

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 19 – 25

**STUDYING PARAMETERS OF WAVES GENERATED
BY DAWN AND DUSK SOLAR TERMINATORS**

B. T. Zhumabayev, A. F. Yakovets, G. I. Gordienko, Yu. G. Litvinov

Institute of the Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: beibit.zhu@mail.ru

Key words: vertical sounding of ionosphere, travelling ionospheric disturbances, solar terminator.

Abstract. On the basis of the vertical sounding of the ionosphere over Almaty a comparison of parameters of waves excited by the passage of the dawn and dusk solar terminators is carried out. Observations were carried out in a period of low solar and magnetic activities. Wave periods of the dawn and dusk terminators are distributed in the same intervals of 40 - 85 min. If for the dawn terminator, beginning the wave generation corresponded to the height of the sun above the horizon distributed in a narrow range of 11° - 15° , then for the dusk terminator its heights exhibit considerable variation in the band of from 0° to -14° below the horizon. Their relative maximum amplitudes are also significantly different. The maximum of the wave amplitude of the dusk terminator being in the range 10 - 40% is substantially higher than the amplitude of the dawn terminator waves (4 - 16%). This proves that the dawn terminator more effectively generates waves in the neutral atmosphere than the dusk terminator. At the same time the height corresponding to the maximum amplitudes are at the same intervals as for dawn and dusk terminators (190 - 230 km).

УДК 550.383

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН,
ГЕНЕРИРУЕМЫХ УТРЕННИМ И ВЕЧЕРНИМ ТЕРМИНАТОРАМИ**

Б. Т. Жумабаев, 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, перемещающиеся ионосферные возмущения, солнечный терминатор.

Аннотация. На основе результатов вертикального зондирования ионосферы над Алматы проведено сравнение параметров волн, возбуждаемых утренним и вечерним прохождением солнечного терминатора. Наблюдения были проведены в период низкой солнечной и магнитной активностей. Периоды волн утреннего и вечернего терминатора распределены в одинаковых интервалах 40 – 85 мин. Если для утреннего терминатора высота Солнца над горизонтом распределена в узком интервале значений 11° – 15° , то для вечернего терминатора отрицательные высоты обнаруживают значительный разброс от 0° до -14° ниже линии горизонта. Относительные максимальные амплитуды волн также значительно отличаются. Максимальные амплитуды вечерних волн, лежащие в интервале 10 – 40%, заметно превосходят амплитуды утренних терминаторных волн (4 – 16%). В то же время высоты, соответствующие максимальным амплитудам лежат в одинаковых интервалах, как для утреннего, так и для вечернего терминаторов (190 – 230 км).

Введение. Прохождение через термосферу атмосферных гравитационных волн (АГВ), приводит к появлению перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), представляющих квазипериодические вариации различных параметров ионосферного F-слоя. Считают, что АГВ

генерируются в основном в полярных областях во время геомагнитных бурь и суббурь и затем распространяются на средние и низкие широты [1–3]. Однако еще в 1970 г. Chimonas and Hines [4] предсказали, что солнечное затмение должно генерировать гравитационные волны за счет перемещения охлаждения атмосферы в области лунной тени, движущейся со сверхзвуковой скоростью. Они показали, что гравитационные волны должны формироваться в виде головной волны, наподобие волн, создаваемой быстро двигающимся судном на водной поверхности. По аналогии с затмением, Beer [5] выдвинул идею, что солнечный терминатор может служить генератором гравитационных волн. Будучи регулярным и глобальным явлением, движущийся терминатор отличается от других источников генерации волн, как стабильный, повторяющийся и прогнозируемый источник. Дневная термосфера представляет выступ плотности и давления, двигающийся на запад с фазовой скоростью Солнца (около 450 м/сек на экваторе). Следует отметить, что число Maxa превышает 1 на высотах ниже 120 км, где могут генерироваться акустические и гравитационные волны. Скорость звука на высотах F-области ионосферы составляет ~ 500 м/с в минимуме солнечной активности и ~ 700 м/сек в максимуме, и поэтому терминатор движется со скоростью меньшей скорости звука. Однако, Сомсиков [6–12] предложил теоретическую основу генерации гравитационных волн терминатором, двигающимся со субзвуковой скоростью. При этом длина генерируемой волны составляет ~ 1000 км, а ее период превышает ~ 30 мин. Опубликовано несколько экспериментальных работ [13–17], подтверждающих существование терминаторных волн в F-области ионосферы, однако приведенный в них анализ опирается на ограниченный объем экспериментальных данных. В работе [13] рассматриваются данные одного дня наблюдения, а в работе [14] рассматриваются данные вертикального зондирования ионосферы, полученные за несколько дней. Поэтому целью настоящего исследования является наблюдения и обработка данных наблюдений, проведенных непрерывно в течение промежутка времени, достаточного для получения статистических оценок параметров волн.

