

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ ВБЛИЗИ ОСЕННЕГО РАВНОДЕНСТВИЯ

¹А.О. Мамедов, ²С.В. Панасенко

PARAMETERS OF TRAVELLING IONOSPHERIC DISTURBANCES IN THE MIDLATITUDE IONOSPHERE NEAR AUTUMN EQUINOX

¹A.O. Mamedov, ²S.V. Panasenko

Определены параметры волновых процессов в среднеширотной ионосфере с помощью метода некогерентного рассеяния. Выявлены временные интервалы, на которых концентрация электронов, температура электронов и ионов испытывали квазипериодические вариации в диапазоне высот от 200 до 300 км. Оценены параметры этих вариаций. Детально проанализированы волновые возмущения, вызванные прохождением утреннего терминатора. Показано, что средние периоды таких волновых процессов составляли 50–60 мин, их длительности не превышали 2–5 периодов, а относительные амплитуды обычно лежали в пределах 0.02–0.15. Обнаружено, что источники анализируемых волн были расположены в нижней атмосфере.

Parameters of wave disturbances in the midlatitude ionosphere using the incoherent scatter technique were determined. The time intervals at which the intensity of incoherent scatter signals varied quasi-periodically in the altitude range from 200 to 300 km were detected. The parameters of these variations were estimated. Wave disturbances caused by sunrise terminator passage were analyzed in detail. It was shown that wave processes periods were of 50 – 60 min. there durations did not exceed of 2–5 periods and relative amplitudes usually ranged from 0.02 to 0.15. The origins of analyzed waves were detected to be located in the lower atmosphere.

Введение

При комплексном рассмотрении динамики различных атмосферных и ионосферных областей необходимо учитывать их взаимодействие, которое осуществляется в основном за счет распространения атмосферных волн. Акустико-гравитационные волны (АГВ), являясь частным случаем атмосферных волн, не только эффективно переносят импульс и энергию, но и служат индикатором мощных природных и искусственных процессов, происходящих на Земле и под ее поверхностью, в атмосфере и геокосмосе. АГВ изучаются уже на протяжении многих десятилетий с помощью как космических, так и наземных средств.

Как известно (см., например, [Hines, 1960; Носке, Schlegel, 1996], проявлениями АГВ в ионосфере являются перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), приводящие к квазипериодическим вариациям ионосферных параметров (концентрации электронов N_e , температуры электронов T_e и ионов T_i и др.). АГВ часто выявляют по наличию ПИВ, а параметры АГВ при этом рассчитываются через оцененные параметры ионосферных возмущений [Kirchengast et al., 1996].

Целью настоящей работы является обнаружение и оценка параметров волновых процессов над Харьковом (Украина), имевших место вблизи осеннего равноденствия.

Средства наблюдения и методы обработки

Метод некогерентного рассеяния (НР) – один из наиболее информативных методов определения параметров ионосферной плазмы [Брюнелли и др., 1979]. Радар НР Института ионосферы является единственным таким радаром в Центральной Европе. Для получения информации о N_e , T_e и T_i , а также вертикальной скорости движения плазмы радиозондирование осуществляется импульсами длительностью $\Delta t = 663$ мкс (высотное разрешение $\Delta h \approx 100$ км). Для уточнения профиля концентрации электронов,

особенно на малых высотах (100–200 км), излучается также радиоимпульс с $\Delta t \approx 135$ мкс ($\Delta h \approx 20$ км). Более подробное описание радара и режимов его работы приведено в [Пуляев и др., 2011].

После внедрения нового программного обеспечения для обработки и анализа экспериментальных данных, включающего пакет программ нового поколения UPRISE (Unified Processing of the Results of Incoherent Scatter Experiments) [Богомаз, Котов, 2013], появилась возможность оценивать параметры волновых возмущений не только N_e (см., например, [Бурмака и др., 2005]), но и T_e и T_i . При этом минимально обнаружимые значения относительных амплитуд N_e , T_e и T_i для процессов с периодом $T \geq 60$ мин обычно не превышают 0.01–0.03 при отношении сигнал/шум $q \geq 1$ [Пуляев и др., 2011].

Для нахождения параметров волновых процессов использовалась методика, описанная в [Бурмака и др., 2005], которая была несколько модифицирована. В частности, при оценке тренда вместо метода скользящего среднего использовалась аппроксимация полиномом 3-го порядка по методу наименьших квадратов. Это позволило существенно улучшить фильтрацию аperiodических процессов, особенно вблизи солнечных терминаторов, когда происходит значительное (в несколько раз) увеличение (уменьшение) значений ионосферных параметров за сравнительно короткий интервал времени (1–2 ч). Кроме того, временные зависимости относительных изменений электронной концентрации δ_{N_e} , температуры электронов δ_{T_e} и ионов δ_{T_i} подвергались дополнительной полосовой фильтрации с использованием цифрового фильтра, описанного в [Лизунов и др., 2010].

Времена запаздывания колебаний на различных высотах оценивались с использованием корреляционного анализа.

Результаты наблюдений

С помощью харьковского радара НР уже на протяжении десятилетия производятся систематические

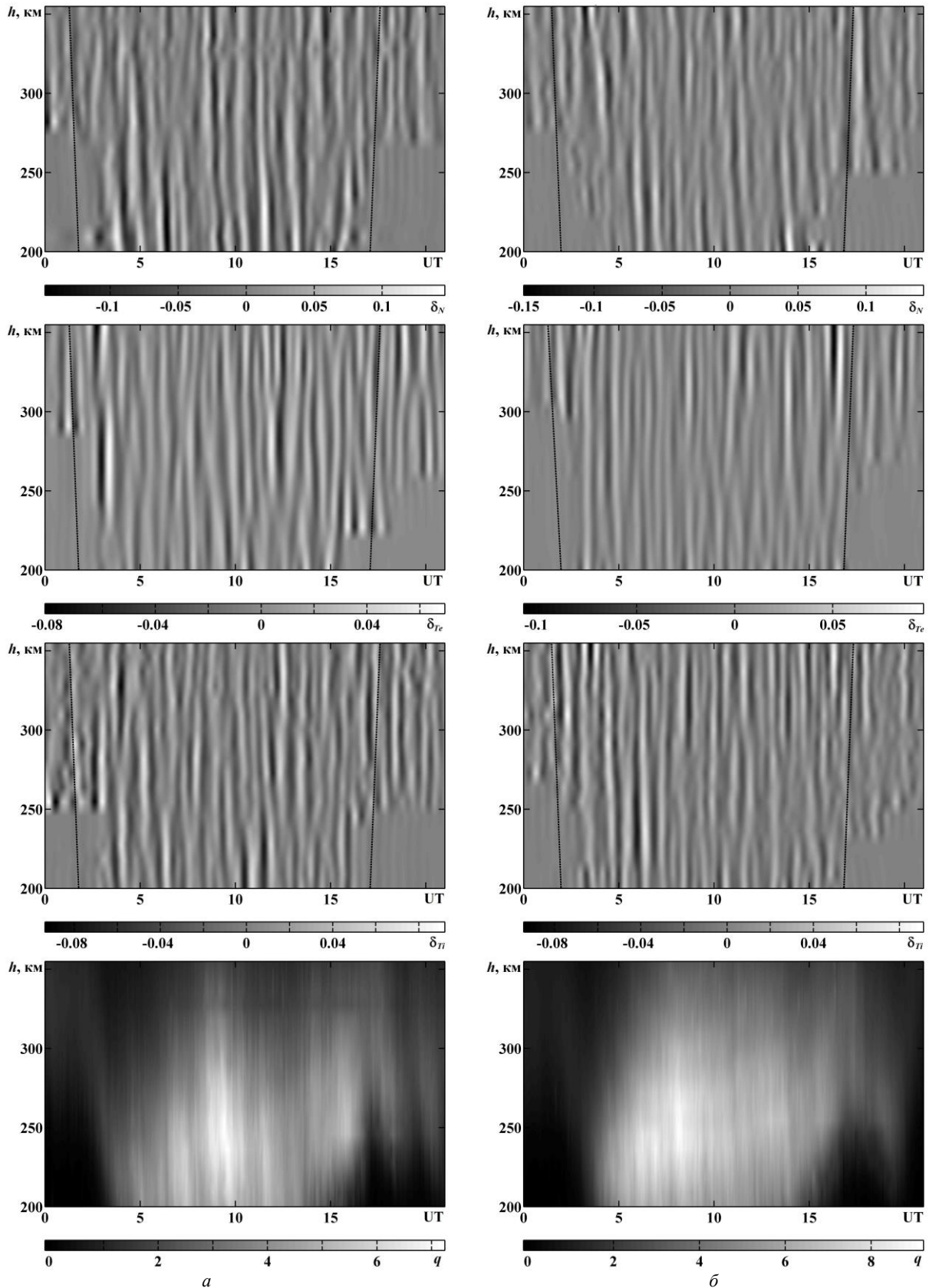


Рис. 1. Высотно-временные вариации относительных изменений (сверху вниз): N_e (первая панель), T_e (вторая панель) и T_i (третья панель) в диапазоне периодов 30–120 мин, а также значения q (четвертая панель) для 21 сентября 2011 г. (а) и 26 сентября 2012 г. (б). Пунктирными линиями показаны времена прохождения утреннего и вечернего солнечных терминаторов.

