

## **Связь волновых процессов на высотах мезосферы–нижней термосферы с сильными возмущениями в тропосфере при различных сопутствующих условиях в тропосфере и стратосфере**

**А.Б. Белецкий, М.А. Черниговская, А.В. Михалев, М.А. Тащилин**

*Учреждение Российской академии наук Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения РАН (ИСЗФ СО РАН)  
664033 Иркутск, а/я 291  
E-mail: beletsky@iszf.irk.ru*

В работе приведены данные анализа волновых возмущений в верхней атмосфере Земли, выявленных с помощью регистрации собственного свечения атмосферы в регионе Восточной Сибири. Наблюдения проводились с помощью оптического комплекса Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E), включающего в себя широкоугольные ПЗС–камеры, спектрограф для измерения температуры нейтральной атмосферы на высотах ~ 80-100 км (ОН(6-2)) и 4-х канальный зенитный фотометр. Проведено сопоставление моментов наблюдения волновых возмущений с периодами деятельности тропических циклонов (ТЦ) в юго-западной акватории Тихого океана. Используя оценочные соотношения между периодами внутренних гравитационных волн (ВГВ) и горизонтальной дальностью от источника ВГВ до точки наблюдения, были рассчитаны предполагаемые периоды ВГВ для траекторий рассматриваемых ТЦ. Получено хорошее совпадение между значениями экспериментально наблюдаемых периодов возмущений и расчетными периодами ВГВ. Это косвенно может указывать на то, что ТЦ могут являться источниками возмущений, наблюдаемых на значительном удалении от региона действия ТЦ.

**Ключевые слова:** Атмосферные эмиссии, внутренние гравитационные волны, температура на высотах мезосферы – нижней термосферы, распространение волновых возмущений.

### **Введение**

В настоящее время существует достаточное количество экспериментальных указаний на проявление в вариациях атмосферных параметров – в частности, в эмиссиях верхней атмосферы, процессов и явлений, источники которых локализованы в литосфере, тропосфере и стратосфере Земли. В ряде случаев, источники возмущений достаточно сильно удалены от места регистрации собственного свечения верхней атмосферы.

Волновой механизм является одним из эффективных механизмов взаимодействия между слоями атмосферы и воздействия со стороны нижних слоев атмосферы. Локальные импульсные возмущения в нижней атмосфере возбуждают широкий пространственно-временной спектр гравитационных волн, который фильтруется по мере распространения волн в атмосфере. Распространяясь вверх по наклонным траекториям, внутренние гравитационные волны (ВГВ) переносят энергию из тропосферы в среднюю атмосферу и ионосферу на многие сотни и даже тысячи километров. При этом амплитуда ВГВ растет. Достигая мезосферы волны могут разрушаться, и это приводит к локальному нагреванию и движениям атмосферного газа (Vincent, 2009; Ахмедов и Куницын, 2004; Ерохин и др., 2007; Куницын и др., 2007).

Ранее нами был проведен предварительный анализ вариаций интенсивности эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм в период действия тропических циклонов (ТЦ) в декабре 2003 г. и сентябре 2007 г. (Белецкий и др., 2009; Белецкий и др., 2010а; Белецкий и др., 2010б). 20 и 21 декабря 2003 г., когда начал действовать ТЦ в акватории Тихого океана отмечалось существенное (по сравнению с предыдущими днями) увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм в диапазоне периодов 30-60

мин. Для сентября 2007 г. аналогичного заметного увеличения амплитуд вариаций интенсивности эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм, связанного с проявлениями тропического циклогенеза, выявить не удалось. Если связывать увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм в декабре 2003 г. с деятельностью ТЦ, то отсутствие аналогичных существенных проявлений в сентябре 2007 г. могло быть обусловлено разными условиями распространения волновых возмущений в различные сезоны или особенностями формирования, развития и взаимодействия с вышележащей атмосферой конкретных рассматриваемых ТЦ.

