

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ВОЗМУЩЕННОСТИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В СРЕДНЕШИРОТНОМ И АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНАХ ПО ДАННЫМ GPS

¹Н.П. Перевалова, ¹И.К. Едемский, ^{1,2}О.В. Тимофеева,
^{1,2}Д.Д. Каташевцева, ¹А.С. Полякова

STUDY OF THE LEVEL OF TOTAL ELECTRON CONTENT DISTURBANCE IN THE MIDDLE-LATITUDE AND ARCTIC REGIONS FROM GPS DATA

¹N.P. Perevalova, ¹I.K. Edemsky, ^{1,2}O.V. Timofeyeva,
^{1,2}D.D. Katashevceva, ¹A.S. Polyakova

В работе проведено сравнение уровня возмущенности полного электронного содержания (ПЭС) в среднеширотных и высокоширотных областях ионосферы в 2013 г. с поведением геомагнитных индексов AE , D_{st} , K_p . Для характеристики уровня возмущенности ПЭС использовался специальный индекс WTEC, рассчитанный по данным станций ORDA (Усолье-Сибирское), MOND (Монды), NRIL (Норильск). Выявлено, что в высоких широтах поведение WTEC хорошо коррелирует с вариациями AE и менее с поведением индекса D_{st} . В средних широтах поведение WTEC хорошо согласуется с вариациями D_{st} . Минимальный уровень возмущенности ПЭС не зависит от сезона в арктическом регионе. В средних широтах значение минимального уровня возмущенности летом выше, чем зимой.

We have compared the level of disturbance of the total electron content (TEC) in the ionospheric middle-latitude and high-latitude regions in 2013 with the behavior of AE , D_{st} , K_p geomagnetic indexes. The level of TEC disturbance has been characterized by a special index WTEC calculated, using data of three GPS stations, namely, ORDA (Usolye-Sibirskoye), MOND (Mondy), NRIL (Norilsk). We have revealed that at high latitudes the WTEC behavior correlates well with the AE variations. Correlation between WTEC and D_{st} behavior is much less. At the middle latitudes, the behavior of WTEC agrees well with the D_{st} variations. The minimum level of TEC disturbance doesn't depend on the season in the Arctic region. At the middle latitudes, the minimum level value is higher in summer than in winter.

Введение

Одним из эффективных методов изучения ионосферы являются современные глобальные навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС с развитыми сетями наземных приемников. За счет пространственного распределения лучей приемник-спутник в течение суток, даже одна станция GPS/ГЛОНАСС обеспечивает контроль за вариациями полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере в радиусе 500–1000 км. Однако серьезным ограничением GPS-технологии является малая длительность непрерывного ряда ПЭС, ограниченная временем наблюдения одного спутника (около 2–6 ч). Эта проблема затрудняет изучение долговременных связей вариаций ПЭС с процессами в магнитосфере Земли и воздействиями со стороны солнечного ветра. Для решения этой проблемы в ИСЗФ СО РАН разработан метод, позволяющий получить многодневные непрерывные ряды усредненной интенсивности вариаций ПЭС, отфильтрованных в выбранном диапазоне периодов, по данным измерений отдельной GPS-станции (индекс возмущенности WTEC) [Berngardt et al., 2014a, b]. В настоящей работе данный метод применен для сравнения поведения ПЭС в средне- и высокоширотных областях с изменениями индексов геомагнитной активности.

1. Данные измерений

В работе использовались ряды вариаций ПЭС за 2013 г., полученные по данным среднеширотных станций ORDA, MOND, входящих в состав Сибир-

ской сети приемников GPS/ГЛОНАСС, создаваемой ИСЗФ СО РАН, а также высокоширотной GPS-станции NRIL, принадлежащей Геофизической службе РАН (ГС РАН) и расположенной на Комплексной магнитоионосферной станции ИСЗФ СО РАН вблизи Норильска. Общий уровень вариаций ПЭС оценивался с помощью индекса возмущенности WTEC [Berngardt et al., 2014a, b]. Рассматривались колебания ПЭС в двух диапазонах периодов: 01–10 мин и 01–40 мин, которые соответствуют средне- и крупномасштабным ионосферным возмущениям. Поведение уровня возмущенности ПЭС сравнивалось с поведением геомагнитных индексов AE , K_p , D_{st} [<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>].

