосфере независимо от уровня магнитной активности [14]. Вероятность наблюдения КМ ПИВ также велика. Анализ результатов продолжительных наблюдений F2-слоя, выполненных на ионозонде и радаре некогерентного рассеяния показал, что вероятность превышает 50% [15, 16]. Высокие вероятности формирования ночных увеличений  $N_mF2$  и прохождения КМ ПИВ означают большую вероятность их одновременного присутствия над местом

наблюдения, что приводит к необходимости различать эти два явления между собой. Однако существование этой проблемы и возможные пути ее решения никак не обозначаются в большинстве работ, посвященных исследованию этих явлений.

Поэтому целью настоящей работы является выделение признаков в поведении ночного  $F_2$ -слоя, позволяющих идентифицировать явления увеличений  $N_m F_2$  и КМ ПИВ по данным вертикального зондирования ионосферы.

**Результаты исследований и обсуждение.** Вертикальное зондирование ионосферы проводилось в Институте ионосферы (Алма-Ата ( $76^{\circ}55'E$ ,  $43^{\circ}15'N$ )) на цифровом ионозонде “Парус”. Зондирование ионосферы проводилось каждые 5 мин. С ионограмм считывались значения действующих высот отражения  $h'(f)$  радиосигнала на ряде рабочих частот и значения критических частот  $f_{o,x}F_2$ . Дальнейшая обработка представляла расчет высотных распределений электронной плотности ( $N(h)$ -профилей) методом POLAN [17] и получение временных вариаций ряда параметров  $F_2$ -слоя (электронной плотности на фиксированных высотах ( $N_h(t)$ ), плотности в максимуме слоя ( $N_m F_2$ ), истинных высот максимума ( $h_m F$ ) и основания ( $h_{bot} F$ ) слоя и его полутолщины ( $\Delta h = h_m F - h_{bot} F$ ) + 8.

На рисунке 1а изображено изменение электронной концентрации во времени электронной концентрации наблюдалось на фоне ее спокойного суточного хода. Расстояние между соседними высотами составляет 10 км, а нижняя высота для этого случая равна 230 км.

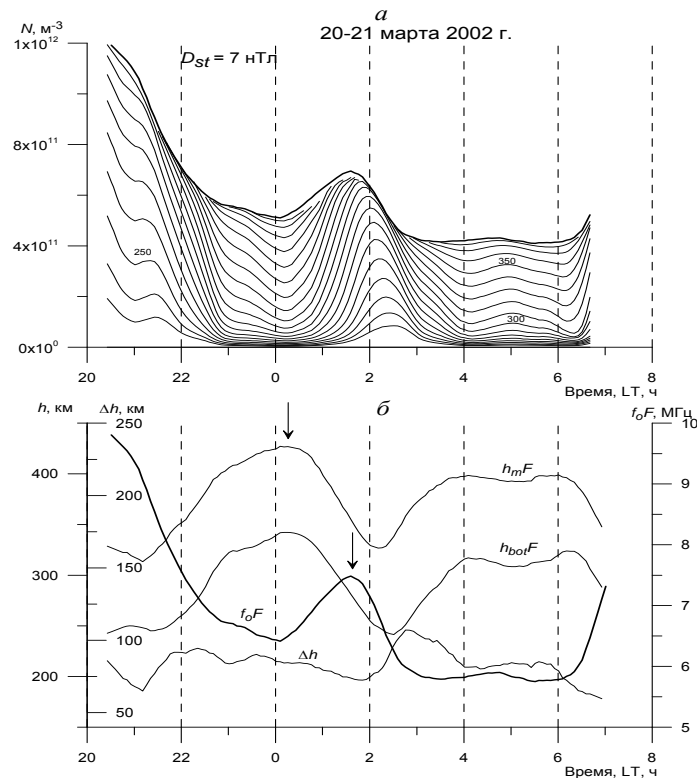


Рисунок 1 – а – Изменения электронной концентрации во времени на ряде фиксированных высот и в максимуме слоя (жирная кривая) при низком уровне магнитной активности, когда послеполуночное увеличение электронной концентрации наблюдается на фоне ее спокойного суточного хода; б – поведение  $h_m F$ ,  $h_{bot} F$ ,  $\Delta h$  и  $f_o F$  для этого случая

На рисунке 1б приведено поведение  $h_m F$ ,  $h_{bot} F$ ,  $\Delta h$  и  $f_o F$ , основные моменты которого можно описать следующим образом. Термосферный ветер, направленный к экватору, поднимает слой с высоты  $h_m F \sim 315$  км в  $t \sim 21:10$  на высоту  $h_m F \sim 425$  км в  $t \sim 00:20$ , при этом полутолщина слоя медленно уменьшается от значения  $\Delta h \sim 90$  км в  $t \sim 21:45$  до значения  $\Delta h \sim 70$  км в  $t \sim 01:55$ . Подъем слоя на высоты, характеризующиеся значительно меньшими скоростями рекомбинации, приводит к тому, что в  $t \sim 22:40$  скорость падения  $N_m F_2$  заметно снижается, а в  $t \sim 24:00$   $N_m F_2$  начинает расти за счет усиления направленного вниз потока плазмы из протоносферы. Умень-

шение полутолщины слоя свидетельствует об уменьшении электронной температуры. Так формируется самоподдерживающийся лавинообразный процесс, лежащий в основе механизма формирования ночных увеличений электронной концентрации, описанного в работе [2]. Процесс затормаживается, когда начинает уменьшаться высота максимума слоя, возвращая его в область высокой скорости рекомбинации. Согласно рассмотренному механизму, пик в  $N_m F$  формируется позже пика в  $h_m F$ . В данном случае пик в  $N_m F$ , наблюдавшийся в  $t \sim 01:30$ , запаздывает относительно пика в  $h_m F$  ( $t \sim 00:20$ ) на 1 ч 10 мин.

На рисунке 2 представлено поведение параметров слоя, которое можно интерпретировать как последовательность ночного увеличения электронной концентрации и КМ ПИВ. Ночь 25-26 октября 2005 г. характеризовалась умеренной магнитной активностью, при которой  $Dst$ -индекс в часы 20:00, 22:00, 24:00, 02:00 и 04:00 принимал значения -22, -24, -29, -35 и -28 нТл соответственно. Увеличение электронной концентрации, начавшееся в  $t \sim 22:25$  и продолжавшееся более 4-х часов, достигло максимума в  $t \sim 02:45$ . Поведение при этом всех параметров слоя соответствует механизму, рассмотренному на примере увеличения, представленного на рисунке 1. Следует заметить, что такой характер увеличения электронной концентрации – длительное, продолжающееся несколько часов нарастание и быстрый спад, формирующий пик  $N_m F$ , является наиболее часто встречающейся формой увеличений [18, 19]. Следующий, второй пик в поведении  $N_m F$  ( $t \sim 04:30$ ), как мы полагаем, представляет КМ ПИВ, которая инициирована АГВ, сгенерированной в полярных широтах в  $t \sim 02:00$ , когда была отмечена максимальная магнитная активность. В пользу такого заключения говорят периодические вариации  $h_m F$ ,  $h_{bot} F$ ,  $\Delta h$  и  $N_m F$  и фазовые соотношения между ними, характерные для КМ ПИВ. Интересно отметить, что так же, как и при ночных увеличениях электронной концентрации, в КМ ПИВ пик в вариациях  $N_m F$  запаздывает относительно пика в вариациях  $h_m F$ .

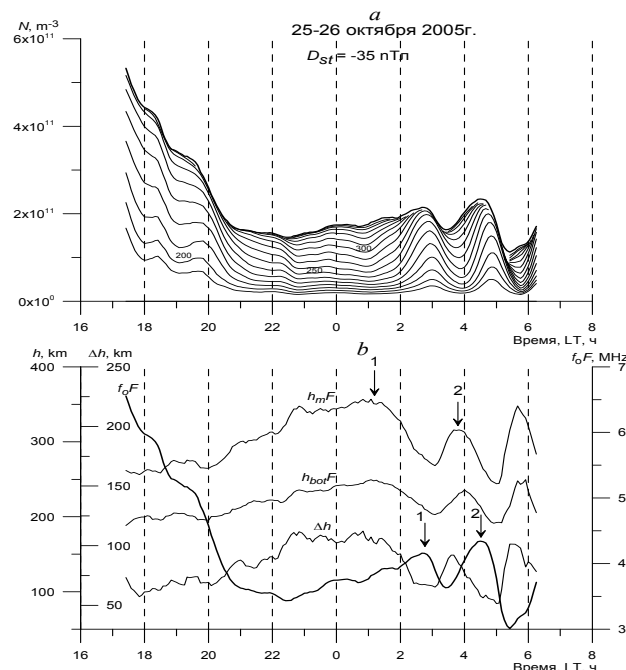


Рисунок 2 – Изменения параметров F2-слоя в ночь 25-26 октября 2005 г., интерпретируемое последовательностью эффектов повышения электронной концентрации и КМ ПИВ