Методы исследования. Для получения различных параметров терминаторных волн был использован метод вертикального зондирования ионосферы, применяемый нами для получения ионосферных волн, разнообразной природы [18, 19]. Анализировались данные, полученные в марте 2010 г., в течение которого было проведено 18 сеансов измерений, каждый из которых захватывал вечернее переходное (день-ночь) время,очные часы и утреннее переходное время. Выбор года и сезона наблюдений был обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, согласно теоретическим оценкам [16] максимальное проявление терминатора следовало ожидать в равноденственные сезоны и, во-вторых, чтобы исключить интерференцию волновой активности в ионосфере от других источников, связанных с процессами, происходящими в магнитосфере Земли, наиболее предпочтительными являются периоды низкой солнечной и магнитной активности. Мы провели наблюдения в период низкой солнечной активности (среднее значение потока радиоизлучения Солнца на волне 10.7 см в марте составило $F10.7 = 85.0$) и при низкой магнитной активности (в марте для дат наблюдения индекс активности $Ap \leq 10$).

Анализ результатов. На рисунке 1 представлены слаженные вариации электронного содержания ионосферы $N(t)$ с применением скользящего окна с длиной $T = 30$ мин на серии высот с расстоянием между соседними высотами 10 км для трех сеансов наблюдений. Нижняя кривая соответствует высоте $h=150$ км. Верхняя (жирная) кривая соответствует вариациям $N(t)$ в максимуме области F (h_mF). Представленные на рисунке примеры вариаций $N(t)$ содержат особенности, характерные для большинства измерений этого цикла. Поведение $N(t)$ в максимуме области F , представленное на панелях, отражает типичный суточный ход электронной плотности – уменьшение плотности в вечерние переходные часы при заходе Солнца и увеличение в утренние часы во время восхода Солнца. Среднее значение электронной плотности в максимуме области F менялось незначительно от ночи к ночи, и оно составляло $N_e \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$. Поскольку измерения проводились в период равноденствия, то терминатор на анализируемых высотах располагался вблизи 18 час в вечернее и 06 час в утреннее время. Незначительные амплитуды вариаций $N(t)$ в ночное время свидетельствовали об отсутствии в это время сторонних механизмов генерации волн, которые могли бы накладываться на терминаторные волны, проявляющиеся на графиках в вечернее и утреннее время. На рисунке 1 показаны три варианта комбинаций вечерних и утренних терминаторных волн, наблюденных нами во время цикла наблюдений. На верхней панели

