



IRKUTSK 2017

ATMOSPHERIC and OCEAN OPTICS. ATMOSPHERIC PHYSICS

XXIII Международный Симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (г. Иркутск, 3–7 июля 2017 г.).

Материалы

XXIII International Symposium “Atmospheric and Oceanic Optics. Atmospheric Physics” (Irkutsk, Russia, July 3 – 7, 2017)

Russian Proceedings

Сборник представляет интерес для специалистов в области физики, оптики атмосферы и океана, радиофизики, акустики, метеорологии и экологии.

Электронное издание

PC Pentium 1 или выше; CD-ROM 16-х или выше; мышка

ISBN 978-5-94458-167-9

© ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева, 2017

Acrobat Reader 4.0 или выше

Электронные формы предоставлены авторами, которые и несут ответственность за содержание и оформление текста.

Ответственный за выпуск – О.А. Романовский

Подписано к использованию 18.06.2017 г. 188 МБ. 1 CD-ROM. 300 экз.

Издательство ИОА СО РАН, 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.
Тел. 8-3822-492384

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ГНСС СПУТНИКОВ.

Н. М. Гаврилов, Р. О. Мануйлова

Санкт-Петербургский государственный университет, Кафедра физики атмосферы, Ульяновская ул. 1, 198504, Санкт-Петербург, gavrilov@pobox.spbu.ru, nansev@vandex.ru

Ключевые слова: средняя атмосфера, радиорефракция, ГНСС спутники, температура, акустико-гравитационные волны, климатология

Рассматривается глобальная климатология мезомасштабных вариаций атмосферных параметров на высотах 2 – 35 км по данным радиозатменных экспериментов с помощью низкоорбитальных спутников, принимающих ГНСС сигналы. Численная фильтрация вертикальных профилей радиорефракции дает информацию о дисперсии вариаций с вертикальными масштабами меньшими 8 км. Глобальные распределения дисперсий подвержены значительным межгодовым изменениям в тропо-стратосфере. Анализируются сезонные изменения дисперсий радиорефракции и температуры. В низких широтах существуют квазидвухлетние колебания. Причинами мезомасштабной изменчивости могут быть конвекция, акустико-гравитационные волны и турбулентность в атмосфере.

Благодаря интенсивным исследованиям, включая спутниковые данные, за последние годы произошло значительное увеличение знаний о вариациях параметров атмосферы под воздействием волн, конвекции и турбулентности. С возникновением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), они используются для изучения параметров атмосферы. Измерение изменений фаз радиосигналов, принимаемых от нескольких ГНСС спутников, дает возможность определить не только координаты приемника, но и вертикальные профили показателя преломления атмосферы для радиоволн.

Эксперименты по радиозатменному спутниковому зондированию атмосферы радиосигналами ГНСС были начаты с помощью приемника, установленного на спутнике Microlab-1 в 1995-1997 годах [1]. В этом эксперименте была получена информация о мезомасштабных изменениях параметров атмосферы, причиной которых могут быть динамические и волновые процессы [2,3]. Исследования мезомасштабных вариаций с помощью радиозатменных ГНСС экспериментов были продолжены со спутника CHAMP в 2001 – 2009 гг. и со спутников космической группы COSMIC, начиная с 2006 г.

В [4,5] изучались относительные вариации $\delta N_r/N_r$ из данных спутникового эксперимента GPS/MET как индикатор мезомасштабной изменчивости на всех высотах в атмосфере, где δN_r — дисперсия мезомасштабной компоненты радиорефракции, измеряемой по сигналам ГНСС

спутников. В данной работе мы исследуем высотно-широтные распределения дисперсий радиорефракции и температуры по данным о преломлении ГНСС радиосигналов, регистрировавшихся на указанных выше низкоорбитальных ГНСС спутниках. Выше 30-35 км могут возникать существенные погрешности из-за неполного исключения ионосферного вклада. Исследование мезо-масштабной изменчивости атмосферных характеристик требует отфильтровывания крупномасштабных компонент. В данном исследовании вертикальные масштабы меньше 8 км выделяются цифровыми фильтрами, основанными на полиномиальной аппроксимации [4, 5].