наблюдения за ионосферными процессами вблизи весеннего и осеннего равноденствий, а также зимнего и летнего солнцестояний. Нами были обработаны

экспериментальные данные, полученные в 2010–2012 гг. в магнитоспокойные сутки вблизи осеннего равноденствия. Примеры полученных результатов

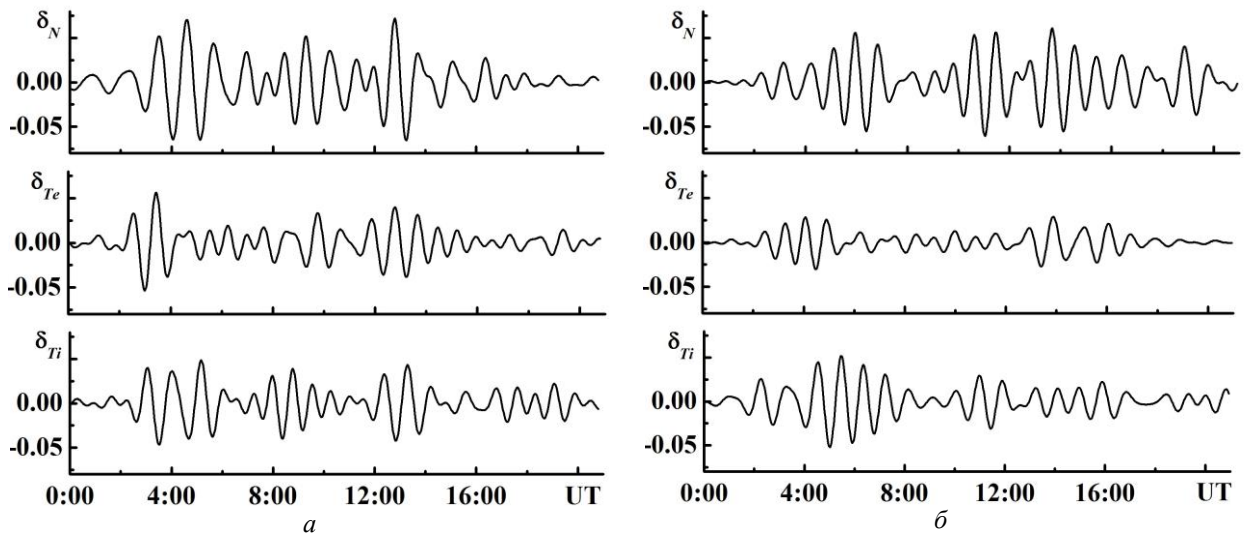


Рис. 2. Временные вариации относительных изменений N_e (верхняя панель), T_e (средняя панель) и T_i (нижняя панель) в диапазоне периодов 40–80 мин на высоте 260 км для 21 сентября 2011 г. (а) и 26 сентября 2012 г. (б).

для двух дней наблюдения представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что в течение всех суток наблюдались ярко выраженные волновые процессы с различными периодами и длительностями, охватывающие широкий диапазон высот и проявляющиеся также в вариациях q . Усиление волновой активности имело место во время и после прохождения солнечных терминаторов. Максимальные значения относительных вариаций N_e достигали 0.15, а T_e и T_i обычно не превышали 0.05–0.1 (см. рис. 1).

Для более углубленного анализа были рассмотрены квазипериодические вариации ионосферных параметров, имевшие место после прохождения утреннего терминатора (02:00–08:00 UT). Оказалось, что наибольшей энергией обычно обладали составляющие сигнала с периодами 40–80 мин (рис. 2). При этом средний период колебаний составил 50–60 мин, их длительность была 2–5 периодов (рис. 2). Относительная амплитуда волновых возмущений N_e зависела от высоты, принимая максимальные значения 0.05–0.1 на высотах 200–250 км. При этом относительные амплитуды колебаний T_e и T_i обычно составляли 0.02–0.05 на всех исследуемых высотах. Близкие значения параметров ПИВ были получены и в работах [Hocke, Schlegel, 1996; Kirchengast et al., 1995]. Однако в ряде случаев нами наблюдалось запаздывание возмущений N_e и T_i относительно колебаний T_e (см. рис. 2). Причины таких запаздываний еще предстоит исследовать более детально.

Анализ высотных профилей ПИВ, вызванных прохождением утреннего терминатора, показал, что практически всегда возмущения на больших высотах наблюдались раньше, чем на меньших (рис. 3). Следовательно, вертикальные фазовая и групповая скорости ПИВ и АГВ были направлены вниз и вверх соответственно, а значит, источники генерации таких волн находились в нижней атмосфере. Эти скорости возрастали с увеличением высоты и равнялись 30–150 м/с. Для 21 сентября 2011 г. и 26 декабря 2012 г. средние значения этих скоростей составили 60 и 105 м/с соответственно.

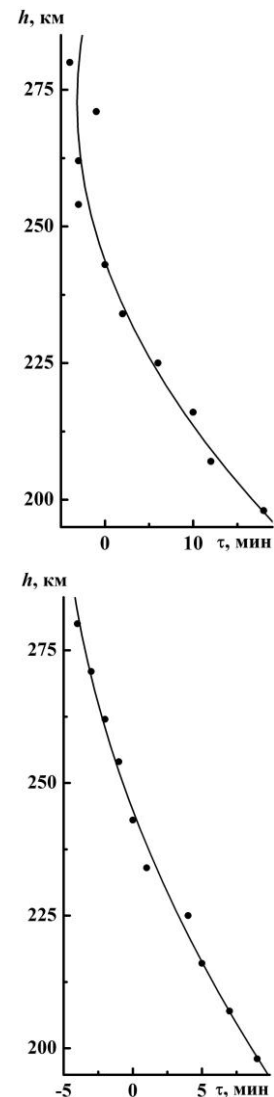


Рис. 3. Времена запаздывания (опережения) прихода волнового возмущения N_e , наблюдавшегося после прохождения утреннего терминатора, на различных высотах относительно высоты 235 км для 21 сентября 2011 г. (а) и 26 сентября 2012 г. (б).

Выводы

1. Проанализированы временные вариации относительных изменений концентрации электронов, температуры электронов и ионов, полученных методом некогерентного рассеяния, для ряда суточных измерений в магнитоспокойные дни вблизи осеннего равноденствия. Показано, что в рассматриваемый период года волновые процессы присутствуют на протяжении всех суток, усиливаясь в период и после прохождения утреннего и вечернего солнечных терминаторов.

2. Оценены параметры волновых процессов, вызванных прохождением утреннего солнечного терминатора. Продемонстрировано, что средний период колебаний составил 50–60 мин, их длительность была 2–5 периодов, а относительные амплитуды обычно лежали в пределах 0.02–0.15. В ряде случаев наблюдалось запаздывание возмущений концентрации электронов и температуры ионов относительно колебаний температуры электронов.

3. Показано, что источники атмосферных волн, вызванных утренним терминатором, находятся в нижней атмосфере. Значения вертикальной фазовой скорости обычно составляли 30–150 м/с и увеличивались с ростом высоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богомаз А.В., Котов Д.В. Пакет программ нового поколения для обработки данных радаров некогерентного рассеяния Unified Processing of the Results of Incoherent Scatter Experiments (UPRISE) // Вестник НТУ «ХПИ». Радиофизика и ионосфера. 2013. № 28. С. 29–37.

Брюнелли Б.Е., Кочкин М.И., Пресняков И.Н. и др. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. Л.: Наука, 1979. 188 с.

Бурмака В.П., Таран В.И., Черногор Л.Ф. Результаты исследования волновых возмущений в ионосфере методом некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 3. С. 4–35.

Лизунов Г.В., Кузьмич А.А. Спектральный анализ спутниковых измерений атмосферных гравитационных волн // Вестник НТУ «ХПИ». Радиофизика и ионосфера. 2010. № 48. С. 57–63.

Пуляев В.А., Дзюбанов Д.А., Домнин И.Ф. Определение параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн. Харьков: Видавництво «Підручник» НТУ «ХПИ», 2011. 240 с.

Hines C.O. Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights // Can. J. Phys. V. 38, N 11. P. 1441–1481.

Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances: 1982–1995 // Ann. Geophys. V. 14, N 10/11. P. 917–940.

Kirchengast G., Hocke K., Schlegel K. Gravity waves determined by modeling of traveling ionospheric disturbances in incoherent scatter radar measurements // Radio Sci. V. 30, N 5. P. 1551–1567.

¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

²Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков, Украина