

ФЛУКТУАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОПРОВОЖДАВШИЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ИОНОСФЕРУ МОЩНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Давиденко, Л.Ф. Черногор

GEOMAGNETIC FIELD FLUCTUATIONS AFTER THE ACTION OF HIGH POWER PERIODICAL RADIO EMISSION ON THE IONOSPHERE

A.V. Davidenko, L.F. Chernogor

Обнаружено увеличение амплитуды колебаний, связанных с включением/выключением нагревного стэнда. В основном реакции H - и D -компонент запаздывали на 10–15 мин. Аперриодический эффект связан с ударным воздействием на магнитосферу, в результате чего возникает высыпание частиц из магнитосферы в ионосферу.

An increase in the amplitude of variations associated with the heater turn-on/turn-off was detected. In most cases, the responses of the H - and D -components were behind the heater turn-on by 10–15 minutes. The aperiodic effect is caused by a shock impact on the magnetosphere, which results in particle precipitation from the magnetosphere into the ionosphere.

Введение

Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска крупномасштабных (~1000 км) [Черногор, 1989; Гармаш, Черногор, 1998; Черногор, 2003; Chernogor, Rozumenko, 2008; Черногор 2008; Chernogor, 2011] возмущений в геомагнитном поле, которые могут быть вызваны мощным радиоизлучением. До настоящего времени в основном исследовались эффекты, возникающие в пределах диаграммы направленности антенны [Gurevich, 1978; Митяков и др., 1989].

Цель работы – поиск возможной реакции геомагнитного поля в диапазоне периодов 1–1000 с на включение/выключение мощного радиоизлучения нагревного стэнда.

Средства и методы

Для возмущения ионосферной плазмы использовался нагревный стэнд «Сура». Его основные параметры: эффективная мощность приближалась к 150 МВт, частота изменялась от 4785 до 7815 кГц. Для диагностики использовался высокочувствительный магнитометр, размещенный в обсерватории Харьковского национального университета (ХНУ) имени В.Н. Каразина (49.65° N, 36.9° E). Его чувствительность определяется уровнем шумов и ЭДС индукционного датчика и составляет 0.5–500 пТл, диапазон периодов 1–1000 с. Расстояние от нагревного стэнда до магнитометра составляет 960 км.

Для наблюдения за возмущениями в ионосфере, вызванными воздействием мощного радиоизлучения, использовался цифровой ионозонд DPS-4, расположенный вблизи г. Москва (55.5° N, 37.3° E). Частота съема ионограмм – 1 ионограмма каждые 15 мин (ионограммы представлены на сайте <http://ulcar.uml.edu/DIDBase>). Расстояние от стэнда «Сура» до ионозонда составляет около 560 км. Погрешность отсчета частоты зондирующей радиоволны – не хуже 50 кГц.

Условия космической погоды

С 28 по 30 августа 2012 г. условия космической погоды были спокойными. Параметры солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и геомагнитного поля слабо флуктуировали вокруг своих невозмущенных значений.

Результаты наблюдений и обсуждение

28 августа 2012 г. Примерно через 10 мин после включения нагревного стэнда в режиме ± 30 мин амплитуда D -компоненты увеличилась от 1.5 до 1.8 нТл. В возмущениях выделялся квазипериод 15 мин. Следующие, значительно большие, всплески отмечались с 07:25 до 07:45, а также с 08:15 до 08:45 UT. Максимальное значение амплитуды достигало 2 нТл (рис. 1).

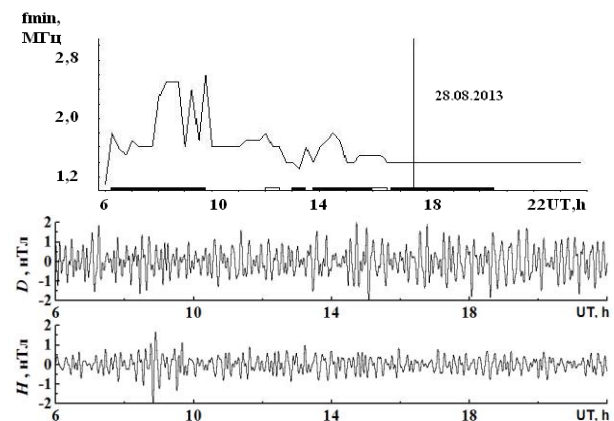


Рис. 1. Временные вариации f_{\min} , H - и D -компонент геомагнитного поля 28 августа 2012 г. в диапазоне периодов 300–1000 с. Вертикальной линией показан момент захода Солнца на уровне поверхности Земли. На оси времени показаны интервалы работы нагревного стэнда [Черногор, 2010].

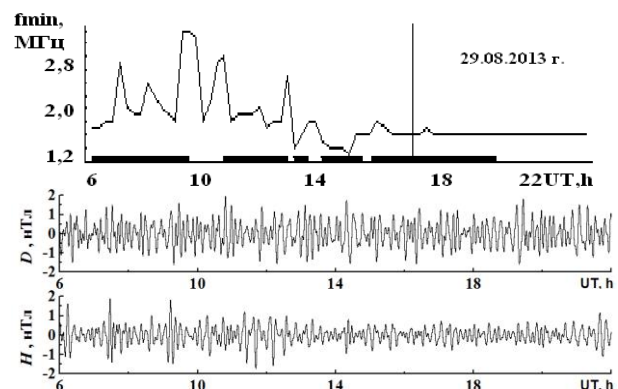


Рис. 2. Временные вариации f_{\min} , H - и D -компонент геомагнитного поля 29 августа 2012 г. в диапазоне периодов 300–1000 с.