Оценки мезомасштабных дисперсий изображены на Рис. 1, где левый и правый графики соответствуют январю и июлю с усреднением за 2001 – 2008 гг. Рис. 1а показывает главные максимумы дисперсий радиорефракции на высотах 15 - 25 км около экватора. На рис. 1а видны также повышенные дисперсии на высотах 5 – 10 км в областях тропо-стратосферных струйных течений. Рис. 1а показывает сезонные изменения дисперсий, которые на высотах 5 – 15 км больше в летнем полушарии. На высотах более 20 км дисперсии больше в зимние сезоны северного и южного полушарий.

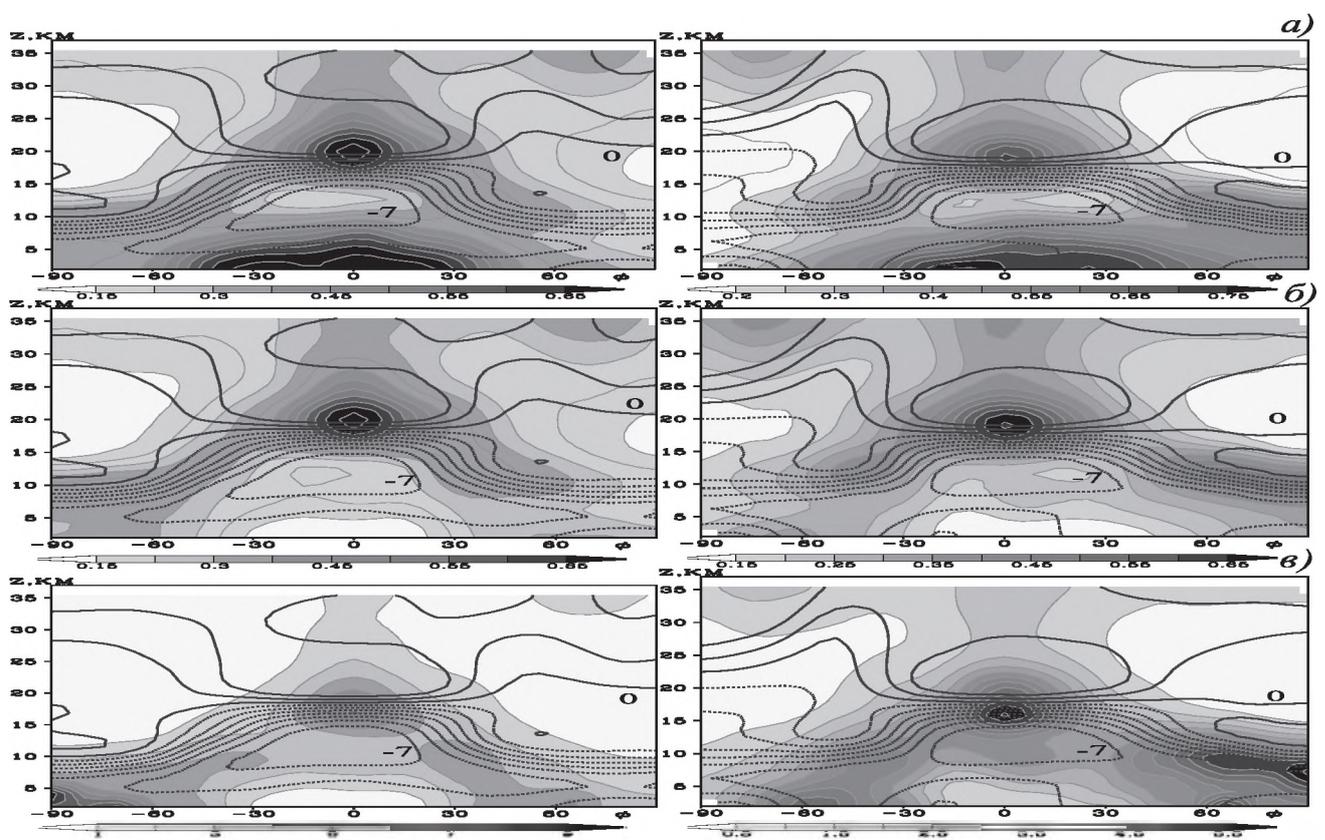


Рис. 1. Зависимости от высоты z и широты ϕ (в град) мезомасштабных дисперсий $\delta N_r/N_r$ (%) – а, $\delta T_w/T_w$ (%) – б и E_p (m^2/c^2) – в для января (слева) и июля (справа) с усреднением за 2001 – 2008 гг. Жирные контуры – dT/dz в $^{\circ}K/км$.

В [4,5] показано, что $\delta N_r/N_r \approx \delta T_d/T_d$, где T_d – так называемая «сухая» температура, вычисляемая без учета влажности воздуха. В тропосфере на показатель преломления может влиять влажность, при учете которой определяется «влажная» температура T_w , изображенная на рис. 1б. Мезомасштабные дисперсии связаны с волнами, конвекцией и турбулентностью. Во многих исследованиях они характеризуются потенциальной энергией $E_p = (g^2/N^2)(\delta T/T)^2/2$ (где g – ускорение силы тяжести, N – частота Брента-Вяйсяля), которая приведена на рис. 1в.

Рис. 2 представляет широтно-долготные распределения E_p в различных высотных слоях для января (слева) и июля (справа). Рис. 2 показывает распределения интенсивностей мезометеорологических, волновых и конвективных процессов в фиксированных высотных слоях.

В средних широтах на высотах ниже 10 км максимумы E_p связаны с конвективной активностью. На высоте 10 км максимальные значения E_p на рис. 2в коррелируют с расположением тропосферных струйных течений, имеющих максимумы на высотах 10-12 км. На высоте 20 км и широтах от 20° ю.ш. до 20° с.ш. максимумы E_p на Рис. 2б могут быть связаны с конвективными и волновыми процессами в экваториальной области. Главное различие между левыми и правыми рис. 2 — сезонные изменения на высотах более 20 км, где дисперсии мезомасштабной изменчивости больше в зимние сезоны каждого полушария (см. рис.2а).

