

**М.В. ЛЯШЕНКО**, канд. физ.-мат. наук, учёный секретарь, Институт ионосферы, Харьков

## **ЗОНАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ И ПЕРЕНОС ПЛАЗМЫ ЗА СЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДРЕЙФА ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 5 – 6 АВГУСТА 2011 Г.**

Представлены результаты моделирования вариаций зонального электрического поля и вертикальной компоненты скорости переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа во время магнитной бури 5 – 6 августа 2011 г. Подтверждено, что во время сильных геомагнитных возмущений имеет место проникновение электрических полей магнитосферного происхождения в среднеширотную ионосферу.

**Ключевые слова:** ионосфера, геокосмическая буря, зональное электрическое поле, дрейф плазмы.

**Введение.** Хорошо известно, что в магнитоспокойных условиях вклад магнитосферных источников в электрические поля и токи в средних и низких широтах довольно мал. Как показали приведенные в работах [1 – 4] результаты экспериментальных исследований и теоретических расчетов, величина электрического поля в среднеширотной ионосфере в отсутствие геомагнитных возмущений не превышает единиц мВ/м. На высотах максимума области F2 ионосферы электромагнитный дрейф плазмы, вызванный данными полями, мал, по сравнению с процессами переноса заряженных частиц за счет амбиполярной диффузии и нейтральных ветров. Во время сильных геомагнитных возмущений имеет место проникновение электрических полей на высоты среднеширотной ионосферы и, вследствие этого, усиление скорости движения плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях. Следует отметить, что перенос плазмы за счет электромагнитного дрейфа в период геомагнитных бурь оказывает существенное влияние на высотное распределение параметров среднеширотной ионосферы.

Целью данной работы является расчет параметров зонального электрического поля в ионосфере над Харьковом, а также моделирование вариаций скорости переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа во время магнитной бури 5 – 6 августа 2011 г.

В работе [5] представлены результаты исследований вариаций основных параметров геокосмоса во время магнитной бури 5 – 6 августа 2011 г. по данным радара НР в Харькове.

**Краткие сведения о магнитной буре 5 – 6 августа 2011 г.** Сверхсильная магнитная буря (МБ) началась 5 августа 2011 г. в 19:03 UT. Индекс геомагнитной активности  $K_p$  в главную фазу магнитной бури достигал величины 8-,  $D_{st} = -113$  нТл. Скорость солнечного ветра (СВ) в течение главной фазы варьировалась в пределах 570 – 620 км/с, температура

частиц СВ достигала величины  $6.4 \cdot 10^5$  К, концентрация частиц СВ  $N_{sw} \approx 1.9 \cdot 10^7$  м<sup>-3</sup>. Значение  $B_z$ -компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) составляло  $-(15 - 18)$  нТл, значение модуля магнитной индукции ММП равнялось  $25 - 27$  нТл. Индекс авроральной активности  $AE_{max} \approx 1740$  нТл. Величина функции Акасофу  $\varepsilon \approx 37$  Дж/с.

**Основные теоретические соотношения.** Как известно, в отсутствие возмущений эффектами электрических полей в средних широтах можно пренебречь. Однако во время сильных геомагнитных бурь имеет место усиление электрических полей вследствие магнитосферной конвекции, что существенно влияет на динамику среднеширотной ионосферы. В возмущенных условиях в средних широтах и в пренебрежении эффектами склонения геомагнитного поля основной вклад в вертикальный перенос плазмы вносит зональное электрическое поле. Электрическое поле, направленное на восток, вызывает дрейф плазмы вверх, а поле, направленное на запад – перенос ионосферной плазмы вниз. Оценим величину зональной компоненты электрического поля, а также вклад вертикальной составляющей движения плазмы за счет электромагнитного дрейфа в динамический режим ионосферы во время МБ 5 – 6 августа 2011 г.

Как показали расчеты, представленные в работе [6], имеет место корреляция временных вариаций  $AE$ -индекса и значений зональной компоненты электрического поля  $E_y$ . В данном случае, электрические поля магнитосферного происхождения и геомагнитный разогрев плазмы являются основными источниками динамических процессов в ионосфере в средних широтах во время сильных геомагнитных возмущений.

На рис. 1 представлены вариации  $AE$ -индекса в период с 3 по 9 августа 2011 г.

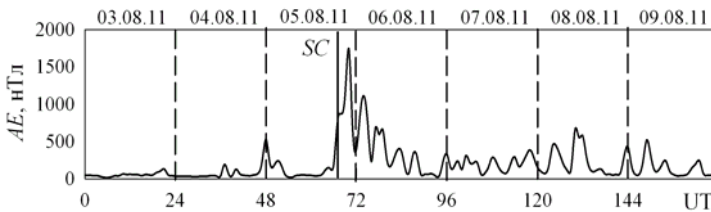


Рис. 1 – Временные вариации индекса авроральной активности  $AE$  (WDC Kyoto) в период с 3 по 9 августа 2011 г. Вертикальной линией отмечено внезапное начало магнитной бури (SC).

Для расчета величины  $E_y$ , воспользуемся эмпирическим соотношением между величиной электрического поля и индексом авроральной активности, приведенным в [6]:

$$E_y = (0.55 - 0.01AE) \cdot 10^{-3},$$

где  $AE$  – индекс авроральной активности (в нТл).

На рис. 2 приведены временные вариации зональной компоненты электрического поля в среднеширотной ионосфере в период с 3 по 9 августа 2011 г. на высоте 300 км.

Выражение для расчета скорости переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа в пренебрежении эффектами склонения имеет вид [7]

$$v_{EB} \approx (E_y/B) \cos I,$$

где  $B$  – модуль геомагнитного поля,  $I$  – наклонение геомагнитного поля.

На рис. 3 представлены результаты расчета временных вариаций вертикальной составляющей скорости движения плазмы за счет электромагнитного дрейфа во время магнитной бури и спокойных условиях на высоте 300 км.

**Результаты моделирования.** Как показали расчеты, в главную фазу МБ величина  $E_y$  достигала значений  $-17$  мВ/м. Тогда как в спокойных условиях величина зональной компоненты электрического поля не превышала  $-5$  мВ/м.

В главную фазу МБ величина скорости  $v_{EB}$  достигала значений  $430$  м/с, тогда как в магнитоспокойных условиях, перенос плазмы за счет электромагнитного дрейфа практически отсутствовал.

В целом, полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными другими авторами [1, 3, 6].

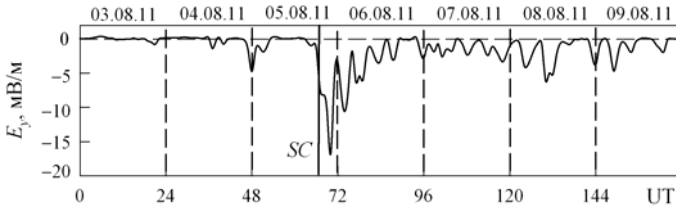


Рис. 2 – Временные вариации величины зонального электрического поля  $E_y$  (расчёт) в период с 3 по 9 августа 2011 г.

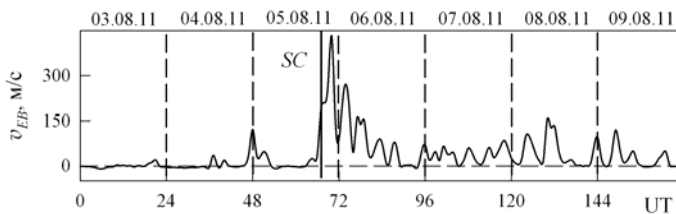


Рис. 3 – Временные вариации вертикальной составляющей скорости переноса частиц за счет электромагнитного дрейфа  $v_{EB}$  (расчет) в период с 3 по 9 августа 2011 г.

**Выводы.** 1) Как показали расчеты, в главную фазу МБ величина зональной компоненты электрического поля достигла величины  $-17$  мВ/м, тогда как в спокойных условиях величина  $E_y$  не превышала единиц мВ/м.

2) Величина вертикальной составляющей скорости движения плазмы за счет электромагнитного дрейфа в главную фазу магнитной бури достигала значений  $430$  м/с, тогда как в невозмущенных условиях перенос плазмы за счет электромагнитного дрейфа был незначительным.

3) Оценка вклада скорости электромагнитного дрейфа в общую скорость переноса плазмы во время сильных геомагнитных возмущений позволит более точно описывать поведение нейтральных ветров в течение магнитных бурь.

**Список литературы:** 1. *Blanc M., Amayenc P., Bauer P., Taieb C.* Electric field induced from the French incoherent scatter facilities // *J. Geophys. Res.* – 1977. – Vol. 82, No. 1. – P. 87-97. 2. *Blanc M., Amayenc P.* Seasonal variations of the ionospheric  $E \times B$  drift above Saint-Santin on quiete days // *J. Geophys. Res.* – 1979. – Vol. 84, No. A6. – P. 2691-2704. 3. *Ogawa T., Tanaka Y., Huzita A., Yasuhara M.* Horizontal electric fields in the middle latitude // *Planet. Space Sci.* – 1975. – Vol. 23. – P. 825-830. 4. *Richmond A.D., Blanc M., Emery B.A., Wand R.H., Fejer B.G., Woodman R.F., Ganguly S., Amayenc P., Behnke R.A., Calderon C., Evans J.V.* An empirical model of quite-day ionospheric electric fields at middle and low latitudes // *J. Geophys. Res.* – 1980. – Vol. 85, No. A9. – P. 4658-4664. 5. *Домнин И.Ф., Емельянов Л.Я., Ляшенко М.В., Харитонова С.В., Черногор Л.Ф.* Ионосферные процессы, сопровождавшие геокосмическую бурю 5–6 августа 2011 г. // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 4. – С. 320 – 332. 6. *Сергеевко Н.П.* Оценки электрических полей во время ионосферных возмущений. – В кн.: *Ионосферное прогнозирование.* – М.: Наука, 1982. – С. 91–96. 7. *Брионелли Б.Е., Намгаладзе А.А.* Физика ионосферы. – М.: Наука, 1987. – 528 с.

*Поступила в редколлегию 19.11.2013*

УДК 550.388

**Зональное электрическое поле и перенос плазмы за счет электромагнитного дрейфа во время магнитной бури 5 – 6 августа 2011 г. / М.В. Ляшенко // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Радиофізика та іоносфера. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2013. – № 33 (1066). – С. 89-92. Бібліогр.: 7 назв.**

Представлено результати моделювання варіацій зонального електричного поля та вертикальної компоненти швидкості переносу плазми за рахунок електромагнітного дрейфу під час магнітної бури 5 – 6 серпня 2011 р. Підтверджено, що під час сильних геомагнітних збурень має місце проникнення електричних полів магнітосферного походження у середньоширотну іоносферу.

**Ключові слова:** іоносфера, геокосмічна буря, зональне електричне поле, дрейф плазми.

The modeling results of the zonal electric field and the vertical component of the plasma transfer velocity due to electromagnetic drift during August 5–6, 2011 magnetic storm were presented. Confirmed that has a penetration of electric fields from magnetospheric origin in the mid-latitude ionosphere during strong geomagnetic disturbances.

**Keywords:** ionosphere, geospace storm, zonal electric field, plasma drift.