

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

ПЛАНЕТАРНЫЕ ВОЛНЫ В ПОЛЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА COSMIC

A.S. Zarubin, M.A. Motsakov, Ju.L. Rudakova, A.I. Pogoreltsev

PLANETARY WAVES IN THE ELECTRON DENSITY FROM COSMIC EXPERIMENT

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). Полученные результаты сравниваются с характеристиками планетарных волн в стратосфере, полученными из анализа данных, ассимилированных в модели UK Met Office.

Ключевые слова: стратосфера, планетарные волны, ионосфера, радиозатменные наблюдения.

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 with low solar activity were selected (2008–2010). The results are compared with characteristics of planetary waves in the stratosphere obtained from analysis of the data assimilated in UK Met Office model.

Key words: stratosphere, planetary waves, ionosphere, radio occultation measurements.

В настоящее время не вызывает сомнения факт существования взаимодействия между различными слоями атмосферы. Распространяющиеся вверх волны разрушаются на высотах мезосферы-термосферы, передавая свою энергию и импульс среде, оказывая тем самым влияние на энергетику и динамику верхней атмосферы [Pogoreltsev et al., 2007]. 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, а с другой – 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. Распространяясь до ионосферных высот, атмосферные волны вызывают возмущения концентрации ионосферной плазмы, что существенным образом сказывается на функционировании современных систем радиосвязи и радиолокации. Таким образом, проблема взаимодействия атмосферных слоев приобретает особую актуальность и важность в связи с

необходимостью выяснения относительного вклада внутренних (динамических) и внешних (радиационных и фотохимических) факторов в формирование наблюдаемых крупномасштабных возмущений верхней атмосферы.

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 характеров, связанных с конкретной геофизической обстановкой. Подстраиваясь под изменения условий или реагируя на пришедшие 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 в начале из ионосферных данных вариации внешнего происхождения. 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 [Swinbank and O'Neill, 1994], с волновыми возмущениями, наблюдаемыми в поле электронной концентрации на высоте 255 км по данным радиозатменных измерений эксперимента COSMIC [Anthes et al., 2008]. В статьях [Зарубин и др., 2012; Зарубин и Погорельцев, 2012] описан подход, применяемый к обработке результатов измерений температуры эксперимента COSMIC. После получения значений в узлах регулярной сетки планетарные волны разделялись на неподвижные (стационарные), которые возникают за счет крупномасштабных долготных неоднородностей орографии и нагрева в тропосфере и распространяющиеся (бегущие) на запад и восток волны, обусловленные термическим или механическим возбуждением в нижней атмосфере и/или за счет короткопериодных вариаций СПВ. Настоящая методика основана на комплексном вейвлет преобразовании Морле [Torrence and Compo, 1998], 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.

Поскольку распространяться вверх могут только бегущие на запад планетарные волны (речь идет о нормальных атмосферных модах), на рис. 1 в качестве примера показаны вейвлет-амплитуды распространяющихся на запад волн с зональным волновым числом $m = 1$ в полях зонального ветра и электронной концентрации на широте 27,5N, а также вейвлет-амплитуды индекса солнечной активности F10.7 для 2010 г. На рисунках видно наличие максимумов на частотах близких к резонансным как в поле ветра, так и в ионосферных данных, однако, в поле электронной концентрации такие максимумы наблюдаются с некоторой задержкой. Тем не менее, нельзя однозначно сказать, являются ли эти возмущения проявлением планетарных волн или вызваны влиянием Солнца.

Для более детального сравнения данные были усреднены по периодам 4–7 суток для 5-дневной волны, 7–12 суток для 10-дневной волны и 12–20 суток для 16-дневной волны. Кроме этого, ионосферные данные были поделены на среднезональные значения. На рисунках 2–4 показаны широтно-временные распределения амплитуд 5-, 10- и 16-дневных волн соответственно в полях геопотенциальной высоты, зонального ветра и электронной концентрации для 2008 г.

Анализ результатов показывает, что максимальные амплитуды в полях электронной концентрации наблюдались в районе апреля–мая и октября–ноября. В это же время отмечается увеличение амплитуд и в стратосферных данных. Следовательно, если данные волны и способны проникать в ионосферу, то это происходит в периоды весенних и осенних перестроек. Кроме этого, в случае 5-дневной волны наибольшие значения амплитуд сосредоточены в экваториальной области, а для 10- и 16-дневных волн максимумы амплитуд наблюдаются и в более высоких широтах.

Для всех рассматриваемых лет был применен метод скользящей корреляции, который также показал, что наибольшие значения коэффициента корреляции соответствуют периодам сезонных перестроек. При этом для 5-дневной волны коэффициент корреляции не превысил значения 0,7, а для 10- и 16-дневных волн – 0,9.

Заключение

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 в ионосферных параметрах, но 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 большей степени в области экватора. Являются ли эти возмущения проявлением нормальных атмосферных мод, соответствующих 5-, 10- и 16-дневным волнам однозначно сказать нельзя. Исследования в данной области требуют дальнейшего и более детального рассмотрения.

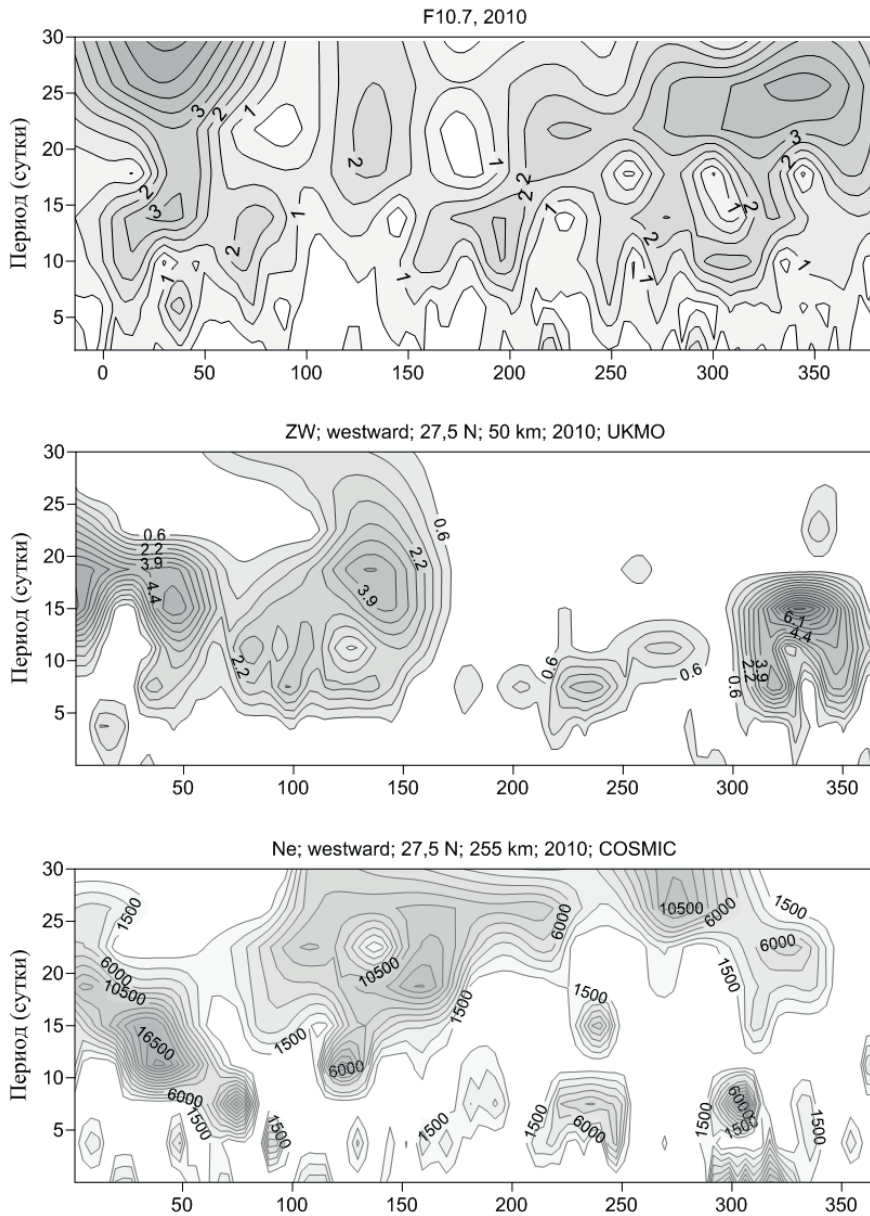


Рис. 1. Индекс солнечной активности F10.7 (верхняя панель) и вейвлет-амплитуды бегущих на запад волн ($m = 1$) в полях зонального ветра (средняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) для 2010 г.

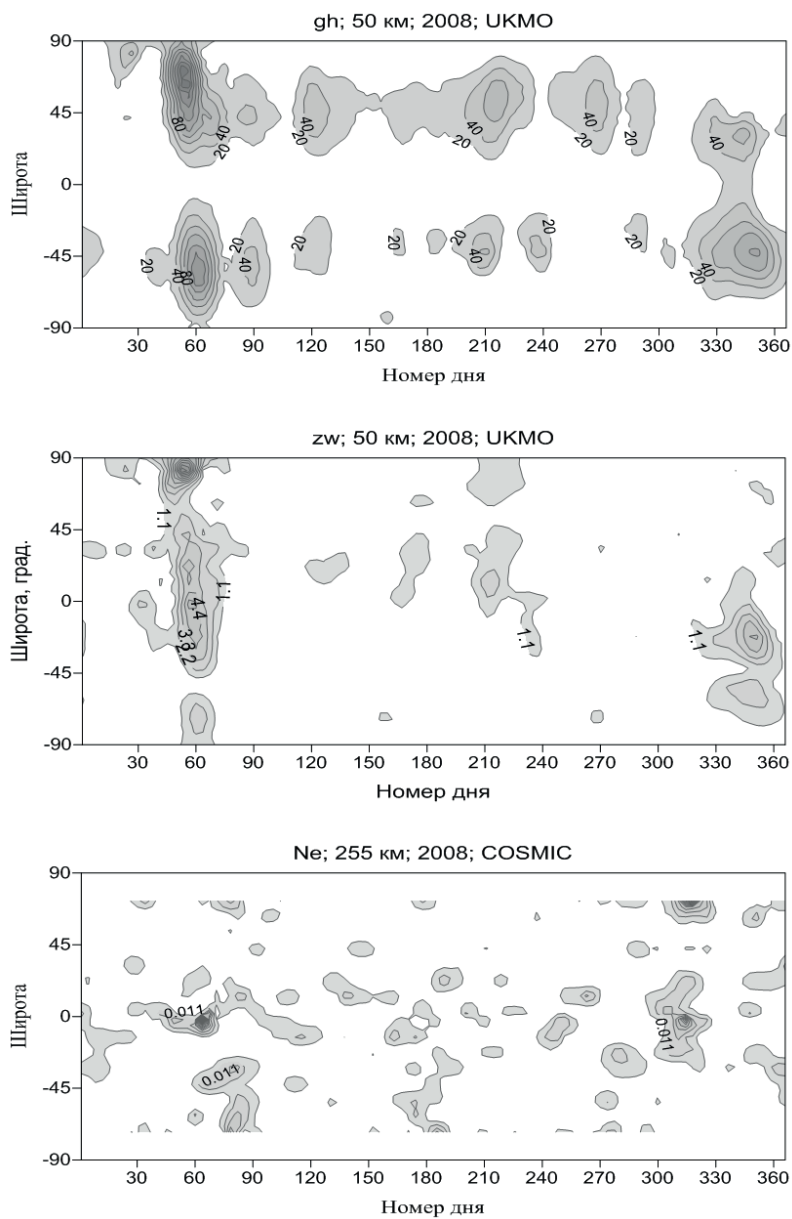


Рис. 2. Широтно-временные распределения вейвлет амплитуд 5-дневной волны в полях геопотенциальной высоты (верхняя панель), зонального ветра (средняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) для 2008 г.

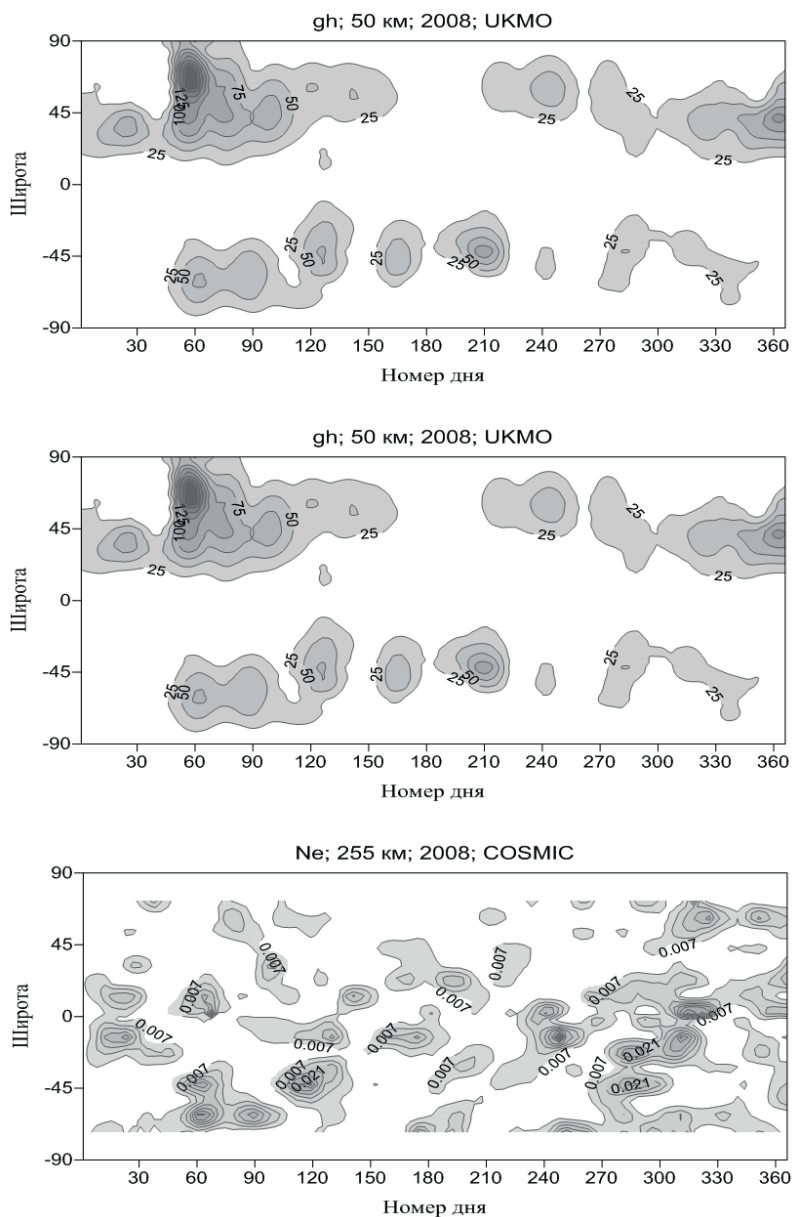


Рис. 3. Широтно-временные распределения вейвлет амплитуд 10-дневной волны в полях геопотенциальной высоты (верхняя панель), зонального ветра (средняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) для 2008 г.

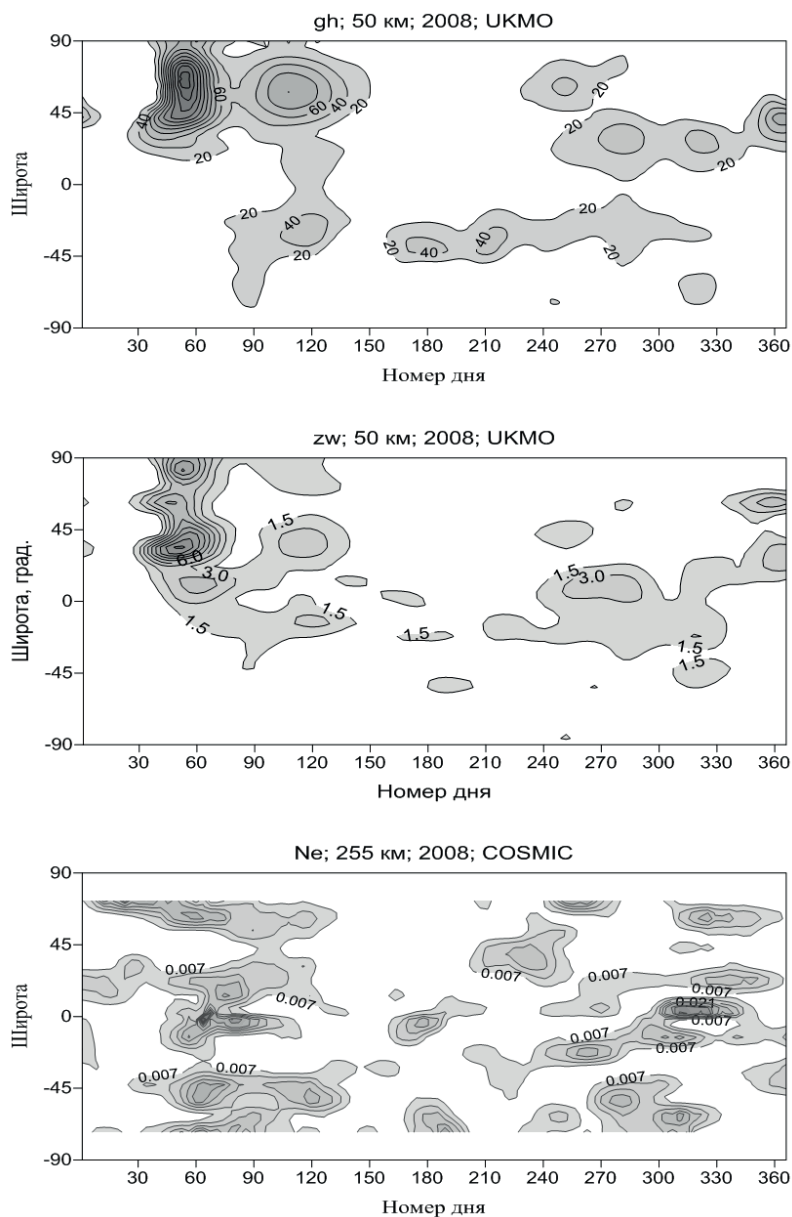


Рис. 4. Широтно-временные распределения вейвлет амплитуд 16-дневной волны в полях геопотенциальной высоты (верхняя панель), зонального ветра (средняя панель) и электронной концентрации (нижняя панель) для 2008 г.

Литература

1. 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». Т. 2. — СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012, с. 193–197.
2. 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.
3. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными вассилляциями. // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, т. 43, № 4, с. 463–475.
4. Anthes R.A., Bernhardt P.A., Chen Y., Cucurull L., Dymond K.F., Ector D., Healy S.B., Ho S.-P., Hunt D.C., Kuo Y.-H., Liu H., Manning K., McCormick C., Meehan T.K., Randel W.J., Rocken C., Schreiner W.S., Sokolovskiy S.V., Syndergaard S., Thompson D.C., Trenberth K.E., Wee T.-K., Yen N.L., Zeng Z. The COSMIC / FORMOSAT-3 Mission. Early results. // Bull. American Meteorological Society, 2008, vol. 89, pp. 313–333.
5. Swinbank R., O'Neill A. A Stratosphere-Troposphere Data Assimilation System. // Mon. Weather Rev., 1994, 122, pp. 686–702.
6. Torrence Ch., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis. // Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1998, vol. 79, № 1, pp. 61–78.