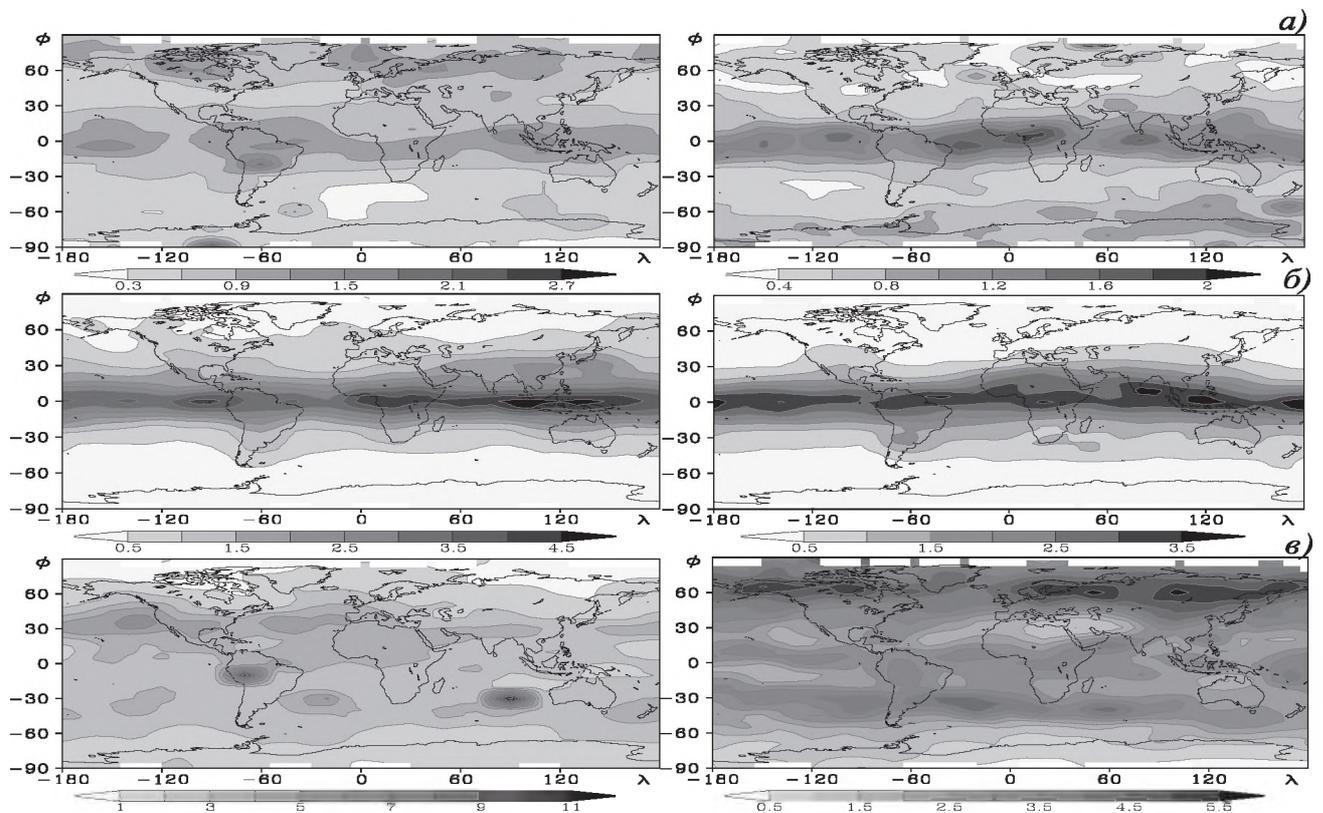


Рис. 2. Зависимости E_p от широты ϕ и долготы λ (в град) на высотах 30 км – а, 20 км – б и 10 км – в для января (слева) и июля (справа), усредненные за 2001 – 2008 гг.

Анализ временных вариаций среднезональных дисперсий на различных широтах в разных высотных слоях выявил годовые вариации дисперсий радиорефракции и температуры атмосферы на средних и высоких широтах. Ниже 15 км дисперсии максимальны на широтах выше $40 - 50^\circ$ в северном и южном полушариях в соответствующие летние сезоны. В стратосфере на высотах 25 - 30 км максимумы дисперсии наблюдаются в зимние сезоны каждого полушария. В экваториальной области выше 15 км существуют квазидвухлетние колебания с максимумами дисперсий в зимние сезоны 2002, 2004, 2006 и 2008 гг [6].

Обнаружены положительные корреляции между дисперсиями мезомасштабных вариаций радиорефракции и частотой Брента-Вяисьяля на высотах 5 - 15 км. В тропосфере на средних и высоких широтах обоих полушарий N^2 имеет максимумы в соответствующие летние сезоны, которым соответствуют максимумы мезомасштабных дисперсий радиорефракции [6].

В низких широтах существуют квазидвухлетние колебания N^2 с локальными максимумами, которые соответствуют максимумам квазидвухлетних колебаний дисперсий радиорефракции.

Изменения в струйных течениях и частоте Брента-Вяисьяля могут влиять на временные, широтные и долготные структуры мезомасштабных дисперсий показателя преломления и температуры в атмосфере.

Благодарности. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований.

Цитируемая литература.

1. Rocken C., Athes R., Exner M., Hunt D., Sokolovskiy S., Ware R., Gorbunov M., Schreiner W., Feng D., Herman B., Kuo Y.-H., Zou X. Analysis and validation of GPS/MET data in the neutral atmosphere // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № D25. P. 29849-29866.
2. Tsuda T., Nishida M., Rocken C., Ware R. H. 2000. A global morphology of gravity wave activity in the stratosphere revealed by the GPS occultation data (GPS/MET) // J. Geophys. Res. 2000. V. 105, № D6. P. 7257-7274.
3. Alexander M. J., Tsuda T., Vincent R. A., 2002. Latitudinal variations observed in gravity waves with short vertical wavelengths // J. Atmos. Sci. 2002. V. 59. № 8. P. 1394-1404.
4. Gavrilov N. M., Karpova N. V., Jacobi Ch, Gavrilov A. N., 2004. Morphology of atmospheric refraction index variations at different altitudes from GPS/MET satellite observations. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2004. V. 66. № 6-9. P. 427-435.
5. Гаврилов Н.М., Карпова Н.В. Глобальная структура мезомасштабной изменчивости атмосферы по спутниковым измерениям рефракции радиоволн // Изв. РАН, физика атмос. оксана. 2004. Т. 40. № 6. С. 747-758.
6. Гаврилов Н. М., Мануйлова Р. О. Многолетние глобальные распределения мезомасштабных вариаций радиорефракции атмосферы по данным GPS спутника CHAMP // Изв. РАН, Радиофиз. 2016. Т. 59, № 7, С. 593 – 604.