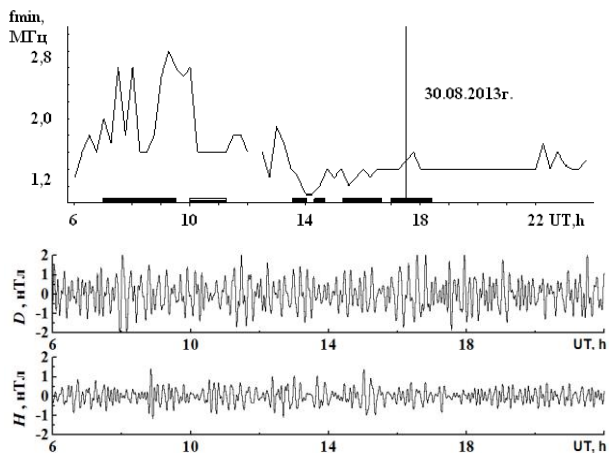


Рис. 3. Временные вариации f_{\min} , H - и D -компонент геомагнитного поля 30 августа 2013 г. в диапазоне периодов 300–1000 с.

29 августа 2012 г. Первая серия экспериментов продолжалась с 06:00 до 09:30. Стенд работал в режиме ± 30 мин. Всплески уровня геомагнитного поля отмечались с 07:20 до 07:35 и в 09:30 (рис. 2) и сопровождалась заметным ростом f_{\min} от 2 до 3 МГц. Им соответствовали времена запаздывания 15 мин после включения (выключения) мощного радиоизлучения. Нагрев ионосферы привел к увеличению амплитуды D -компоненты от 1.4 до 1.8 нТл. В интервале времени с 11:30 до 11:55 наблюдалось незначительное увеличение H -компоненты от 0.5 до 1 нТл. Следующий, не очень заметный рост до 1.3 нТл отмечался в интервале времени с 19:10 до 19:20. Максимальное значение амплитуды достигает 1.5 нТл.

30 августа 2012 г. С 07:00 до 09:30, стенд «Сура» работал в режиме ± 30 мин. Первый значительный всплеск от 1.4 до 1.9 нТл наблюдался с 08:00 до 08:10, т. е. после второго включения стенда (рис. 3). Частота f_{\min} изменялась от 2 до 2.8 МГц. Период был близок 60 мин, т. е. периоду циклов нагрева. Максимальное значение амплитуды достигало 2 нТл. Также существенный всплеск регистрировался с 17:50 до 18:05.

Таким образом, в настоящей работе флуктуации геомагнитного поля, сопровождавшие воздействие на ионосферу мощного радиоизлучения, наблюдались более уверенно, чем в работе [Chernogor et al., 2010]. Скорее всего, они были вызваны воздействием мощного радиоизлучения.

Выводы

1. Обнаружено увеличение амплитуды геомагнитных флуктуаций до 2 нТл, последовавшее за воздействием на ионосферную плазму радиоизлучения мощного стенда. Реакции H - и D -компонент на воздействия радиоизлучения запаздывали в основном на 1–15 мин по отношению к моменту включения стенда.

2. В ряде случаев всплески возникали как при включении, так и при выключении мощного стенда. Наибольшие увеличения (до 2 нТл) возникали при работе стенда в непрерывном режиме или длинными (30 мин) импульсами на низкой частоте (4785 кГц).

3. Чаще всего, продолжительность всплесков была меньше длительности серии циклов включения/выключение.

4. Наблюдаемые возмущения, имеющие времена запаздывания 10–15 мин, скорее всего, объясняются ударным воздействием на систему земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера длительных импульсов радиоизлучения и взаимодействием подсистем в этой системе, приводящим к высыпанию высокоэнергетических (~ 100 кэВ) электронов из магнитосферы.

5. Обнаружены геомагнитные возмущения, имеющие времена запаздывания 30–40 мин. Эти возмущения могут быть вызваны генерацией АГВ мощным радиоизлучением, модулирующих концентрацию электронов и индукцию геомагнитного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гармаш К.П., Черногор Л.Ф. Эффекты в околоземной плазме, стимулированные воздействием мощного радиоизлучения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 6. С. 17–40.
- Митяков Н.А., Грач С.М., Митяков С.Н. Возмущение ионосферы мощными радиоволнами // Итоги науки и техники. Сер. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. 1989. Т. 9. С. 1–140.
- Черногор Л.Ф. Статистические характеристики крупномасштабных возмущений в ионосфере, инициируемых воздействием мощного нестационарного излучения // Геомагнетизм и аэронавигация. 1989. Т. 29, № 3. С. 513–515.
- Черногор Л.Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия. 2003. Т. 8, № 1. С. 59–106.
- Черногор Л.Ф. О нелинейности в природе и науке: Монография. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина. 2008. 528 с.
- Черногор Л.Ф. Крупномасштабные возмущения в нижней ионосфере, вызванные воздействием мощного нестационарного радиоизлучения // Радиофизика и радиоастрономия. 2013. Т. 18, № 1. С. 49–64.
- Chernogor L.F. The Earth–atmosphere–geospace system: Main properties and processes // Int. J. Remote Sens. 2011. V. 32, N 11. P. 3199–3218.
- Chernogor L.F., Rozumenko V.T. Earth–atmosphere–geospace as an open nonlinear dynamical system // Radio Phys. Radio Astron. 2008. V. 13, N 2. P. 120–137.
- Chernogor L.F., Vertogradov G.G., Uryadov V.P. et al. Consistent quasi-periodic variations of the geomagnetic pulsation level and doppler frequency shift of decametric radio waves aspect-scattered by artificial field-aligned ionospheric irregularities // Radiophys. Quantum Electronics. 2010. V. 53, N 12. P. 688–705.
- Gurevich A.V. Nonlinear Phenomena in the Ionosphere. – New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1978. 465 p.

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина