

К. П. Гармаш, Л. Ф. Черногор

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків

РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ІОНОСФЕРІ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ВПЛИВ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПРИЗЕМНУ АТМОСФЕРУ

В 2006 р. проведено дослідження впливу акустичного випромінювання на атмосферно-іоносферну систему. Розроблено нові підходи до системного спектрального та статистичного аналізу експериментальних даних. Виявлено періодичні й аперіодичні варіації статистичних характеристик даних дистанційного зондування, які могли бути пов'язані зі штучними акустичними збуреннями. Для оцінки ефективності впливу акустичного випромінювання, його залежності від режиму роботи акустичного випромінювача й умов спостереження потрібні додаткові систематичні та комплексні дослідження із залученням якомога більшого числа супутникових і наземних методів дослідження.

Ключові слова: динамічні процеси, іоносфера, дія акустичного випромінювання, системний спектральний аналіз, радіофізичні методи.

ВСТУП

Авторами роботи розроблено основи системного спектрального аналізу, який базується на лінійних і нелінійних інтегральних перетвореннях, і проведено обґрунтування оптимального часового розрізнення даних радіофізичного зондування про процеси в іоносфері під час проведення низькочастотних акустичних експериментів в атмосфері й іоносфері [2]. Розроблено сучасні методики статистичної обробки та фізичної інтерпретації експериментальних даних радіофізичного зондування D-, E- та F-областей іоносфери методами часткових відбиттів, доплерівського зондування на похилих і вертикальних трасах, вертикального зондування іонозондом, варіацій магнітометричних сигналів і сигналів, які реєструються на супутниках. Проаналізовано дані вимірювань, одержані на Радіофізичній об-

серваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна в серії експериментів із штучним акустичним впливом протягом кампанії в травні 2006 року.

Метою досліджень було виявлення реакції іоносфери на потужний штучний квазіперіодичний вплив акустичного випромінювання та супутніх процесів [1, 3–33].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Для дії на навколосемне середовище використовувався пересувний комплекс апаратури ЛЦ ІКД НАНУ-ДКАУ, що був встановлений поблизу м. Харків. Потужність акустичного випромінювання складала 100 кВт. Випромінюваний сигнал на частоті 195 Гц був промодульований по амплітуді коливанням з частотою 25 Гц. Тривалості імпульсів впливу та пауз дорівнювали 1 хв (загалом 5 хв). Експеримент було проведено у травні 2006 р. (загалом 20 сеансів).

Для діагностики збурень в іоносфері були використані радари часткових відбиттів і доплер-

рівського зондування, розташовані в Радіофізичній обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна (на відстані близько 10 км від джерела акустичного збурення). Було досліджено часові варіації інтенсивностей звичайної та незвичайної складових частково відбитого сигналу $I_{o,x}$. Плавне збільшення $I_{o,x}$ тривалістю $\Delta T_s \approx 90$ хв мало місце 11 травня через $\Delta t_s \approx 13$ хв після вмикання збурюючої установки. Максимум збільшення $I_{o,x}$ приблизно у п'ять разів було спостережено через $\Delta t_m \approx 43$ хв. Плавні наростання $I_{o,x}$ були зареєстровані також 15 травня. Після першого вмикання установки акустичного випромінювання в 11:00 відбулось збільшення $I_{o,x}$ з $\Delta t_s \approx 18$ хв, $\Delta t_m \approx 45$ хв і $\Delta T_s \approx 100$ хв. Інтенсивність сигналів у максимумі у чотири рази перевищила її фонове значення. Різкі сплески $I_{o,x}$ звичайно мали тривалість $\Delta T_a \approx 2...3$ хв. Вони спостерігались 10 травня з часом запізнювання $\Delta t_{a1} \approx 12$ хв ($I_{o,x}$ зросли у тричотири рази) та $\Delta t_{a2} \approx 55$ хв (зміна $I_{o,x}$ у 10 — 15 разів), а також 11 травня з $\Delta t_a \approx 80$ хв ($I_{o,x}$ зроста у 8 — 10 разів). Такі ж сплески інтенсивності мали місце 15 травня після першого вмикання через $\Delta t_{a1} \approx 55$ хв (збільшення $I_{o,x}$ у чотири рази) та $\Delta t_{a2} \approx 90$ хв (у два-три рази), а також після наступних вмикань через $\Delta t_a \approx 92$ хв.

Виконано аналіз варіації доплерівських спектрів (ДС), що супроводжують вмикання акустичного випромінювання чотири і три рази в денний та нічний час відповідно. Зміни характеру варіацій ДС мали місце у п'яти та семи випадках на частотах $f_1 = 2.7$ та $f_2 = 4.04$ МГц відповідно. На частоті f_1 ефект в нічний час у двох сеансах не було зареєстровано. Час запізнювання варіацій ДС $\Delta t_{1,2}$ для частот $f_{1,2}$ складав 47 ± 6 та 52 ± 4 хв відповідно. Тривалості $\Delta T_{1,2}$ цих варіацій дорівнювали 40 ± 4 та 52 ± 13 хв.

Для порівняння виконано спостереження за збуреннями в іоносфері, які викликалися дією низки природних і штучних джерел енерговиділення [1—33]. Знайдено їхні спільні та відмінні прояви у системі Земля — атмосфера — іоносфера — магнітосфера [2, 8, 9, 26].

Таким чином, у нижній іоносфері спостерігались як плавні (тривалістю $\Delta T = 1.5...2$ год), так і різкі ($\Delta T = 2...3$ хв) збільшення інтенсивності сигналів і завад після початку впливу акустич-

ного випромінювання. Час запізнювання цих збільшень змінювався від 13 до 92 хв. Відразу після початку акустичного впливу або з запізнюванням 1...3 хв реєструвались хвильові збурення з періодами $T \approx 3...7$ хв. В одному з чотирьох випадків мало місце приглушення хвильових збурень із $T \approx 6...8$ хв, а в двох випадках — підсилення коливань з $T \approx 20...30$ хв і $T \approx 50$ хв. Після акустичного впливу в середній іоносфері з часом запізнювання близько 50 хв спостерігались зміни характеру варіацій ДС сигналів, відбитих від E - і F -областей іоносфери, тривалістю близько 40...50 хв.

ПІДСУМКИ

Були проведені попередні спостереження радіофізичними радарними методами динамічних процесів в іоносфері, що супроводжували вплив акустичного випромінювання на приземну атмосферу. Отримано попередні результати, що свідчать про вплив акустичного випромінювання на атмосферно-іоносферну систему. Короткочасний акустичний вплив на атмосферу в ряді експериментів призводив до підсилення природних акустичних збурень на тривалий час (декілька годин). На жаль, повної повторюваності ефектів не було. Для достовірної оцінки ефективності впливу, його залежності від режиму роботи акустичного випромінювача й умов спостереження потрібні додаткові систематичні та комплексні дослідження з залученням якомога більшого числа супутникових і наземних методів дослідження.

1. Емельянов Л. Я., Живолуп Т. Г., Сорока С. А. и др. Диагностика ионосферы после наземных акустических возмущений с использованием методов некогерентного рассеяния и вертикального зондирования // Ukrainian conference on space research: Abstracts (Uzhhorod, Ukraine. 8—12 September 2014). — Kyiv, 2014. — P. 15.
2. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Сверхширокополосные сигналы и процессы: Монография. — Х.: ХНУ им. В. Н. Каразина, 2010. — 576 с.
3. Милованов Ю. Б., Черногор Л. Ф. Численное моделирование эффектов пролета Челябинского космического тела. // Ukrainian conference on space research: Abstracts (Uzhhorod, Ukraine. 8—12 September 2014). — Kyiv, 2014. — P. 36.

4. Пушин В. Ф., Черногор Л. Ф. Спектральный анализ биений опорного сигнала и отраженного от ионосферы ВЧ сигнала 13–14 ноября 2012 г. // Радиофиз. и радиоастрон. — 2014. — 19, № 2. — С. 160–169.
5. Черногор Л. Ф. Крупномасштабные эффекты в геосмосе, вызванные воздействием мощного радиоизлучения // Ukrainian conference on space research: Abstracts (Uzhhorod, Ukraine. 8–12 September 2014). — Kyiv, 2014. — P. 31.
6. Черногор Л. Ф. Тайфун Хайян: самый сильный метеорологический удар по планете. Часть 1 // Наука и техн. — 2014. — № 4 (95). — С. 2–9.
7. Черногор Л. Ф. Тайфун Хайян: самый сильный метеорологический удар по планете. Часть 2 // Наука и техн. — 2014. — № 5 (96). — С. 10–14.
8. Черногор Л. Ф. Физика мощного радиоизлучения в геосмосе: Монография. — Х.: ХНУ им. В. Н. Каразина, 2014. — 544 с.
9. Черногор Л. Ф. Физические эффекты солнечных затмений в атмосфере и геосмосе: Монография. — Х.: ХНУ им. В. Н. Каразина, 2013. — 480 с.
10. Черногор Л. Ф. Эффекты Челябинского метеороида в геомагнитном поле // Геомагнетизм и аэронавигация. — 2014. — 54, № 5. — С. 658–669.
11. Черногор Л. Ф., Барабаш В. В. Ионосферные возмущения, сопровождавшие пролет Челябинского тела // Кинематика и физика небес. тел. — 2014. — 30, № 3. — С. 27–42.
12. Черногор Л. Ф., Домнин И. Ф. Физика геокосмических бурь: Монография. — Х.: ХНУ им. В. Н. Каразина, Институт ионосферы НАН и МОН Украины, 2014. — 408 с.
13. Черногор Л. Ф., Иванов В. А., Кацко С. В. Влияние геокосмических бурь на ионосферные каналы радиолокации, навигации и связи // Радиолокация, навигация, связь: Сб. докл. XX Междунар. научно-техн. конф. (Россия, Воронеж, 15–17 апреля 2014 г.). — Воронеж, 2014. — С. 343–355.
14. Черногор Л. Ф., Иванов В. А., Кацко С. В. Искажения параметров ионосферного радиоканала в период геокосмических бурь // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: Матер. VI Всерос. науч. конф. (Муром, 27–29 мая 2014 г.). — Муром, 2014. — С. 64–69.
15. Черногор Л. Ф., Кацко С. В. Возмущение параметров ионосферного канала распространения радиоволн в течение геокосмических бурь // Вестник Поволжского гос. технолог. ун-та. — 2013. — 3, № 19. — С. 5–17.
16. Черногор Л. Ф., Розуменко В. Т. Результаты исследования физических эффектов в геосмосе в спокойных и возмущенных условиях // Космічні дослідження в Україні 2012–2014: Звіт. — Київ: Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України, 2014. — С. 13–20.
17. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Вариации уровня и спектра геомагнитных пульсаций, сопровождавшие воздействие на ионосферу мощным радиоизлучением стенда «Сура» // Изв. вузов. Радиофизика. — 2014. — 57, № 5. — С. 378–399.
18. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Инфразвуковые колебания в ионосфере при воздействии на нее мощным радиоизлучением стенда «Сура» // Распространение радиоволн: Тр. XXIV Всерос. науч. конф. (Россия, Иркутск, 29 июня — 25 июля 2014 г.). — Иркутск, 2014. — Т. 3. — С. 99–103.
19. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Особенности распространения генерируемых мощным радиоизлучением АГВ с частотами, близкими к собственным частотам атмосферы // Распространение радиоволн: Тр. XXIV Всерос. науч. конф. (Россия, Иркутск, 29 июня — 25 июля 2014 г.). — Иркутск, 2014. — Т. 3. — С. 95–98.
20. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Перемещающиеся ионосферные возмущения, генерируемые периодическим нагревом околоземной плазмы радиоизлучением стенда «Сура» // Распространение радиоволн: Тр. XXIV Всерос. науч. конф. Россия, Иркутск, 29 июня — 25 июля 2014 г.). — Иркутск, 2014. — Т. 3. — С. 104–107.
21. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Барабаш В. В. Аперриодические крупномасштабные возмущения в нижней ионосфере: результаты ионозондовых наблюдений // Изв. вузов. Радиофизика. — 2014. — 57, № 2. — С. 110–128.
22. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Барабаш В. В. Крупномасштабные аперриодические возмущения в нижней ионосфере, вызванные воздействием мощным радиоизлучением: наблюдения на сети ионозондов // Распространение радиоволн: Тр. XXIV Всерос. науч. конф. (Россия, Иркутск, 29 июня — 25 июля 2014 г.). — Иркутск, 2014. — Т. 3. — С. 91–94.
23. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Гармаш К. П. и др. Вариации спектральных характеристик геомагнитных пульсаций, сопровождавшие воздействие на ионосферу мощным радиоизлучением // Распространение радиоволн: Тр. XXIV Всерос. науч. конф. (Россия, Иркутск, 29 июня — 25 июля 2014 г.). — Иркутск, 2014. — Т. 3. — С. 87–90.
24. Chernogor L. F. Geomagnetic field effects of the Chelyabinsk meteoroid // Geomagnetism and Aeronomy. — 2014. — 54, N. 5. — P. 613–624.
25. Chernogor L. F., Barabash V. V. Ionosphere disturbances accompanying the flight of the Chelyabinsk body // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2014. — 30, N. 3. — P. 126–136.

26. Chernogor L. F., Blaunstein N. Radiophysical and geomagnetic effects of rocket burn and launch in the near-the-Earth environment. — Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2013 — 542 p.
27. Chernogor L. F., Frolov V. L. Geomagnetic Pulsation Amplitude and Spectrum Variations Accompanying the Ionospheric Heating by High-Power Radio waves from the Sura Facility // Radiophys. and Quant. Electron. — 2014. — (57, N 5. — P. 340—359.
28. Chernogor L. F., Frolov V. L. Features of the propagation of the AGWs generated by HF high-power transmissions at frequencies around the natural frequencies of the atmosphere // Problems of Geocosmos: Book of Abstrs of 10-th Internat. Conf. (Russia, St. Petersburg, Petrodvorets, October 6—10, 2014). — St. Petersburg, 2014. — P. 138.
29. Chernogor L. F., Frolov V. L. Infrasonic ionospheric oscillation during the Sura heater HF transmissions impact on the ionosphere // Problems of Geocosmos: Book of Abstrs of 10-th Internat. Conf. (Russia, St. Petersburg, Petrodvorets, October 6—10, 2014). — St. Petersburg, 2014. — P. 139.
30. Chernogor L. F., Frolov V. L. Travelling ionospheric disturbances generated by the periodic heating of the near-Earth plasma by the Sura heater HF transmissions // Problems of Geocosmos: Book of Abstrs of 10-th Internat. Conf. (Russia, St. Petersburg, Petrodvorets, October 6 — 10, 2014). — St. Petersburg, 2014. — P. 139.
31. Chernogor L. F., Frolov V. L., Barabash V. V. Large-scale aperiodic disturbances in the D- and E-regions of ionosphere due to the impact of HF high-power radio transmission: data from a network of ionosondes // Problems of Geocosmos: Book of Abstrs of 10-th Internat. Conf. (Russia, St. Petersburg, Petrodvorets, October 6 — 10, 2014). — St. Petersburg, 2014. — P. 140.
32. Chernogor L. F., Frolov V. L., Garmash K. P., et al. Variations in the spectra and the level of geomagnetic pulsations associated with an impact of high-power radio transmissions on the ionosphere // Problems of Geocosmos: Book of Abstrs of 10-th Internat. Conf. (Russia, St. Petersburg, Petrodvorets, October 6 — 10, 2014). — St. Petersburg, 2014. — P. 141.
33. Chernogor L., Rozumenko V. Study of physical effects in the geospace environment under quiet and disturbed conditions // Space Research in Ukraine 2012 — 2014. — Kyiv: Space Research Institute, 2014. — P. 13—20.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2014

К. П. Гармаш, Л. Ф. Черногор

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИЗЕМНУЮ АТМОСФЕРУ

В 2006 г. проведено исследование влияния акустического излучения на атмосферно-ионосферную систему. Разработаны новые подходы к системному спектральному и статистическому анализу экспериментальных данных. Обнаружены периодические и аperiodические вариации статистических характеристик данных дистанционного зондирования, которые могут быть связаны с искусственными акустическими возмущениями. Для оценки эффективности воздействия акустического излучения, его зависимости от режима работы акустического излучателя и условий наблюдения нужны дополнительные систематические и комплексные исследования с привлечением как можно большего числа спутниковых и наземных методов исследования.

Ключевые слова: динамические процессы, ионосфера, действие акустического излучения, системный спектральный анализ, радиофизические методы.

К. P. Garmash, L. F. Chernogor

V. N. Karazin Kharkiv National University

THE RESULTS OF OBSERVATIONS OF DYNAMIC PROCESSES IN THE IONOSPHERE THAT ACCOMPANY THE EFFECT OF ACOUSTIC RADIATION ON THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

The effect of acoustic radiation on the atmosphere-ionosphere system was investigated in 2006. New approaches to the system spectral and statistical analysis of the experimental data are developed. The periodic and aperiodic variations of the statistical characteristics of remote sensing data, which may be associated with artificial acoustic disturbances, are found. For further estimation of the efficiency of acoustic influence and its dependence on an operating mode of an acoustic generator and conditions of observations, the additional systematic and comprehensive studies involving the largest possible number of space-born and ground-based methods are necessary.

Key words: dynamic processes, ionosphere, acoustic radiation action, system spectral analysis, radiophysical techniques.