

ЭФФЕКТЫ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДНЕВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ НА ВЫСОТАХ СЛОЯ F1 (СТ. НОРИЛЬСК)

О.Е. Яковлева, †Г.П. Кушнаренко, Г.М. Кузнецова

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
yakovleva@iszf.irk.ru

EFFECTS OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES IN THE DAYTIME ELECTRON DENSITY AT HEIGHTS OF THE F1 LAYER (NORILSK STATION)

O.E. Yakovleva, †G.P. Kushnarenko, G.M. Kuznetsova

Institute Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
yakovleva@iszf.irk.ru

Аннотация. Исследованы изменения электронной плотности N_e на высотах слоя F1 во время геомагнитных бурь на ионосферной станции Норильск (69.4° N, 88.1° E). Геомагнитные бури разной интенсивности, а также спокойные дни для каждого события были выбраны для зимних и летних сезонов 2003 г., характеризующегося большим количеством возмущенных дней. Анализ электронной плотности во время возмущений проведен для дневного периода на высотах 150–190 км. Обнаружены различия в воздействии геомагнитных бурь на N_e в разные сезоны на этих высотах. Наблюдается незначительное изменение N_e во время летних геомагнитных бурь. С другой стороны, имеет место интересный эффект, указывающий на летне-зимнюю асимметрию геомагнитных бурь на этих высотах в 2003 г.: зимой заметно существенное влияние возмущений на высоте 190 км и в меньшей степени — на нижних высотах.

Ключевые слова: электронная концентрация, зимне-летняя асимметрия, геомагнитная активность.

Abstract. We studied variations in electron density N_e at the ionospheric F1-layer heights during geomagnetic storms at the Norilsk ionospheric station (69.4° N, 88.1° E). The geomagnetic storms of varying intensity and quiet days for each event were selected for the winter and summer seasons of 2003. We analyzed electron density in the daytime during geomagnetic storms at altitudes of 150–190 km. Different effects of geomagnetic storms on N_e at these altitudes in different seasons were found. There is a slight change in the electron density during summer geomagnetic storms. On the other hand, there is an interesting effect in winter, indicating the summer-winter asymmetry of geomagnetic storms at these altitudes in 2003: in winter, there is a significant influence of disturbances on N_e at an altitude of 190 km and a less significant influence at lower altitudes.

Keywords: coronal mass ejections, coronal holes, high-energy magnetospheric electrons.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что основной причиной изменений электронной плотности N_e во время геомагнитных возмущений являются изменения нейтрального состава термосферы. Каждая ионосферная область имеет различный нейтральный состав и свои собственные уникальные структурные особенности, и поэтому мы можем ожидать различный ответ каждой области ионосферы на вызванные штормом возмущения.

Многочисленные публикации по влиянию геомагнитных штормов на ионосферу [Buresova, Lastovicka, 2003; Buresova et al., 2002; Кушнаренко и др., 2013] не дают достаточно ясного понимания некоторых механизмов, объясняющих реакцию ионизации во время геомагнитных бурь на высотах F1-слоя. Наша работа связана с анализом дневной электронной плотности в интервале 150–190 км. Этот диапазон высот — часть нижней ионосферы, где при некоторых условиях образуется F1-слой как отдельный слой. Во время достаточно сильных геомагнитных бурь F1-слой развивается даже зимой [Полах и др., 2019].

Целью этого исследования является расширение знаний об ответе высокоширотной ионосферной F1-области на геомагнитные возмущения. Данная работа является продолжением наших предыдущих работ, например, [Кушнаренко и др., 2018].