Если сравнить фазовые соотношения между вариациями электронной плотности на соседних фиксированных высотах для двух рассматриваемых явлений (рис. 5а), то также можно обнаружить их заметное сходство, несмотря на различие механизмов, лежащих в их основе. В КМ ПИВ запаздывание фазы волны на меньшей высоте относительно фазы на большей высоте обусловлено наклоном фазового фронта, характерного для АГВ. В случае ночных увеличений электронной концентрации, подобное высотное фазовое запаздывание обусловлено направлением скорости



плазменного потока из протоносферы. Несмотря на сходство реакции параметров  $F2$ -слоя на рассматриваемые явления, в данном случае их идентификация представляет достаточно простую задачу, так как продолжительность увеличения  $N_mF$ , составляющая  $\sim 5$  ч заметно превышает период КМ ПИВ, составляющий  $\sim 2$  ч. Иная ситуация может создаться при сопоставимых продолжительностях того и другого явления. В таком случае, по-видимому, задача идентификации значительно осложнится. Заметим, что хотя, согласно статистическим исследованиям [20] продолжительности того и другого явления могут быть сопоставимы, однако большая часть событий ночных увеличений  $N_mF$  имеет продолжительность, превышающую максимальную величину периодов КМ ПИВ.

На рисунке 3 представлено поведение параметров слоя, которое можно интерпретировать как последовательность предполуночного и послеполуночного ночных увеличений электронной концентрации с наложением КМ ПИВ на второе увеличение  $N_mF$ . Ночь 22-23 января 2005 г. характеризовалась быстрым увеличением магнитной активности, при которой  $Dst$ -индекс в часы 20:00, 22:00, 24:00, 02:00 и 04:00 принимал значения -5, -6, -47, -58 и -67 нТл соответственно.

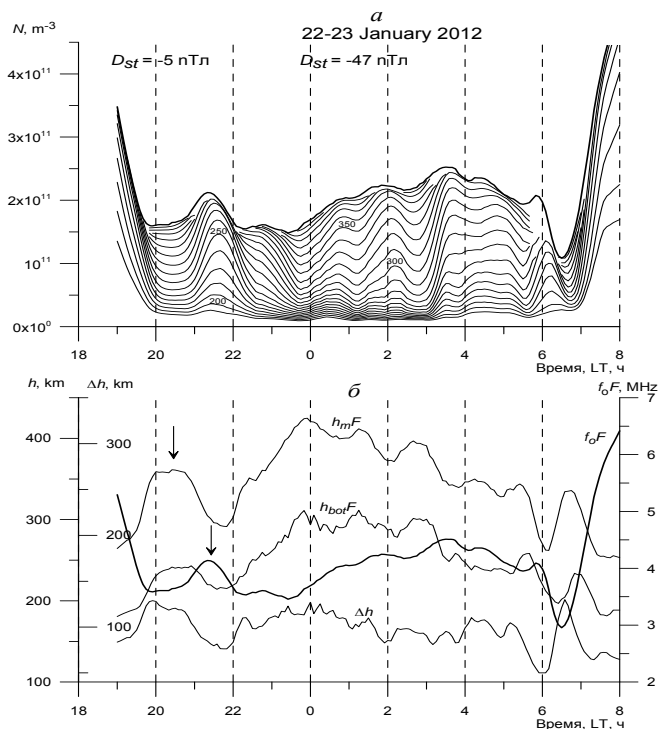


Рисунок 3 – Изменения параметров F2-слоя в ночь 22-23 января 2012 г., когда наблюдались предполуночное и послеполуночное повышения электронной концентрации с наложенным на последнее повышение КМ ПИВ

Поведение всех параметров слоя предполуночного увеличения электронной концентрации с пиком  $N_mF$  в  $t \sim 21:20$  соответствует механизму, рассмотренному на примере увеличения, представленного на рис. 1. На второе, послеполуночное продолжительное увеличение с пиком  $N_mF$  в  $t \sim 03:35$ , наложены периодические КМ ПИВ, вызванные процессами в полярных областях, связанными с увеличением магнитной активности. В данном случае КМ ПИВ представляет волновой процесс, который проявляется в квазипериодических колебаниях всех параметров  $F2$ -слоя. Период колебаний составляет  $\sim 1.5$  ч и, по меньшей мере, четыре колебания укладываются на интервале увеличения электронной концентрации  $N_mF$ , поэтому в данном случае разделение явлений осуществляется достаточно просто.