2. Результаты и выводы

Анализ данных показал, что в высокоширотной ионосфере суточные вариации WTEC сильнее проявляются для среднемасштабных возмущений ПЭС (рис. 1, 2). Суточные вариации наиболее выражены в марте-апреле и в сентябре-октябре. Уровень минимальной интенсивности возмущений ПЭС в арктическом регионе не зависит от сезона: в 2013 г. он составлял 0.013 и 0.089 TECU для возмущений с периодами 10 и 40 мин, соответственно.

В средних широтах суточные вариации WTEC имеют сезонные особенности (рис. 1, 2). Летом возмущения более интенсивны в начале и в конце дня, во все другие сезоны интенсивность возмущений выше в середине дня. Средний минимальный уровень интенсивности возмущений ПЭС имеет сезонные колебания: зимой он составляет около 0.006 TECU для сред-

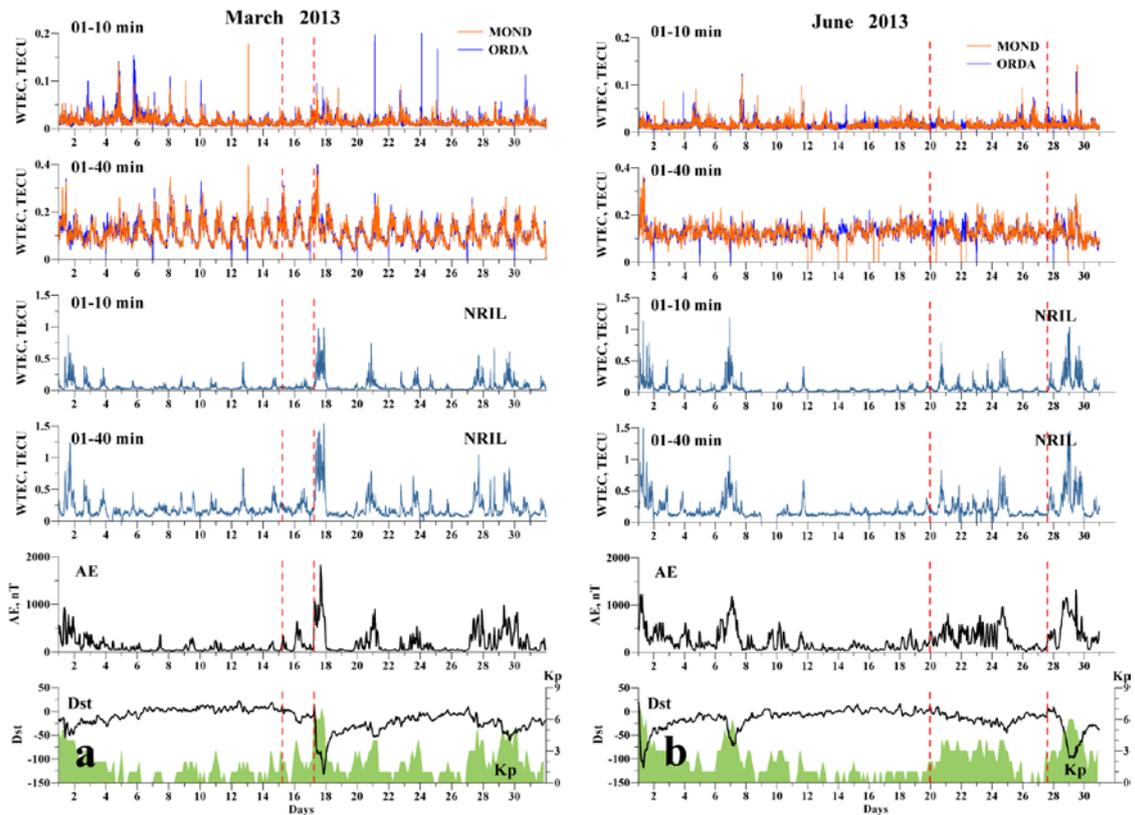


Рис. 1. Вариации индекса WTEC для возмущений с периодами 01–10 мин и 01–40 мин для станций ORDA, MOND, NRIL, а также магнитных индексов AE, D_{st} и K_p в марте (а) и июне (б) 2013 г. Вертикальными пунктирными линиями отмечены внезапные начала геомагнитных бурь.

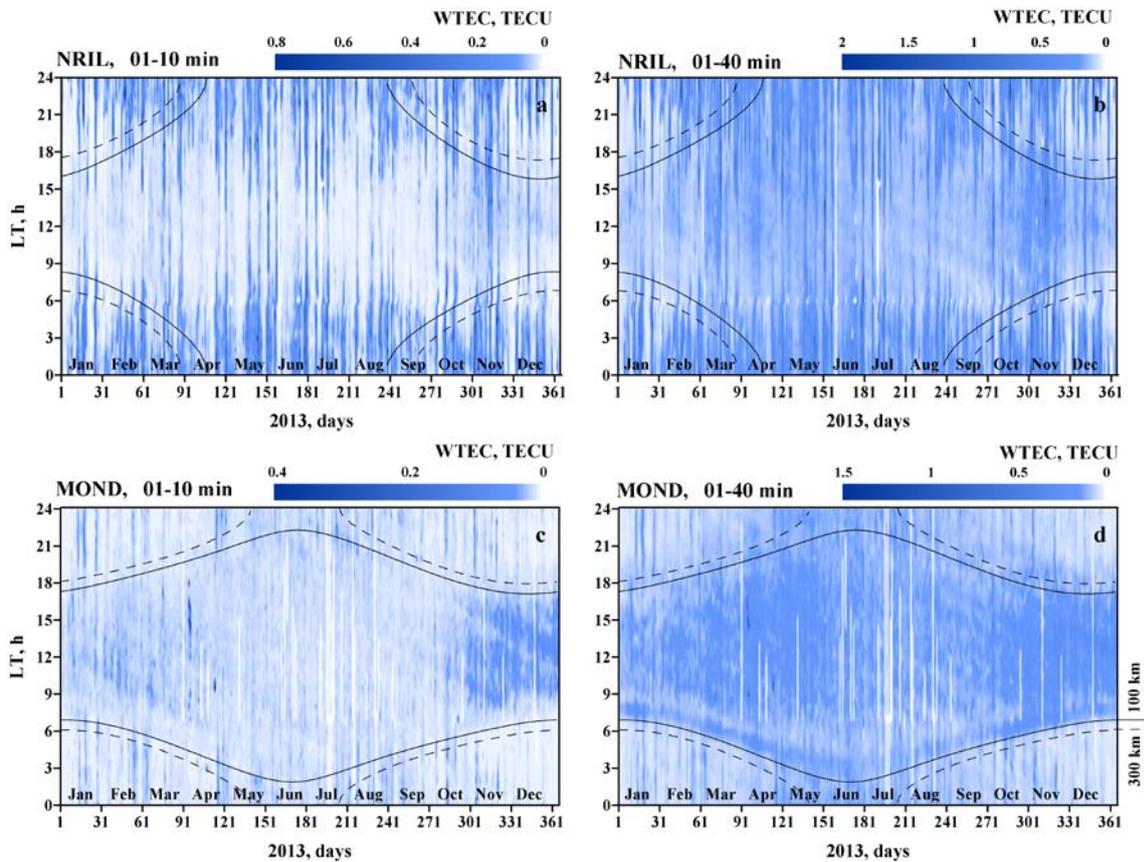


Рис. 2. Интенсивности суточных колебаний индекса возмущенности WTEC в течение 2013 г. для двух периодов фильтрации (01–10 и 01–40 мин) в высоких и средних широтах. Линиями отмечено время появления солнечного терминатора на высотах 300 км (пунктир) и 100 км (сплошная линия).