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа выбран 2003 г., в течение которого наблюдалось много возмущенных дней как в летний

сезон (май—август), так и в зимние месяцы [Панасюк и др., 2004]. Использовались значения N_e , полученные по измерениям с помощью Норильского дигизонда (69.4° N, 88.1° E) в дневное время в интервале высот 150–190 км. В табл. 1 и 2 перечислены геомагнитные события, проанализированные в этой работе, и соответствующие им геомагнитные индексы: A_p (среднедневные) и Dst [<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>]. Спокойные дни с $A_p < 10$ были выбраны для сравнения с каждой бурей. Поскольку сильные геомагнитные бури вблизи равноденствий происходят приблизительно в пять раз чаще, чем вблизи зимнего или летнего солнцестояний, число летних и зимних событий в нашем анализе меньше и они меньшей интенсивности по сравнению с весенними и осенними бурями [Кушнаренко и др., 2018].

ЭЛЕКТРОННАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВО ВРЕМЯ ЛЕТНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В летний период 2003 г. геомагнитные возмущения по силе воздействия относятся к слабым и умеренным с $A_p \sim 20 \div 60$ (см. табл. 2), но встречается и несколько сильных бурь. Дневные вариации N_e в течение всех дней максимального развития возмущений довольно похожи. В электронной плотности на высотах области F1 отсутствует заметный эффект летних геомагнитных штормов даже во время сильных возмущений. Так, сильная буря 29.05 ($A_p = 108$), умеренная 11.07 ($A_p = 52$) и слабая 03.06 ($A_p = 29$) почти не различаются по своему воздействию

Таблица 1

Анализируемые геомагнитные бури, наблюдавшиеся зимой 2003 г.

Спокойные дни	День начала бури	Индексы (A_p, Dst)	Время максимума бури (UT)
(14–16).01	25.01	$A_p=28, Dst=-46$	25.01 в 24:00
(14–16).01	20.01	$A_p=39, Dst=-33$	20.01 в 05:00
(14–16).01	30.01	$A_p=48, Dst=-66$	30.01 в 01:00
24.02	02.02	$A_p=52, Dst=-59$	02.02 в 16:00
24.02	04.02	$A_p=31, Dst=-54$	04.02 в 10:00
25.02	27.02	$A_p=30, Dst=-60$	27.02 в 21:00
27.11	11.11	$A_p=61, Dst=-50$	11.11 в 14:00
27.11	13.11	$A_p=52, Dst=-36$	14.11 в 07:00
27.11	20.11	$A_p=150, Dst=-156$	21.11 в 07:00
17.12	05.12	$A_p=39, Dst=-48$	06.12 в 04:00
18.12	10.12	$A_p=41, Dst=-50$	10.12 в 12:00
19.12	21.12	$A_p=24, Dst=-22$	21.12 в 17:00

Таблица 2

Анализируемые геомагнитные бури, наблюдавшиеся в летний сезон 2003 г.

Спокойные дни	День начала бури	Индексы (A_p, Dst)	Время максимума бури (UT)
17.05	29.05	$A_p=108, Dst=-133$	30.05 в 02:00
17.05	31.05	$A_p=20, Dst=-46$	31.05 в 05:00
05.06	01.06	$A_p=22, Dst=-40$	02.06 в 04:00
05.06	02.06	$A_p=38, Dst=-91$	02.06 в 09:00
05.06	03.06	$A_p=29, Dst=-38$	03.06 в 01:00
20.06	11.07	$A_p=52, Dst=-55$	11.07 в 11:00
09.07	12.07	$A_p=52, Dst=-105$	12.07 в 06:00
09.07	16.07	$A_p=48, Dst=-70$	16.07 в 14:00
09.07	08.08	$A_p=33, Dst=-40$	08.08 в 09:00
05.08	12.08	$A_p=39, Dst=-20$	12.08 в 09:00
05.08	18.08	$A_p=108, Dst=-119$	18.08 в 09:00
05.08	21.08	$A_p=39, Dst=-62$	21.08 в 24:00

на ионизацию на высоте 190 км (см. рис. 1, лето): в возмущенные дни значения N_e меняются, как и в спокойные дни, от 2.5×10^5 до 3.5×10^5 см⁻². Следует отметить сильное возмущение 18.08. ($A_p=108$): N_e значительно уменьшается на 190 км до 2.5×10^5 (спокойные значения — 3.6×10^5), на нижних высотах величины N_e также заметно меньше (рис. 2). Эта буря подтверждает вывод [Кушнаренко и др., 2018] о более глубоком проникновении эффектов сильных геомагнитных возмущений на высоты слоя F1.

На рис. 2 (верхние панели) показаны вариации N_e на трех высотах в спокойный и возмущенный летние дни: они слабые или отсутствуют вовсе. Летние возмущения почти не влияют или влияют слабо на ионизацию на высотах слоя F1. Воздействие других анализируемых летних бурь на N_e аналогично описанному выше.

ЭЛЕКТРОННАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В ПЕРИОДЫ ЗИМНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Зимние возмущения можно условно разделить на две группы (см. табл. 1): бури в начале года (январь—февраль) и в конце (ноябрь—декабрь). Первый период почти сплошь характеризуется наличием умеренных и довольно сильных геомагнитных возмущений. Сложно найти для сравнения спокойные дни. В зимней половине года эффект, обусловленный геомагнитными возмущениями, значительно проявляет

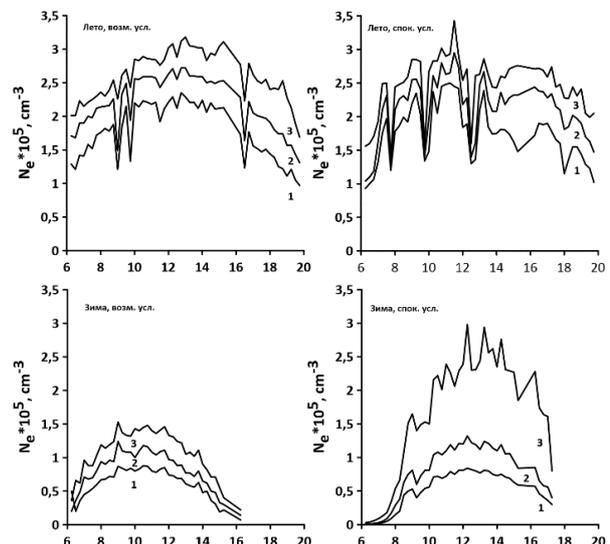


Рис. 1. Вариации N_e на высотах 150 км (1), 170 км (2), 190 км (3) в летний (вверху) и зимний (внизу) сезоны в возмущенные (левые панели) и в спокойные дни (правые панели). Для лета в качестве возмущенного выбран 152-й, в качестве спокойного 190-й день года, для зимы — 58-й и 55-й дни соответственно

себя в N_e на высоте 190 км и ниже. Высота 190 км является показателем воздействия геомагнитных бурь на N_e . Здесь нагляднее всего проявляются изменения электронной концентрации в возмущение.

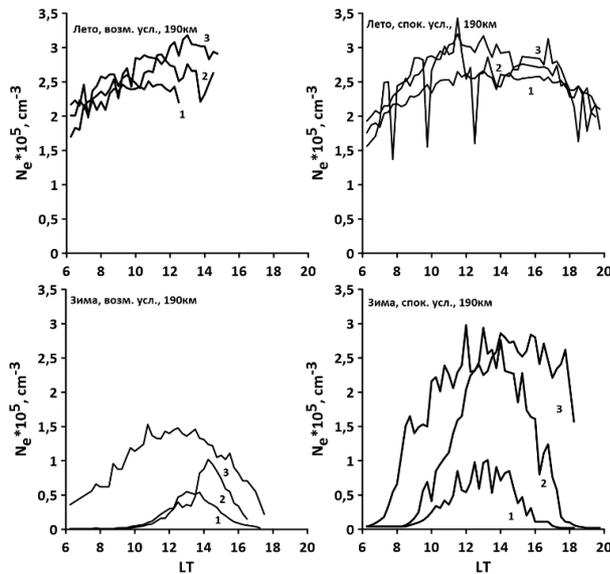


Рис. 2. Вариации N_e на высоте 190 км в летний (вверху) и зимний (внизу) сезоны: левые панели — в возмущенные дни (лето: 1 — 197, 2 — 152, 3 — 192; зима: 1 — 58, 2 — 355, 3 — 339), правые панели — в спокойные дни (лето: 1 — 171, 2 — 190, 3 — 217; зима: 1 — 55, 2 — 15, 3 — 56)

На рис. 2 (нижние панели) показано дневное поведение N_e на высоте 190 км для нескольких зимних бурь в начале и в конце 2003 г. в сравнении со спокойными днями. В конце года (ноябрь—декабрь) дневная вариация N_e на высоте 190 км аналогична изменениям в начале года. Существует большой разброс в значениях N_e для бурь с разной интенсивностью, причем это разделение не зависит от величины индекса A_p .

Значительное изменение N_e на трех высотах в возмущенный день 05.121. (339-й день года) показано на рис. 2 (левая нижняя панель): на 190 км в околополуденный период N_e уменьшаются на 50 % — до значений 1.5×10^5 от 3×10^5 см⁻² в спокойный день. На нижних высотах влияние возмущения также заметно, но в меньшей степени. Анализ изменений N_e в другие бури показал, что эффекты зимних геомагнитных событий на всех высотах различаются по силе воздействия, даже при одинаковых характеристиках A_p и Dst : они бывают и более значительными, и более слабыми.

Таким образом, зимнее влияние возмущений заключается в уменьшении электронной концентрации во время главной фазы магнитной бури в основном на высоте 190 км и в меньшей степени на нижних высотах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные результаты указывают на летне-зимнюю асимметрию геомагнитных возмущений на высотах слоя F1 на высокоширотной ст. Норильск в 2003 г.:

- Во время летней половины года влияние геомагнитных штормов на электронную плотность незначительно на всех рассматриваемых высотах.
- Зимний эффект состоит в существенном уменьшении электронной плотности во время главной фазы магнитной бури на всех высотах. Все зим-

ние возмущения сильнее всего воздействуют на N_e на высоте 190 км, и в меньшей степени — на нижних высотах.

- На высотах слоя F1 во все сезоны для всех рассмотренных возмущений эффект в электронной плотности всегда состоит в уменьшении значений N_e .

Работа выполнена в рамках базового финансирования проекта «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Полех Н.М., Ратовский К.Г. Эффекты геомагнитных бурь на высотах ионосферного слоя F1 в регионе Иркутска в период спада и минимума солнечной активности. *Солнечно-земная физика*. 2013. Вып. 22. С. 31–34.

Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Эффекты геомагнитных бурь на высотах слоя F1 в разные периоды солнечной активности (ст. Иркутск). *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2018. Т. 58, № 2. С. 211–216. DOI: [10.7868/S0016794018020062](https://doi.org/10.7868/S0016794018020062).

Панасюк М.И. и др. Магнитные бури в октябре 2003 г. Коллаборация «Солнечные экстремальные события 2003 года» (СЭС-2003). *Космические исследования*. 2004. Т. 42, № 5. С. 509–554.

Полех Н.М., Черниговская М.А., Яковлева О.Е. К вопросу о формировании слоя F1 во время внезапных стратосферных потеплений. *Солнечно-земная физика*. 2019. Т. 5, № 3. С. 140–152. DOI: [10.12737/szf-53201914](https://doi.org/10.12737/szf-53201914).

Buresova D., Lastovicka J. Changes in the F1 region electron density during geomagnetic storms at low solar activity. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2001. Vol. 63. P. 537–544.

Buresova D., Lastovicka J., Altadill D., Miro G. Daytime electron density at the F1-region in Europe during geomagnetic storms. *Ann. Geophys.* 2002. Vol. 20. P. 1007–1021.

URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp> (дата обращения 30 мая 2022 г.).

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (дата обращения 30 мая 2022 г.).