

<https://symp.iao.ru/en/aoo/27/proceedings>

# **XXVII International Symposium "Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics"**

**July 05-09, 2021, Moscow**

## **Proceedings**

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы  
XXVII Международного симпозиума.**

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем.  
требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше.

ISBN 978-5-94458-187-7

© ИОА СО РАН, 2021

<https://symp.iao.ru/en/aoo/27/proceedings>

## **Содержание**

1. [Пленарные доклады](#)
2. [Конференция А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы](#)
3. [Конференция В. Распространение излучения в атмосфере и океане](#)
4. [Конференция С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами](#)
5. [Конференция Д. Физика тропосферы](#)
6. [Конференция Е. Физика средней и верхней атмосферы](#)
7. [Конференция Ф. Цифровые платформы поддержки исследований атмосферы и океана](#)

**КОНФЕРЕНЦИЯ Е**

**ФИЗИКА СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ  
АТМОСФЕРЫ**

# СПЕКТРЫ ПРИЛИВОВ И ПЛАНЕТАРНЫХ ВОЛН ПО ДАННЫМ ИОНОЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВБЛИЗИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Гаврилов Н.М., Коваль А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.

e-mail: n.gavrilov@spbu.ru, a.v.koval@spbu.ru

Исследуются спектры критической частоты ионосферного слоя F2 в области периодов от 0.5 до 40 сут по данным измерений ионозондом DPS-4 на научной станции Петергоф Санкт-Петербургского государственного университета (60° с.ш., 30° в.д.). Спектральный анализ выполняется методом Ломба-Скаргла по 60-суточным скользящим интервалам. Спектры показывают наличие максимумов на периодах 1 день и 0.5 дня, соответствующих суточным и полусуточным колебаниям, а также максимумов в области периодов 2 – 40 сут. Эти волны часто имеют максимальные амплитуды весной и летом, что можно объяснить действием различных механизмов, включая распространение планетарных волн из средней атмосферы зимнего полушария вдоль волноводов, пересекающих экватор на высотах больших 60 км.

Планетарные волны (ПВ), генерируемые в нижней атмосфере, могут распространяться вверх в термосферу и создавать колебания параметров ионосферы с периодами в несколько суток. Другими источниками колебаний типа планетарных волн могут быть источники в самой термосфере, связанные, например, с изменениями солнечной и геомагнитной активности. В данной работе проведено исследование спектров колебаний ионосферных параметров в области периодов 0.5 – 40 сут по данным измерений ионозондом на Петергофской научной станции Санкт-Петербургского государственного университета (60° с. ш., 30° в. д.).

Измерения проводятся стандартным ионозондом DPS-4 в Ресурсном центре СПбГУ «Геомодель». Цифровой ионозонд DPS-4 состоит из двухканального передатчика и четырех приемных антенн. Он отличается сравнительно небольшой мощностью передатчика (300 Вт), что достигается использованием фазового кодирования, цифрового сжатия импульса и доплеровского интегрирования. Управление, сбор данных, обработка сигналов и стандартный анализ данных осуществляется многопроцессорной компьютерной системой. Синхронизация времени происходит через систему глобального позиционирования GPS. В настоящее время имеется мировая сеть, включающая более 70 ионозондов DPS-4 в разных странах. Регулярные непрерывные измерения с использованием ионозонда DPS-4 в СПбГУ проводятся с 2018 г.

Измерения проводятся круглосуточно с интервалом снятия отсчетов 7.5 мин. Ионозонд выдает информацию о большом количестве ионосферных параметров. Для анализа в данной работе выбрана критическая частота F2 слоя ионосферы,  $f_0F2$ . Спектральный анализ в настоящем исследовании выполнен стандартным методом Ломба-Скаргла [1, 2]. В основе

метода – аппроксимация неравноотстоящих измеренных значений анализируемых величин гармоническими функциями с частотами  $\nu$ . По сравнению со стандартными компьютерными программами, использующими метод Ломба-Скаргла, алгоритмы, использованные в настоящем исследовании, позволяют определять амплитуды и фазы всех спектральных составляющих. Спектры ПВ вычислялись с использованием временных интервалов длительностью 60 сут. Это позволяет определять волновые составляющие с периодами до 40 сут.

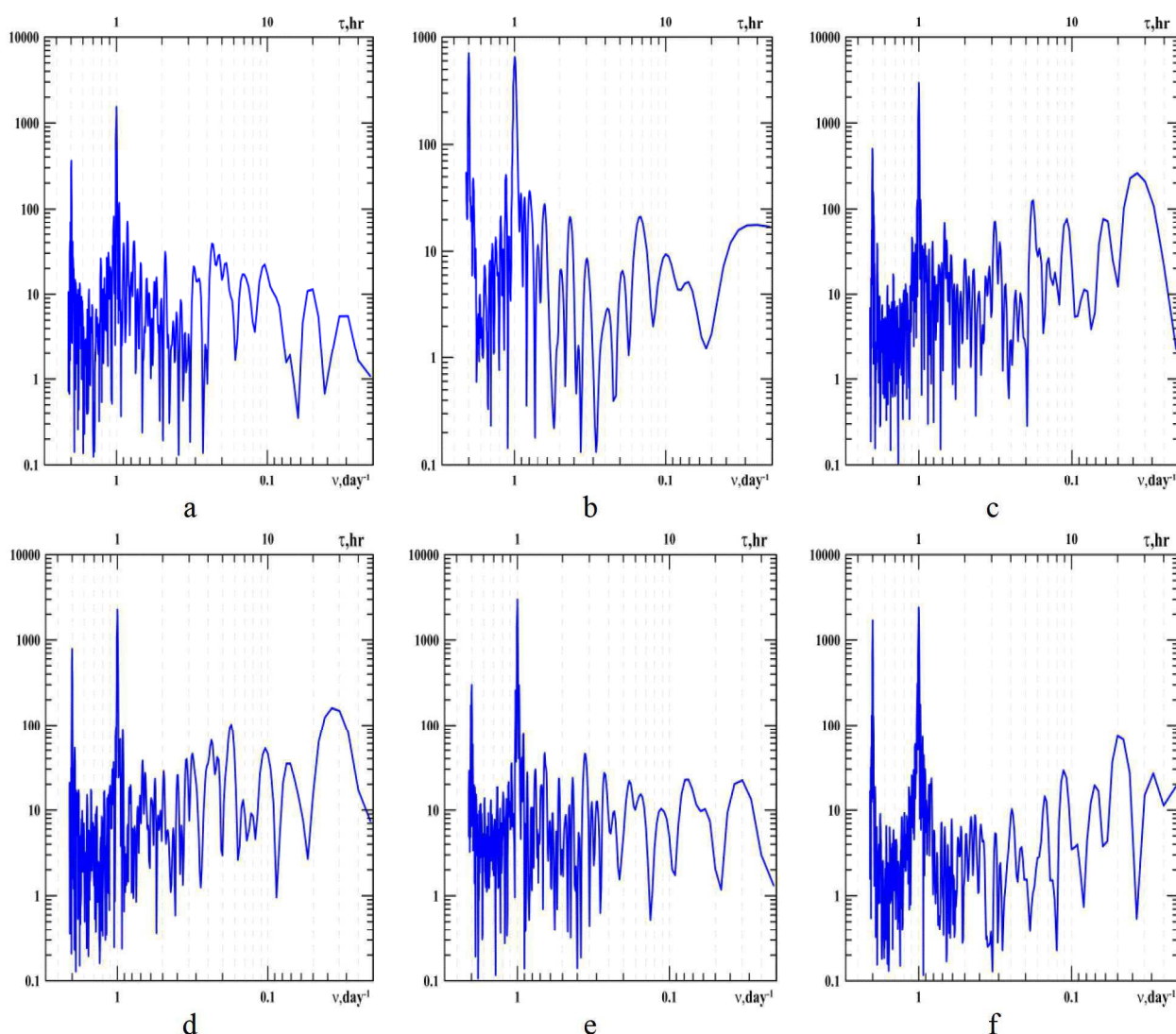


Рисунок 1 – Спектры критической частоты  $f_0F_2$  в Санкт-Петербурге для 60-дневных интервалов, центрированных в следующие даты: 2018.08.16 (a), 2019.02.02 (b), 2019.05.01 (c), 2019.05.31 (d), 2019.09.04 (e) и 2019.12.03 (f)

На рис. 1 представлены примеры спектров для 60-дневных интервалов измерений в 2018 и 2019 гг, когда были зарегистрированы достаточно большие количества  $n$  экспериментальных значений параметра  $f_0F_2$ . На всех спектрах рис. 1 видны главные максимумы на периоде  $\tau = 1/\nu = 1$  сут, которые отражают изменения ионосферных параметров в течение суток, в том числе

под действием суточного прилива. Видны также максимумы на  $\tau = 0.5$  сут, которые соответствуют первой гармонике суточных колебаний (полусуточному приливу). Присутствуют также спектральные максимумы в области периодов  $\tau \sim 2 - 40$  сут. В таблице 1 представлены периоды и амплитуды (в относительных единицах) для 10 максимумальных пиков на соответствующих спектрах, изображенных на рис. 1. Можно выделить часто повторяющиеся максимумы вблизи периодов  $\tau \sim 30, 20, 16, 13, 9, 7, 5, 4, 3, 2.3$  сут. Эти периоды соответствуют диапазону периодов волновых мод ПВ, которые наблюдаются в нижней и средней атмосфере.

Таблица 1. Значения периодов  $\tau_i$  в сутках и амплитуд  $S_i$  в относительных единицах для 10-ти ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) главных максимумов спектров, изображенных на рис. 1. Параметры:  $n$  – число значений, измеренных в течение соответствующего 60-дневного интервала;  $\langle f_0F2 \rangle$  – среднее значение критической частоты слоя F2;  $\delta f_0F2$  – дисперсия критической частоты

Date	2018.08.16	2019.05.01	2019.05.31	2019.09.04	2019.12.03
$n$	5470	9940	9440	9600	9420
$\langle f_0F2 \rangle$ , MHz	3.8	3.9	3.9	3.6	3.2
$\delta f_0F2$ , MHz	0.83	0.85	0.74	0.84	1.2
$\tau_1(\text{day}) / S_1$	34 / 5.6	27 / 260	27 / 160	30 / 22	20 / 74
$\tau_2(\text{day}) / S_2$	20 / 11	16 / 77	13 / 35	13 / 23	14 / 20
$\tau_3(\text{day}) / S_3$	9.6 / 22	9.2 / 77	9.6 / 53	8.9 / 10	8.9 / 30
$\tau_4(\text{day}) / S_4$	6.9 / 17	7.1 / 26	6.9 / 13	6.5 / 15	6.7 / 14
$\tau_5(\text{day}) / S_5$	5.3 / 23	5.6 / 130	5.7 / 102	5.4 / 22	4.7 / 3.7
$\tau_6(\text{day}) / S_6$	3.9 / 30	4.3 / 5.6	4.2 / 66	3.8 / 27	4.1 / 10
$\tau_7(\text{day}) / S_7$	3.2 / 21	3.1 / 71	3.2 / 46	2.8 / 45	2.6 / 6.8
$\tau_8(\text{day}) / S_8$	2.5 / 6.1	2.0 / 26	2.5 / 26	2.3 / 23	2.3 / 8.7
$\tau_9(\text{day}) / S_9$	1.0 / 1500	1.0 / 2920	1 / 2260	1.0 / 2990	1.0 / 2400
$\tau_{10}(\text{day}) / S_{10}$	0.5 / 140	0.5 / 500	0.5 / 790	0.5 / 120	0.5 / 1690

Максимальные амплитуды в таблице 1 присутствуют на периодах суточных и полусуточных колебаний. В области ПВ амплитуды  $S_i > 50$  в таблице 1 отмечаются на периодах  $\tau \sim 27, 20, 16, 9.4, 5.6, 4.2, 3.1$  сут. Таблица 1 также показывает, что при заданном периоде ПВ их амплитуды значительно меняются в зависимости от даты измерений. Такая изменчивость может быть связана с изменением амплитуд ПВ, распространяющихся в ионосферу из нижележащих слоев атмосферы. Кроме того, может изменяться интенсивность генерации возмущений глобального масштаба в самой ионосфере под действием изменяющейся солнечной и геомагнитной активности.

В литературе обсуждались различные механизмы проникновения мод планетарных волн из области мезосферы-нижней термосферы (МНТ) на высоты F2 слоя. Одним из механизмов предполагается изменения концентрации атомарного кислорода вблизи турбопаузы под действием ПВ, которые затем распространяются на большие высоты [3, 4]. На связь колебаний

планетарного масштаба в области МНТ и в ионосфере указывают, например, одновременные изменения скорости ветра в этих областях, обнаруженные в [4]. Часто большие амплитуды волн с периодами 2 – 40 сут в таблице 1 обнаруживаются весной и осенью, когда ветры, направленные на запад в стратосфере препятствуют распространению ПВ из нижней атмосферы в термосферу. Однако, следует учесть, что ПВ могут распространяться из средней атмосферы зимнего полушария в летнюю термосферу вдоль волноводов, которые пересекают экватор на высотах больших 60 км.

Для более полного понимания механизмов связей между колебаниями планетарного масштаба в ионосфере и ПВ в нижележащих областях атмосферы требуется дополнительное исследование с использованием данных за большее число лет. В частности, требуется прямое сопоставление частот и амплитуд ПВ, наблюдаемых в нижней и средней атмосфере с теми же параметрами ионосферных колебаний.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 20-77-10006. Использованные данные, получены в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель».

1. *Lomb N.* Least-squares frequency analysis of unequally spaced data // *Astrophysics and space science*. 1976. V. 39. №. 2. P. 447–462.

2. *Scargle J. D.* Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // *Astrophysical Journal, Part 1*. 1982. V. 263. P. 835-853.

3. *Pancheva D., Lysenko I.* Quasi-to-day fluctuations observed in the summer F region electron maximum // *Bulg. Geophys. J.* 1988. P. 24.

4. *Stray N.H., Espy P.J.* Planetary wave-like oscillations in the ionosphere retrieved with the longitudinal chain of ionosondes at high northern latitudes // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2018. V.171. P. 225-233.