немасштабных возмущений и 0.03 TECU для крупномасштабных; летом эти значения поднимаются до 0.01 TECU и 0.07 TECU, соответственно.

На рис. 2 черными линиями показано время появления солнечного терминатора (СТ) на высотах 100 и 300 км. Из рис. 2, с–d видно, что в средних широтах (станция MOND) СТ порождает интенсивные крупномасштабные возмущения. Среднемасштабные возмущения, вызванные СТ, не наблюдаются. Эти результаты подтверждаются и на других среднеширотных станциях. Можно сделать вывод, что СТ генерирует гравитационные волны ($T > 10$ мин [Hocke, Schlegel, 1996]) и не создает акустические ($T < 10$ мин [Hocke, Schlegel, 1996]). В арктическом регионе (станция NRIL, рис. 2, а–b) волновые возмущения WTEC, обусловленные СТ, отсутствуют.

В арктическом регионе поведение WTEC хорошо согласуется с изменением геомагнитного индекса AE , характеризующего геомагнитную обстановку в высоких широтах. Во время сильных магнитных бурь, WTEC коррелирует также с поведением индексов D_{st} и K_p . В отсутствие сильных бурь корреляция индекса WTEC с D_{st} и K_p мала, т.к. эти индексы отражают, главным образом, возмущения магнитного поля в экваториальных и средних широтах.

В средних широтах отклик индекса WTEC на изменение магнитного поля менее выражен, чем в высоких широтах. Некоторые корреляции WTEC с поведением геомагнитного индекса D_{st} наблюдаются во время сильных магнитных бурь. В это время интенсивность крупномасштабных возмущений ПЭС днем возрастает примерно в два раза. Среднемасштабные возмущения ПЭС не имеют существенного отклика на изменение магнитного поля.

Заключение

Из проведенного анализа общего уровня возмущенности ПЭС в двух диапазонах периодов (01–10 мин и 01–40 мин) по данным среднеширотных GPS-станций ORDA, MOND и высокоширотной GPS-станции NRIL можно сделать следующие выводы.

В арктическом регионе средний минимальный уровень интенсивности средне- и крупномасштабных возмущений ПЭС составляет 0.013 TECU и 0.089 TECU, соответственно; величина минимального уровня интенсивности возмущений ПЭС не зависит от сезона; поведение индекса WTEC хорошо коррелирует с вариациями индекса AE и менее – с поведением индексов D_{st} , K_p ; волновые возмущения WTEC, обусловленные СТ, отсутствуют.

В средних широтах средний минимальный уровень интенсивности возмущений ПЭС меняется в течение года; суточные вариации WTEC ярко выражены в течение всего года и имеют некоторые сезонные особенности; СТ генерирует гравитационные волны ($T > 10$ мин) и не создает акустические ($T < 10$ мин).

Авторы выражают благодарность Геофизической службе РАН (ГС РАН) за предоставленные данные GPS-станции NRIL. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-37-00027).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Bergardt O.I., Voeykov S.V., Ratovsky K.G. Using a single GPS/GLONASS receiver for estimating the level of ionospheric disturbance // XXXI URSI General Assembly and Scientific Symposium. Beijing, China. August 16–23, 2014: abstracts. 2014a. GP2.31.

Bergardt O.I., Voeykov S.V., Ratovsky K.G. Using a single GPS/GLONASS receiver for estimating the level of ionospheric disturbance // The 40th COSPAR Scientific Assembly. 2–10 August 2014, Moscow, Russia: abstracts. M., 2014b. P. C0.2-0015-14.

Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances: 1982–1995 // Ann. Geophys. 1996. V. 14, n 5. P. 917–940.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия