

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В ПОЛЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА COSMIC

А.С. Зарубин, Ю.Л. Рудакова, А.И. Погорельцев

LARGE-SCALE WAVE DISTURBANCES IN THE ELECTRON DENSITY FROM COSMIC EXPERIMENT

A.S. Zarubin, Yu.L. Rudakova, A.I. Pogoreltsev

На основе данных радиозатменных измерений эксперимента COSMIC исследуются крупномасштабные волновые возмущения в ионосфере. Для того чтобы минимизировать влияние ультрафиолетовой радиации, были выбраны годы с низкой солнечной активностью (2008–2010 гг.). Волновые возмущения, наблюдаемые в электронной концентрации, были разделены на стационарные (стоячие), а также бегущие на восток и запад волны. Полученные результаты сравниваются с характеристиками планетарных волн в стратосфере, полученными из анализа данных, ассимилированных в модели UK Met Office. Обсуждаются возможные механизмы передачи метеорологических эффектов на высоты термосферы.

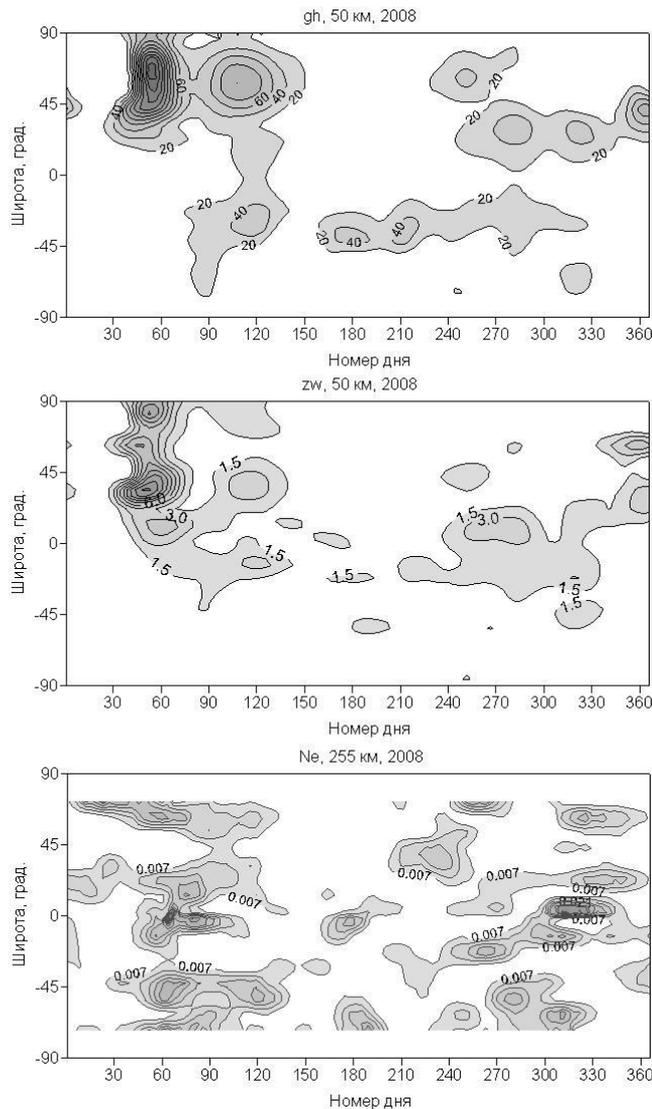
Large-scale wave disturbances in the ionosphere are investigated on the basis of radio occultation measurements of the COSMIC experiment. To minimize the influence of ultraviolet radiation, the years of low solar activity were selected (2008–2010). Wave-like disturbances observed in the electron density were separated into transferring stationary (standing), eastward and westward waves. The results are compared with characteristics of planetary waves in the stratosphere obtained from analysis of the data assimilated in UK Met Office model. Possible mechanisms of transferring the meteorological effects to thermosphere heights are discussed.

Основными процессами, ответственными за динамическое взаимодействие различных атмосферных слоев, являются распространяющиеся по вертикали атмосферные волны, которые осуществляют перенос энергии и импульса. Волны глобального масштаба могут быть вынужденными (например, стационарные планетарные волны (СПВ), солнечные приливы, генерируемые суточными вариациями нагрева) и свободными, возбуждаемыми в нижней атмосфере различными хаотическими движениями, которые усиливаются в результате резонансного отклика атмосферы на определенных частотах (так называемые собственные колебания атмосферы [Холтон, 1979]). Взаимодействуя со средним потоком, СПВ, с одной стороны, приводят к торможению (иногда даже обращению) стратосферного струйного течения зимой, но, с другой стороны, условия их распространения зависят от распределения среднего потока. В результате возникают так называемые стратосферные васцилляции, т. е. нерегулярные колебания амплитуд СПВ и интенсивности среднего потока. Иногда во время определенной фазы васцилляционного цикла СПВ могут существенно усиливаться, что приводит к нагреву полярной стратосферы – наблюдаются так называемые внезапные стратосферные потепления, во время которых полярный вихрь разрушается. Распространяясь до ионосферных высот, атмосферные волны вызывают возмущения концентрации ионосферной плазмы, что существенным образом сказывается на функционировании современных систем радиосвязи и радиолокации [Данилов и др., 1987]. Целью данной работы был анализ характеристик планетарных волн в стратосфере и в ионосферных параметрах с использованием данных, ассимилированных в модели UK Met Office, и результатов измерений, полученных в спутниковом эксперименте COSMIC.

Поскольку основным источником ионизации является коротковолновое излучение Солнца, многие регулярные изменения ионосферы связаны с изменением высоты Солнца над горизонтом (суточные,

сезонные, широтные изменения) либо уровня солнечной активности (11-летние и 27-дневные вариации). Ионосфера как среда под действием указанных возмущений находится в состоянии непрерывных изменений суточного и сезонного характера, связанных с конкретной геофизической обстановкой. Подстраиваясь под изменения условий или реагируя на прошедшие возмущения, ионосферная плазма постоянно испытывает колебания различной природы. В связи с этим очевидно, что при поиске отклика ионосферы на процессы, развивающиеся в стратосфере, было бы желательно исключить вначале из ионосферных данных вариации внешнего происхождения. Таким образом, для того чтобы минимизировать влияние ультрафиолетовой радиации, были выбраны годы с низкой солнечной активностью (2008–2010 гг.).

Для изучения возможных связей и механизмов передачи метеорологических эффектов из стратосферы в ионосферу сравнивались характеристики планетарных волн в стратосфере на высоте 50 км, полученные из анализа данных, ассимилированных в модели UK Met Office, с волновыми возмущениями, наблюдаемыми в поле электронной концентрации на высоте 255 км по данным радиозатменных измерений эксперимента COSMIC. В статьях [Зарубин и др., 2012; Зарубин, Погорельцев, 2012] описан метод разделения планетарных волн на неподвижные (стационарные), которые возникают за счет крупномасштабных долготных неоднородностей топографии и нагрева в тропосфере, и распространяющиеся (бегущие) на запад и восток волны, обусловленные термическим или механическим возмущением в нижней атмосфере и/или короткопериодными вариациями СПВ. Настоящая методика основана на комплексном вейвлет-преобразовании Морле, что позволяет анализировать волны с учетом существенной изменчивости их амплитуд на временных интервалах, сопоставимых с периодом волны. Данный алгоритм использовался и при исследовании волновых возмущений в полях электронной концентрации.



Широтно-временные распределения вейвлет-амплитуд 16-дневной волны в полях геопотенциальной высоты (верхняя панель), зонального ветра (средняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) для 2008 г.

Поскольку распространяться вверх могут только бегущие на запад волны, на рисунке в качестве примера показаны широтно-временные распределения амплитуд 16-дневной волны в полях геопотенциальной высоты, зонального ветра и электронной концентрации для 2008 г. Значения электронной концентрации были поделены на среднезональные. Амплитуды 5- и 10-дневных волн не показаны из-за ограниченности места.

Сопоставление полученных для ионосферы результатов с характеристиками планетарных волн в стратосфере показало, что при возрастании активности планетарных волн в средней атмосфере наблюдаются осцилляции типа планетарных волн и осцилляции ионосферных параметров главным образом во время сезонных перестроек. В отличие от стратосферных волн глобального масштаба, наблюдающихся в основном в средних и высоких широтах, ионосферные возмущения сосредоточены в области экватора. Являются ли эти возмущения проявлением нормальных атмосферных мод, соответствующих 5-, 10- и 16-дневным волнам, однозначно сказать не-

возможно. Исследования в данной области требуют дальнейшего более детального рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Данилов А.Д., Казимировский Э.С., Вергасова Г.В., Хачикян Г.Я. Метеорологические эффекты в ионосфере. Л.: ГИМИЗ, 1987. С. 272.
- Зарубин А.С., Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Планетарные волны в стратосфере на основе анализа радиозатменных наблюдений эксперимента COSMIC // Труды II Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. Т. 2. С. 193–197.
- Зарубин А.С., Погорельцев А.И. Планетарные волны в зимней стратосфере Северного полушария на основе данных наблюдений эксперимента COSMIC // Ученые записки РГГМУ. 2012. № 26. С. 91–99.
- Холтон Дж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 224.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия