



УДК 550.338

О.П. Сулова, И.В. Карпов, А.В. Радиевский

**ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ТРОПОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ
В ПЕРИОДЫ ПРОХОЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА**

Представлен анализ спектров приземного аэрозоля и вариаций полного содержания электронов в ионосфере (ТЕС). Наблюдения атмосферного аэрозоля выполнены с применением двухволнового (532, 1064 нм) атмосферного лидара (LSA-2S). Определение ТЕС основано на приеме сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС (Leica1200). Измерения в нижней атмосфере и ионосфере проводились одновременно в феврале – марте 2012 г. В период прохождения солнечного терминатора в нижней и верхней атмосфере отмечаются вариации параметров с периодами, близкими к периоду Вэйсяля – Брента в приземном слое атмосферы. Предполагается, что такие возмущения с периодами, близкими к периоду Вэйсяля – Брента, возбуждаются в нижней атмосфере и распространяются в верхнюю и могут влиять на динамические связи нижних и верхних атмосферных слоев.

The paper presents an analysis of the spectra of atmosphere aerosol variations and variations Total Electron Content in the ionosphere (TEC). Monitoring of atmospheric aerosol performed with using of the two-wavelength (532, 1064 nm) atmospheric lidar (LSA-2S). Ionospheric TEC parameter determined from the observation of the navigation satellites signals GLONASS (Leica1200). The observations in the lower atmosphere and ionosphere were executed simultaneously in the period February – March 2012. Analysis of the observations showed that during the period of solar terminator passing in the lower and upper atmosphere, there are variations of parameters with periods close to the period Väisälä – Brunt in the lower atmosphere. It is assumed that such disturbances are excited in the lower atmosphere and propagate into the upper atmosphere. It is assumed that the disturbances with periods close to the period of the Väisälä – Brunt can take an important part in the implementation of dynamic relationships of lower and upper atmospheric layers.

Ключевые слова: солнечный терминатор, атмосфера, период Вэйсяля – Брента.

Key words: solar terminator, atmosphere, period of the Väisälä – Brunt.

Одна из важнейших проблем динамики верхней атмосферы и ионосферы – объяснение влияния процессов, происходящих в нижней атмосфере, на параметры верхней атмосферы и ионосферы: ионосферные эффекты стратосферных потеплений/похолоданий, возникновение ионосферных предвестников землетрясений, отклик ионосферы на сильные метеорологические возмущения (штормы, тайфуны) и т.д. До настоящего времени нет удовлетворительной физической интерпретации наблюдаемых явлений, однако основные гипотезы основываются на необходимости привлечения механизмов возбуждения в нижней атмосфере и вертикального распространения внутренних гравитационных волн (ВГВ). Обширный обзор климатологии ВГВ, прони-

кающих из нижней атмосферы в верхнюю, представлен в работе [1]. В экспериментальных исследованиях установлено, что временные задержки в обнаружении ионосферных возмущений могут составлять несколько часов по отношению к возмущениям в нижней атмосфере, а ионосферные эффекты локализуются в непосредственной близости от областей возмущений в нижней атмосфере. Столь малые временные задержки позволяют говорить о том, что важную роль в осуществлении таких воздействий играют короткомасштабные ВГВ. Такие ВГВ, имеющие вертикальный масштаб порядка высоты однородной атмосферы и периоды, близкие к периоду Вьейсяля – Брента. В связи с этим одно из направлений исследований влияния динамики нижней атмосферы на верхнюю нацелено на изучение характеристик высокочастотной части спектра ВГВ на различных высотах в атмосфере. В данной работе представлены результаты анализа характеристик вариаций параметров нижней атмосферы и ионосферы по наблюдениям, выполненным в Калининграде в феврале – марте 2012 г.

Для анализа частотных характеристик вариаций атмосферных и ионосферных параметров выбраны наблюдения в период прохождения солнечного терминатора, который, как известно, является регулярным источником возбуждения в атмосфере ВГВ на различных высотах. Предполагаем, что спектральный анализ временных рядов наблюдаемых параметров позволит определить частотные диапазоны, характерные для вариаций атмосферных и ионосферных параметров на различных высотах.

Характеристики вариаций параметров нижней атмосферы определялись по наблюдениям атмосферного лидара LSA-2S [2]. На рисунке 1 представлены спектры вариаций интенсивности сигнала обратного рассеивания на длине волны 532 нм на разных высотах в атмосфере [2].

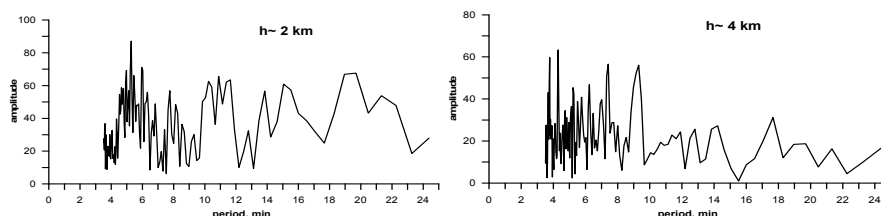


Рис. 1. Спектр интенсивности лидарного сигнала на длине волны 532 нм на различных высотах

Как видно из рисунка 1, в нижней атмосфере наиболее существенный вклад в вариации лидарного сигнала вносят гармоники с периодами 4–6 мин. Наблюдения ионосферного параметра ТЕС (Total Electron Content) выполнены с использованием станции приема сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС Leica-1200. Суточные вариации ТЕС для изучаемого периода наблюдений показаны на рисунке 2.

Поскольку нас интересует высокочастотная составляющая вариаций ТЕС (периоды 5–20 мин), в работе выделен спектр вариаций разности суточных вариаций ТЕС, определенных по наблюдениям с шагом по времени 30 с. Окно сглаживания составляло 1 ч (рис. 2). Пример



спектра такой вариации для периода прохождения солнечного терминатора (8–10 ч, LT) приведен на рисунке 3.

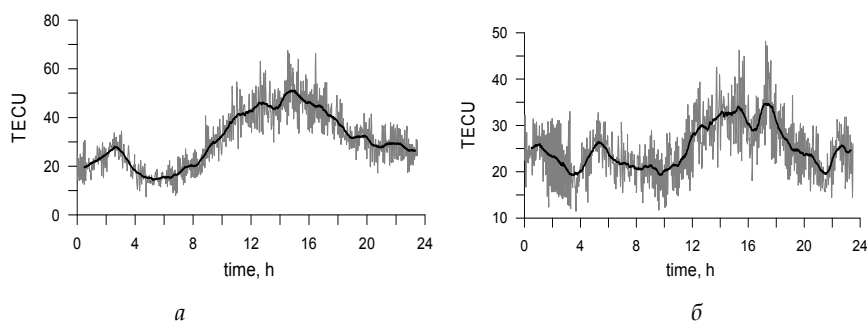


Рис. 2. Суточные вариации ТЕС 12 февраля (а) и 19 марта (б) 2012 г.: серая линия — наблюдения ТЕС с разрешением 30 с; черная линия — сглаженные наблюдения с окном сглаживания 1 ч

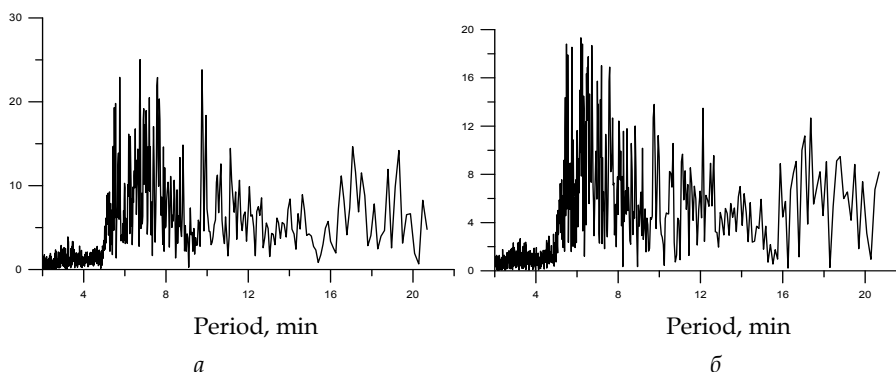


Рис. 3. Спектры вариаций ТЕС для 12 февраля (а) и 19 марта (б) 2012 г.

Как видно из рисунка 3, основной вклад в высокочастотную составляющую изменчивости суточных вариаций ТЕС вносят гармоники с периодами 5–7 мин. Результаты анализа спектров атмосферных (рис. 1) и ионосферных вариаций (рис. 3) выявляют наличие гармоник с одинаковыми периодами (5–7 мин), что позволяет предположить, что такие вариации могут иметь один источник возбуждения.

Предположение о взаимосвязи возмущений в области солнечного терминатора в нижней атмосфере и ионосфере основывается на наблюдаемой локализации ионосферных возмущений с периодами 5–7 мин в утренние и вечерние часы. На рисунке 4 показано изменение спектра ионосферных вариаций с периодами 2–20 мин в течение суток. На рисунке 4 отчетливо прослеживается область утреннего и вечернего терминаторов и смещение этих областей, связанное с изменением времени восхода и захода солнца. Так, гармоники с периодами ~5 мин наблюдаются только утром и вечером, с большими периодами — в течение всего дневного времени.

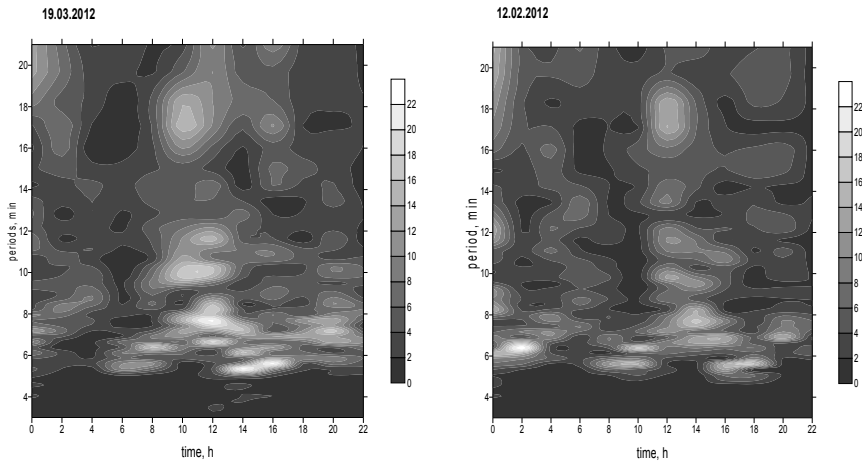


Рис. 4. Изменение спектра вариаций ТЕС с периодами 2–20 мин в течение суток

Период Вяйсяля – Брента на высоте тропосферы для условий наблюдений составляет ~ 5 мин, а в F-области ионосферы – ~ 10 мин. Следовательно, выявленные в наблюдениях ионосферы гармоники с периодами 5 мин, не могут быть связаны с возбуждением ВГВ непосредственно в ионосфере. Естественно предполагать, что гармоники с такими периодами возникают вследствие проникновения на высоты ионосферы волн, возбужденных в нижележащих слоях атмосферы, в частности в тропосфере. Возможность влияния ВГВ с периодами, близкими к периоду Вяйсяля – Брента, возбужденными в тропосфере и стратосфере, на изменение ионосферы неоднократно обсуждалась, например в работе [3]. Представленные результаты можно рассматривать как еще одно экспериментальное подтверждение зависимости процессов, происходящих в верхней атмосфере и ионосфере, от динамики нижней атмосферы.

Список литературы

1. Lastovichka J. Forcing of the ionosphere by waves from below // J. Atmos. Solar-Terr. 2006. 68. P. 479–497.
2. Сулова О.П., Карпов И.В., Бессараб Ф.С., Радиевский А.В. Динамика приземного аэрозоля по лидарным наблюдениям в Калининграде // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. Вып. 4. С. 50–54.
3. Hoffmann P., Jacobi C., Borries C. A possible planetary wave coupling between the stratosphere and ionosphere by gravity wave modulation // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 2011. Vol. 73. doi:10.1016/j.jastp.2011.07.008.

Об авторах

Ольга Павловна Сулова – ассист., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: OPsuslova@kantiana.ru

Иван Викторович Карпов – д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: IKarpov@kantiana.ru



Александр Викторович Радиевский – канд. физ-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: avradievsky@mail.ru

About authors

Olga Suslova – lecturer, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: OPsuslova@kantiana.ru

Dr Ivan Karpov – prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: IKarpov@kantiana.ru

Aleksander Radievsky – PhD, ass. prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: avradievsky@mail.ru