**Выводы.** Таким образом, основные результаты работы можно сформулировать так. По данным вертикального зондирования ионосферы получены характерные особенности поведения параметров  $F2$ -слоя, включающих электронную плотность на фиксированных высотах, плотность в максимуме слоя, истинные высоты максимума и основания слоя и его полутолщину, во время ночных увеличений электронной плотности максимума слоя. Представлены разные типы

увеличений, обусловленных различными механизмами. Установлено подобие реакции параметров F2-слоя на ночные увеличения, обусловленные подъемом слоя и потоком плазмы из протоносферы, и прохождением крупномасштабных ионосферных возмущений. Отмечены трудности при идентификации этих двух явлений в случае их одинаковой продолжительности.

*Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Исследовать роль нестационарных геофизических явлений в динамике нижней и верхней атмосферы» (Грант 0082/ГФ4, Регистрационный номер (РН) 0115PK00399).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Balan N., Bailey G.J., Nair R.B., Titheridge J.E. Nighttime enhancements in ionospheric electron content in the northern and southern hemisphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. Vol. 56. 1994. P. 67-79.
- [2] Mikhailov A.V., Förster M., Leschinskaya T.Yu. On the mechanism of post-midnight winter N<sub>m</sub>F2 enhancements: dependence on solar activity. *Annal. Geophysicae*. Vol. 18. 2000. P. 1422-1434.
- [3] Князева М.А., Намгаладзе А.А., Мартыненко О.В. Математическое моделирование ночных областей повышенной электронной концентрации в F2-слое ионосферы и в плазмосфере Земли. *Геомагнетизм и аэронаука*. Т. 52. 2012. С. 390-400.
- [4] Карпачев А.Т., Гасилов Н.А., Карпачев О.А. Причины долготных вариаций NmF2 на средних и субавроральных широтах в летних ночных условиях. *Геомагнетизм и аэронаука*. Т. 50. 2010. С. 507-513.
- [5] 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 аэронаука*. Т. 48. 2008. 79-92.
- [6] Lin C.H., Liu C.H., Liu J.Y., Chen C.H., Burns A.G., and Wang W. Midlatitude summer nighttime anomaly of the ionospheric electron density observed by FORMOSAT-3/COSMIC. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 115. A03308. 2010. doi.: 10.1029/2009JA014084.
- [7] Liu L., Chen Y., Le H., Ning B., Wan W., Liu J., and Hu L. A case study of post-midnight enhancement in F-layer electron density over S0anya of China. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. Vol. 118. 2013. P. 4640-4648.
- [8] Mikhailov, A.V., Leschinskaya T.Yu., Förster M. Morphology of NmF2 nighttime increases in the Eurasian sector. *Ann. Geophysicae*. Vol. 18. 2000. P. 618-628.
- [9] Farello A.F., Herraiz M., Mikhailov A.V. Global morphology of night-time NmF2 enhancements. *Ann. Geophysicae*. Vol. 20. 2002. P. 1795-1806.
- [10] Tzagouri I., Belelaki A. On the nature of nighttime ionization enhancements observed with the Athens Digisonde. *Ann. Geophysicae*. Vol. 20. 2002. P. 1225-1238.
- [11] Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high latitude ionosphere: A review. *Rev. Geophys.* Vol. 20. 1982. P. 293-315.
- [12] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Ashkaliev Ya.F., Litvinov Yu.G., Akasov S.B. Response of the Nighttime Midlatitude Ionosphere to the Passage of an Atmospheric Gravity Wave. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 48. 2008. P. 511-517.
- [13] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Height Profiles of the Amplitudes of Large Scale Traveling Ionospheric Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 53. 2013. P. 655-662.
- [14] Vadas S.L., Liu H. Generation of large scale gravity waves and neutral winds in the thermosphere from the dissipation of convectively generated gravity waves. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 114. A10310. 2009. doi:10.1029/2009JA014108.
- [15] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Andreev A.B., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Features of Statistical Distributions of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances over Almaty. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 51. 2011. P. 640-645.
- [16] Fedorenko Y.P., Tyrnov O., Fedorenko V., Dorohov V. Model of traveling ionospheric disturbances. *J. Space Weather Space Clim*. Vol. 30. 2013. doi: 10.1051/swsc/2013052.
- [17] Titheridge J.E. Ionogram analysis with the generalized program Polan. Boulder. CO USA: National Geophys. Data Center. 1985. 189 p.
- [18] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Vertical Structure of the Midlatitude Winter F Region of the Ionosphere during Postmidnight Enhancements in NmF2. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 49. 2009. P. 490-496.
- [19] Thampi S.V., Balan N., Lin C., Liu H., and Yamamoto M. Mid-latitude Summer Nighttime Anomaly (MSNA) – observations and model simulations. *Ann. Geophysicae*. Vol. 29. 2011. P. 157-165.
- [20] Tsugawa T., Saito A., Otsuka Y. A statistical study of large scale traveling ionospheric disturbances using the GPS network in Japan. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 109. A06302. 2004. doi: 10.1029/2003JA010302.
- [21] Лоис Л., Перес Х., Лацо Б., Яковски Н., Ландрок Р. Ночные повышения ионизации в области F над Кубой: связь с солнечной активностью. *Геомагнетизм и аэронаука*. Т. 30. 1990. С. 98-106.

#### REFERENCES

- [1] Balan N., Bailey G.J., Nair R.B., Titheridge J.E. Nighttime enhancements in ionospheric electron content in the northern and southern hemisphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. Vol. 56. 1994. P. 67-79.
- [2] Mikhailov A.V., Förster M., Leschinskaya T.Yu. On the mechanism of post-midnight winter N<sub>m</sub>F2 enhancements: dependence on solar activity. *Annal. Geophysicae*. Vol. 18. 2000. P. 1422-1434.
- [3] Knyazeva M.A., Namgaladze A.A., Martynenko O.V. Mathematical modeling the night regions of enhanced electron concentration in ionospheric F2 layer and plasmaspheric of the Earth. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 52. 2012. P. 390-400 (in Russ.).

- [4] Karpachev A.T., Gasilov N.A., Karpachev O.A. Reasons of longitude variations of NmF2 on middle and sub-auroral latitudes in summer nights. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 50. 2010. P. 507-513. (in Russ.).
- [5] Pavlov A.V., Pavlova N.M., Makarenko C.F., Shubin V. N. Anomaly variations of the F2 layer structure of the middle geomagnetic latitudes in south and north hemispheres under transfer from summer to winter states during high solar activity. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 48. 2008. P. 79-92. (In Russ.).
- [6] Lin C.H., Liu C.H., Liu J.Y., Chen C.H., Burns A.G., and Wang W. Midlatitude summer nighttime anomaly of the ionospheric electron density observed by FORMOSAT-3/COSMIC. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 115. A03308. 2010. doi: 10.1029/2009JA014084.
- [7] Liu L., Chen Y., Le H., Ning B., Wan W., Liu J., and Hu L. A case study of post-midnight enhancement in F-layer electron density over Soanya of China. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. Vol. 118. 2013. P. 4640–4648.
- [8] Mikhailov A.V., Leschinskaya T.Yu., Förster M. Morphology of NmF2 nighttime increases in the Eurasian sector. *Ann. Geophysicae*. Vol. 18. 2000. P. 618-628.
- [9] Farello A.F., Herraiz M., Mikhailov A.V. Global morphology of night-time NmF2 enhancements. *Ann. Geophysicae*. Vol. 20. 2002. P. 1795-1806.
- [10] Tsagouri I., Belehaki A. On the nature of nighttime ionization enhancements observed with the Athens Digisonde. *Ann. Geophysicae*. Vol. 20. 2002. P. 1225-1238.
- [11] Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high latitude ionosphere: A review. *Rev. Geophys.* Vol. 20. 1982. P. 293–315.
- [12] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Ashkaliev Ya.F., Litvinov Yu.G., Akasov S.B. Response of the Nighttime Midlatitude Ionosphere to the Passage of an Atmospheric Gravity Wave. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 48. 2008. P. 511–517.
- [13] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Height Profiles of the Amplitudes of Large Scale Traveling Ionospheric Disturbances. *Geomagnetism and aeronomy*. Vol. 53. 2013. P. 655–662.
- [14] Vadas S.L., Liu H. Generation of large scale gravity waves and neutral winds in the thermosphere from the dissipation of convectively generated gravity waves. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 114. A10310. 2009. doi:10.1029/2009JA014108.
- [15] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Andreev A.B., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Features of Statistical Distributions of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances over Almaty. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 51. . 2011. P. 640–645.
- [16] Fedorenko Y.P., Tyrnov O., Fedorenko V., Dorohov V. Model of traveling ionospheric disturbances. *J. Space Weather Space Clim*. Vol. 30. 2013. doi: 10.1051/swsc/2013052.
- [17] Titheridge J.E. Ionogram analysis with the generalized program Polan. Boulder. CO USA: *National Geophys. Data Center*. 1985. 189 p.
- [18] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Vertical Structure of the Midlatitude Winter F Region of the Ionosphere during Postmidnight Enhancements in NmF2. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 49. 2009. P. 490–496.
- [19] Thampi S.V., Balan N., Lin C., Liu H., and Yamamoto M. Mid-latitude Summer Nighttime Anomaly (MSNA) – observations and model simulations. *Ann. Geophysicae*. Vol. 29. 2011. P. 157-165.
- [20] Tsugawa T., Saito A., Otsuka Y. A statistical study of large scale traveling ionospheric disturbances using the GPS network in Japan. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 109. A06302. 2004. doi: 10.1029/2003JA010302.
- [21] Lois L., Peres X., Laco B., Jacovski N., Landrock R. Ionization night enhancements in F2 region of the ionosphere over Cuba: connection with solar activity. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 30. 1990. P. 98-106. (in Russ.).

## АЛМАТЫ ҮСТІНДЕ F2-ҚАБАТЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРОНДЫҚ КОНЦЕНТРАЦИЯНЫҢ ТҮНГІ ҰЛҒАЮ МЕХАНИЗМІ

А. Ф. Яковец, Г. И. Гордиенко, Ю. Г. Литвинов

ЕЖШС «Ионосфера институты» акционерлік қоғамы «Ғарыштық зерттеулер мен технологиялар ұлттық орталығы», Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** ионосфераның тік барлануы, электрондық концентрациясының түнгі ұлғаю механизмі, жылжымалы ионосфералық ұйтқулар

**Аннотация.** Жұмыста электрондық концентрацияларының (NmF2) ұлғаюының оның максимумында бірегейлендіруге және осы тік барлау бойынша ионосфераның үлкенмасштабты жылжымалы ұйтқуларындағы (КМ СЫРАЛАРДЫҢ) ионосфераның түнгі F2-қабатының тәртібінің белгілері қарастырылған. Алынған мәліметтер электрондық концентрациясының түнгі ұлғаюының пайда болу механизміне протоносфера плазмасының ағынының төменгі рекомбинация шығымын сипаттайтын F2-қабатын үлкен биіктіктерге көтеретін экваторлық термосфералық желге негізделген көшкін түріндегі процесс шеңберінде түсіндіріледі. КМ ПИВ өтуіндегі тәртіп пен қарастырылған механизммен қамтамасыз етілген қабаттар параметрлерінің тәртіптерімен салыстырулар жүргізіледі, олардың ұқсастығы көрсеткен. КМ ПИВ өту кезіндегі электрондық концентрациясының қабаттың максимумындағы шындық мәндері бірінші механизмдегі сияқты, қабаттың максимум биіктіктегі шындық мәндерін тудырады. фазалық байланыстары электрондық концентрациясының вариацияларымен көршілес биіктіктердегі арасында үлкен биіктіктерге қатысты төменгі биіктіктердегі вариациялардың тоқтатылуы байқалады, сонымен қатар F2-қабатындағы концентрациясының ұлғая кезіндегі реакцияларына ұқсас. Процесстердің теңестірулері туралы ықтимал әдістері қарастырылған.

Поступила 07.07.2015 г.

---

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

---

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.physics-mathematics.kz>

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 14.07.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

17,25 п.л. Тираж 300. Заказ 4.