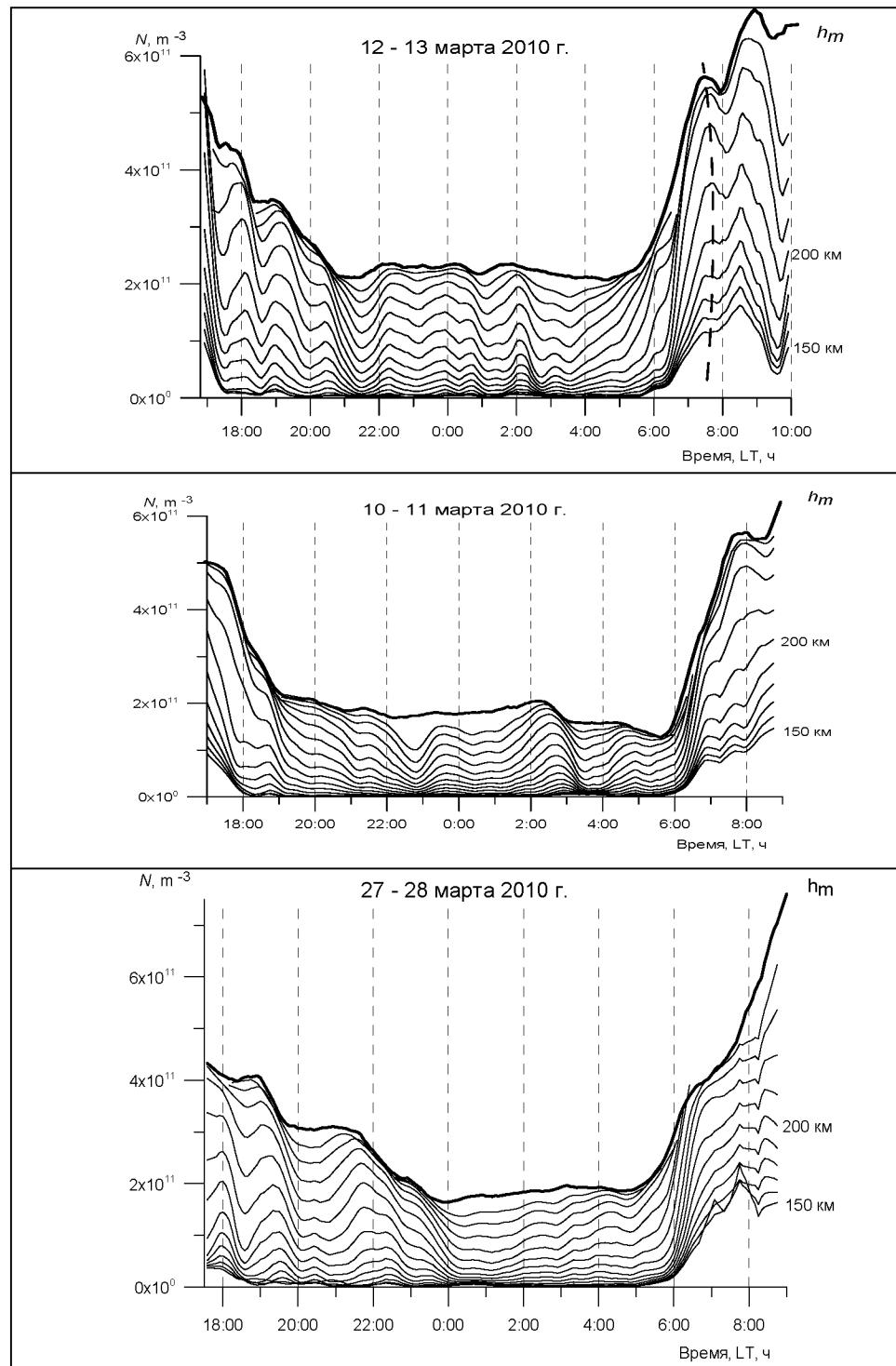


Рисунок 1 – Сглаженные вариации электронного содержания ионосферы на серии высот

представлен наиболее часто встречающийся вариант, когда волны были сгенерированы, после прохождения как вечернего, так и утреннего терминаторов (11 сеансов). На средней панели представлен вариант, когда волны были сгенерированы, после прохождения только утреннего терминатора (4 сеанса).

И на нижней панели представлен вариант, когда волны были сгенерированы, после прохождения только вечернего терминатора (3 сеанса). Высотная зависимость амплитуды волны, которую можно обнаружить на рисунках, имеет особенность, которая сохраняется в большинстве сеансов

наблюдения. Амплитуда волны, минимальная у основания рассматриваемой области ионосферы, растет с увеличением высоты, достигая максимума на некоторой высоте близи $h \sim 200$ км, а затем снова уменьшается при приближении к высоте максимума области. В таблице 1 представлены даты наблюдения и ряд параметров наблюданной терминаторной волны. Здесь приняты следующие обозначения.

На рисунке 2 показаны гистограммы распределений параметров терминаторных волн, построенные по данным, приведенным в таблице. Для удобства сравнения параметров утреннего и вечернего терминаторов гистограммы помещены рядом. Периоды осцилляций утреннего и вечернего терминатора распределены в одинаковых интервалах 40 – 85 мин. Если для утреннего терминатора высота Солнца над горизонтом распределена в узком интервале значений 11 – 15°, то для вечернего терминатора отрицательные высоты обнаруживают значительный разброс – от 0 до – 14°. Относительные максимальные амплитуды также значительно отличаются. Максимальные амплитуды вечерних вариаций, лежащие в интервале 10 – 40%, заметно превосходят амплитуды утренних терминаторных волн (4 – 16%). В то же время высоты, соответствующие максимальным амплитудам лежат в одинаковых интервалах, как для утреннего, так и вечернего терминаторов (190 – 230 км).

Заметим, что большая часть высот для вечернего терминатора лежит в очень узком интервале 215 – 220 км.

Значения параметров наблюданной терминаторной волны

Дата	Заход Солнца						Восход Солнца					
	T, ч	φ, LT	χ, град	$A_m, 10^{11}$ m^{-3}	$A_{m\%}$ %	h_{Am} км	T, ч	φ, LT	χ, град	$A_m, 10^{11}$ m^{-3}	$A_{m\%}$ %	h_{Am} км
09-10.03	N	N	n	n	n	N	1.3	7:30	12.8	0.3	8.0	210
10-11.03	N	N	n	n	n	N	0.85	7:00	7.9	0.15	6.5	200
12-13.03	1.2	18:00	-1.8	0.7	26	220	1.0	7:30	13.8	0.35	7.8	220
13-14.03	0.8	18:20	-5.3	0.2	12	220	0.8	7:30	13.6	0.27	10.8	220
14-15.03	1.2	18:40	-8.7	0.25	20	200	0.92	7:25	13.5	0.45	14.0	210
16-17.03	1.3	18:50	-10	0.55	46	220	0.76	7:15	12.5	0.17	4.8	200
17-18.03	1.0	18:00	-0.1	0.25	20	210	1.17	7:25	14.5	1.15	30.0	215
18-19.03	1.4	19:00	-11	0.4	25	220	N	n	n	n	N	n
19-20.03	0.9	18:45	-8.5	0.3	14	220	N	n	n	n	N	n
20-21.03	1.1	18:05	-1.0	0.35	35	210	0.93	7:00	11.1	0.25	7.2	215
21-22.03	1.7	18:45	-8.0	0.5	31	220	1.08	7:15	14.1	0.35	8.3	210
22-23.03	1.2	19:15	-13	0.8	36	230	0.75	7:15	14.4	0.25	8.4	195
23-24.03	N	N	n	n	n	N	1.15	7:10	13.5	0.45	11.8	210
24-25.03	1.2	18:40	-6.5	0.35	27	220	0.83	7:00	12.4	0.50	14.3	205
25-26.03	N	N	n	n	n	N	1.4	7:10	14.2	0.32	11.6	200
26-27.03	1.0	18:50	-7.8	0.35	20	220	1.33	6:55	12.2	0.75	34.8	220
27-28.03	1.3	18:10	-1.3	0.55	36	220	N	n	n	n	N	n
29-30.03	0.9	18:50	-7.2	0.5	28	230	0.95	6:50	12.2	0.40	12.5	200

n – дни когда не было осцилляций.

T, ч – период осцилляций электронного содержания на фиксированных высотах, φ – фаза осцилляций (местное время, на которое приходится первый максимум осцилляций), χ, град – высота Солнца над горизонтом, соответствующая первому максимуму волны (положительный знак соответствует положению Солнца выше горизонта, отрицательный – ниже горизонта), $A_m, 10^{11} m^{-3}$ – максимальная абсолютная амплитуда осцилляций, $A_{m\%}$ % – максимальная относительная амплитуда, h_{Am} км – высота соответствующая максимальной амплитуде.

Значения высоты Солнца для географических координат Алматы, конкретной даты и времени суток мы получали, используя свободный доступ на сайт <http://www.usno.navy.mil/> USNO/astronomical-applications/data-services/altaz-world, на котором проводится расчет высоты и азимута Солнца в интерактивном режиме.

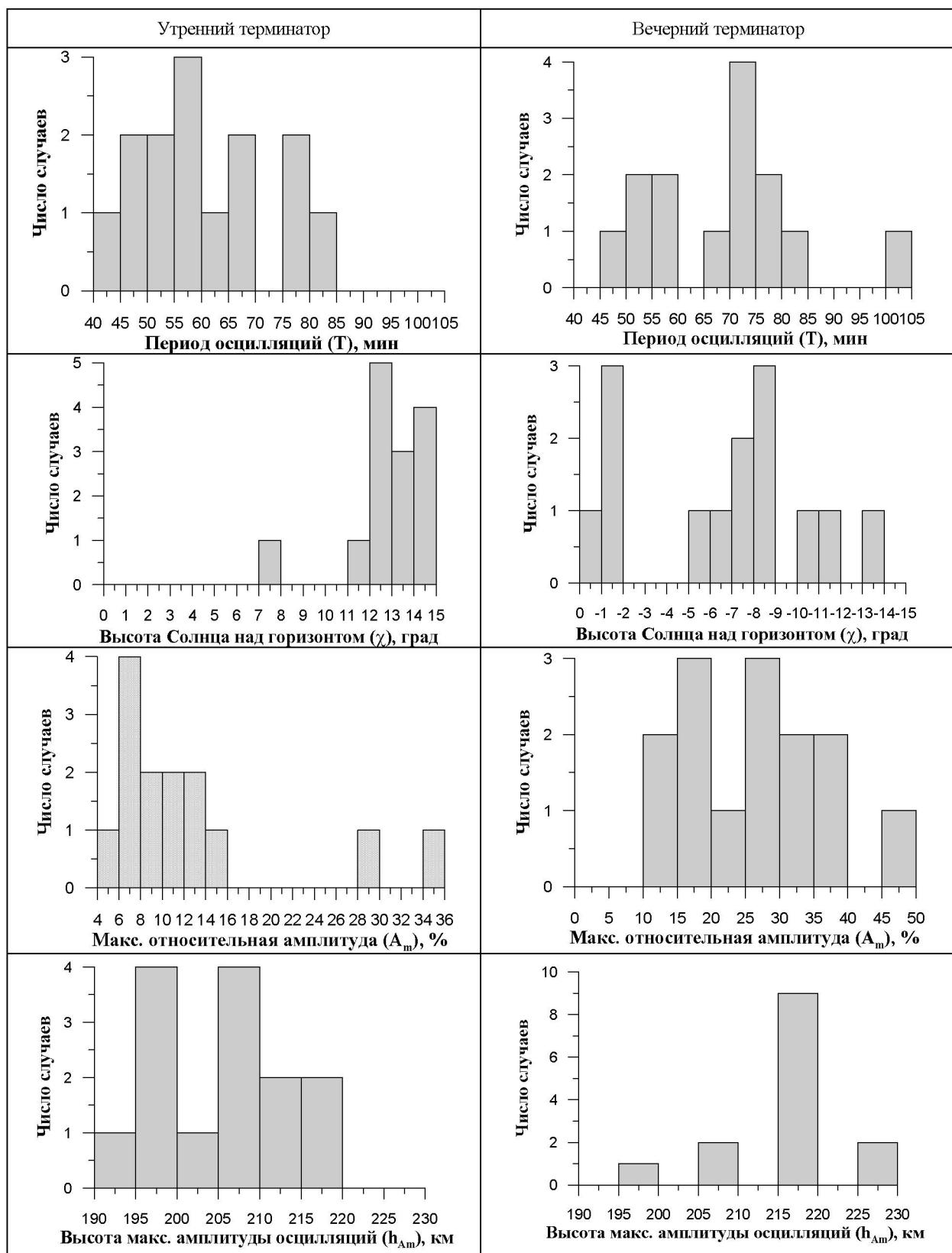


Рисунок 2 – Гистограммы распределений периодов, высоты Солнца над горизонтом, максимальной относительной амплитуды и высоты, соответствующей максимальной амплитуде

Обсуждение и выводы. Сравним значения полученных нами параметров с результатами измерений, известных в литературе. В работе [14] авторы нашли, что осцилляции с доминирующим периодом в диапазоне 60-74 мин существуют систематически, начинаясь на восходе и продолжаясь в течение нескольких часов. Измеренная максимальная амплитуда располагалась между высотами 180-200 км. Авторы утверждали, что процессы нагревания, связанные с быстрым увеличением солнечной радиации на восходе, могут действовать как источник турбулентности в F области и эта турбулентность проявляет себя, как AGW осцилляции электронной плотности. Видно, что значения периодов и высот максимальных амплитуд близки к значениям, полученным нами. В работе [20], в которой анализировались данные о плотности термосферы из измерений акселерометра на борту спутника CHAMP на высотах 440 ± 40 км в течение 2001 г. и 340 ± 10 км в течение 2006 г., было найдено, что вблизи вечернего терминатора волновые структуры оказались более выраженными. Это доказывает, что вечерний терминатор более эффективно генерирует волны в нейтральной атмосфере, чем утренний терминатор. Как граница неоднородного нагрева атмосферы, вечерний терминатор порождает больший горизонтальный градиент температуры и давления, чем утренний терминатор. Согласно теории [7, 14] резкая граница более эффективно генерирует волны. Поэтому вечерний терминатор работает более эффективно при возбуждении атмосферных волн. Наши данные, показывающие заметные превышения максимальных амплитуд вечерних терминаторных волн над утренними волнами, подтверждают эти выводы.

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Исследовать воздействие нестационарных явлений на среднеширотные атмосферу и ионосферу» (Грант 0040/ГФЗ, Регистрационный номер (РН) 0113РК00289).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yeh K.C., Liu C.H. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere. *Rev. Geophys. Space Phys.* Vol. 12. 1974. P. 193–216.
- [2] Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere: A review. *Rev. Geophys.* Vol. 20. 1982. P. 293–315.
- [3] Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995. *Annal. Geophysicae.* Vol. 14. 1996. P. 917–940.
- [4] Chimonas G., Hines C.O. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse. *Journal of Geophysical Research.* Vol. 75. 1970. P. 875–882.
- [5] Beer T. Supersonic generation of atmospheric waves. *Nature.* Vol. 242. 1973. doi:10.1038/242034a0.
- [6] Somsikov V.M. On mechanism for formation of atmospheric irregularities in the solar terminator region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.* Vol. 57. 1995. P. 75–83.
- [7] Somsikov V.M. Solar terminator and dynamical phenomena in the atmosphere (survey). *Geomagnetism and Aeronomy.* Vol. 51. 2011. P. 723–735.
- [8] Somsikov V.M. Spherical model of solar terminator. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.* Vol. 49. 1984. P. 433–438.
- [9] Somsikov V.M. Atmospheric waves caused by the solar terminator: a review. *Geomagnetism and Aeronomy.* Vol. 31. 1991. 1–12.
- [10] Somsikov V.M. On the atmospheric turbulence generation by the solar terminator. *Geomagnetism and Aeronomy.* Vol. 32. 1992. P. 55–60.
- [11] Somsikov V.M., Ganguly B. On the formation of atmospheric inhomogeneities in the solar terminator region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.* Vol. 57. 1995. P. 1513–1523.
- [12] Somsikov V.M., Troitskii B.V. Generation of disturbances in the atmosphere at the passage time of Solar Terminator through it. *Geomagnetism and Aeronomy.* Vol. 15. 1975. P. 856–860.
- [13] Galushko V.G., Paznukov V.V., Yampolski Y.M. and Foster J.C. Incoherent scatter radar observations of AGW/TID events generated by the moving solar terminator. *Annal. Geophysicae.* Vol. 16. 1998. P. 821–827.
- [14] Boska J., Sauli P., Altadill D., Sole J. Diurnal variation of gravity wave activity at midlatitudes in the ionospheric F region. *Stud. Geophys. Geod.* Vol. 47. 2003. P. 569–576.
- [15] Afraimovich E.L. First GPS-TEC evidence for the wave structure excited by the solar terminator. *Earth Planets Space.* Vol. 60. 2008. P. 895–900.
- [16] Chernysheva S.N., Sheftel' V.M., Shcharenetskaya E.G. Wavelike disturbances of electron density in the ionosphere near the morning terminator. *Geomagnetism and Aeronomie.* Vol. 25. 1985. P. 143–146.
- [17] Forbes J.M., Bruinsma S.L., Miyoshi Y., Fujiwara H. A solar terminator wave in thermosphere neutral densities measured by the CHAMP satellite. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 35. L14802. 2008. doi:10.1029/2008GL034075.
- [18] 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.
- [19] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Thermospheric Wind Oscillations during the Propagation of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy.* Vol. 54. 2014. P. 480–487.
- [20] Liu H., Luhr H., Watanabe Sh. A solar terminator wave in thermospheric wind and density simultaneously observed by CHAMP. *Geophys. Res. Letters.* Vol. 36. L10109. 2009. doi: 10.1029/2009GL038165.

REFERENCES

- [1] Yeh K.C., Liu C.H. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere. *Rev. Geophys. Space Phys.*. Vol. 12. 1974. P. 193–216.
- [2] Hunsucker R.D. Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere: A review. *Rev. Geophys.*. Vol. 20. 1982. P. 293–315.
- [3] Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995. *Annal. Geophysicae*. Vol. 14. 1996. P. 917–940.
- [4] Chimonas G., Hines C.O. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 75. 1970. P. 875–882.
- [5] Beer T. Supersonic generation of atmospheric waves. *Nature*. Vol. 242. 1973. doi:10.1038/242034a0.
- [6] Somsikov V.M. On mechanism for formation of atmospheric irregularities in the solar terminator region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. Vol. 57. 1995. P. 75–83.
- [7] Somsikov V.M. Solar terminator and dynamical phenomena in the atmosphere (survey). *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 51. 2011. P. 723–735.
- [8] Somsikov V.M. Spherical model of solar terminator. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. Vol. 49. 1984. P. 433–438.
- [9] Somsikov V.M. Atmospheric waves caused by the solar terminator: a review. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 31. 1991. 1–12.
- [10] Somsikov V.M. On the atmospheric turbulence generation by the solar terminator. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 32. 1992. P. 55–60.
- [11] Somsikov V.M., Ganguly B. On the formation of atmospheric inhomogeneities in the solar terminator region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. Vol. 57. 1995. P. 1513–1523.
- [12] Somsikov V.M., Troitskii B.V. Generation of disturbances in the atmosphere at the passage time of Solar Terminator through it. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 15. 1975. P. 856–860.
- [13] Galushko V.G., Paznukov V.V., Yampolski Y.M. and Foster J.C. Incoherent scatter radar observations of AGW/TID events generated by the moving solar terminator. *Annal. Geophysicae*. Vol. 16. 1998. P. 821–827.
- [14] Boska J., Sauli P., Altadill D., Sole J. Diurnal variation of gravity wave activity at midlatitudes in the ionospheric F region. *Stud. Geophys. Geod.*. Vol. 47. 2003. P. 569–576.
- [15] Afraimovich E.L. First GPS-TEC evidence for the wave structure excited by the solar terminator. *Earth Planets Space*. Vol. 60. 2008. P. 895–900.
- [16] Chernysheva S.N., Sheftel' V.M., Shcharenetskaya E.G. Wavelike disturbances of electron density in the ionosphere near the morning terminator. *Geomagnetism and Aeronomie*. Vol. 25. 1985. P. 143–146.
- [17] Forbes J.M., Bruinsma S.L., Miyoshi Y., Fujiwara H. A solar terminator wave in thermosphere neutral densities measured by the CHAMP satellite. *Geophys. Res. Lett.*. Vol. 35. L14802. 2008. doi:10.1029/2008GL034075.
- [18] 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.
- [19] Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. Thermospheric Wind Oscillations during the Propagation of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy*. Vol. 54. 2014. P. 480–487.
- [20] Liu H., Luhr H., Watanabe Sh. A solar terminator wave in thermospheric wind and density simultaneously observed by CHAMP. *Geophys. Res. Letters*. Vol. 36. L10109. 2009. doi: 10.1029/2009GL038165.

КЕШКІ ТЕРМИНАТОРЛАРДАН ШЫГАРЫЛДЫН ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРИН ЗЕРТТЕУ

Б. Т. Жумабаев, А. Ф. Яковец, Г. И. Гордиенко, Ю. Г. Литвинов

ЕЖШС «Ионосфера институты» акционерлік қоғамы
«Фарыштық зерттеулер мен технологиялар ұлттық орталығы», Алматы, Қазакстан

Тірек сөздер: ионосфераның тік барлануы, жылжымалы ионосфералық ұйтқулар, күн терминаторы.

Аннотация. Алматы үстінде ионосфераның тік барлану інтижелерінің негізін күн терминаторынан өтетін тенерентігі және кешкі қоздырушы толқындардың параметрлерімен салыстырулар жүргізілледі. Бақылаулар тәмсөттің күннің және магнитті белсенділіктер периодында өткізілді. Таңрентігі және кешкі терминаторлардың толқындарының периодтары бірдей 40 – 85 мин интервал аралықтарында тараған. Егер танерентігі терминатор үшін Күннің горизонталь үстіндегі биіктігі 110 – 150 мәндерінің қысқа интервал аралығында тараған болса, онда кешкі терминатор үшін теріс мәнді биіктік горизонт сыйзығынан төмен 00–140 дейінгі айтартылған шашылуарда байқалып жатыр. Сонымен қатар толқындардың салыстырмалы максимальды амплитудаларында едәүір айырмашылықтар болып жатыр. 10 – 40% интервал аралығында жататын кешкі толқындардың максимал амплитудалары ертеңгі толқындардың терминаторлардың амплитудаларынан асып кететіні байқалады (4 – 16%). Биіктіктің сол уақыты үшін, сәйкесінше ертеңгі және кешкі терминаторлар үшін максимальды амплитудалары бірдей интервал аралықтарында жатады (190 – 230 км).

Поступила 07.07.2015 г.