Нами была продолжена работа по выявлению возмущений в мезосфере–нижней термосфере, вызванных действием ТЦ в северо-западной акватории Тихого океана, с привлечением дополнительных экспериментальных данных вращательной температуры гидроксильной эмиссии. Выявление ВГВ в вариациях интенсивностей эмиссионных линий и полос представляет гораздо большие трудности и является менее эффективным. На колебания интенсивностей могут влиять и другие факторы, например, перенос компонентов верхней атмосферы в результате циркуляции (Фишкова, 1983). Кроме того, при наблюдении с поверхности Земли вклад вносят колебания прозрачности атмосферы. В то же время, свойства прозрачности практически одинаковы на узких участках спектра шириной 5-10 нм в области 700-1100 нм, если они свободны от полос поглощения водяного пара. Поэтому вращательная температура гидроксильной эмиссии, определяемая по отношению одновременно измеренных интенсивностей пары спектрально близко расположенных линий, оказывается не зависящей от вариаций прозрачности атмосферы (Шефов и др., 2006).

### **Используемые данные и оборудование**

В исследовании использовались следующие экспериментальные данные наземных измерений:

- Вариации интенсивности и вращательной температуры эмиссии ОН(6-2) (высота высвечивания ~ 90 км).
- Пространственное распределение интенсивности собственного излучения атмосферы в спектральном диапазоне 720-900 нм.
- Эпизодически привлекались данные о вариациях интенсивности эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм (высоты высвечивания 85-115 км).

Данные получены с помощью оптического комплекса Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52N, 103E), включающего в себя следующее оборудование:

- Прибор для измерения температуры нейтральной атмосферы на высотах ~80-100 км (ОН(6-2)), созданный на базе спектрографа СП-48 и оснащенный приемником излучения с высокочувствительной в ИК области ПЗС–линейкой. Спектральный диапазон прибора 820-870 нм. Поле зрения ~11 градусов.
- Широкоугольная ПЗС–камера с полем зрения около 90 градусов.
- 4-х канальный зенитный фотометр «Феникс». Спектральные диапазоны каналов: 1 – 557,7 нм, 2 – 630 нм, 3 – 720-830 нм, 4 – 360-410 нм. Поле зрения ~4 градусов.

Траектории ТЦ и их характеристики были получены из электронной базы глобального тропического циклогенеза Астрономической обсерватории Гавайского университета (<http://www.solar.ifa.hawaii.edu/Tropical/Data>).

## Анализ данных и обсуждение результатов

По данным Астрономической обсерватории Гавайского университета в акватории северо-запада Тихого океана в 2009-2010 гг. зарегистрирован 51 ТЦ. В интервалы работы наземного оборудования Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (ГФО ИСЗФ СО РАН) для регистрации собственного свечения атмосферы частично или полностью попали 32 ТЦ. Из них 19 – в 2009 г. и 13 – в 2010 г. В том числе супер-тайфунов 4 и 5 категории – 7 событий. Тайфунов с категориями 1-3 – 9 событий (в соответствии со шкалой Саффира-Симпсона). В предположении, что оптимальные условия для формирования и распространения ВГВ на дальние расстояния выполняется не для всех ТЦ, мы проанализировали данные для восьми событий, во время которых наблюдаются выраженные вариации интенсивности и/или вращательной температуры ОН(6-2) в точке наземных наблюдений (ГФО ИСЗФ СО РАН). Периоды зарегистрированных наземными оптическими методами вариаций от 2-х до 7 часов.

Например, на рис. 1 приведена траектория движения супер-тайфуна 4 категории LUPIT (время действия с 14 по 26.10.2009). На рис. 2 приведена вращательная температура ОН(6-2) за 15, 16 и 17 октября 2010 г. 17.10.2010 наблюдаются выраженные вариации вращательной температуры с периодом ~3,5 часов. 17 октября отмечается возрастание энергетики ТЦ LUPIT до максимального значения (см. рис. 1).

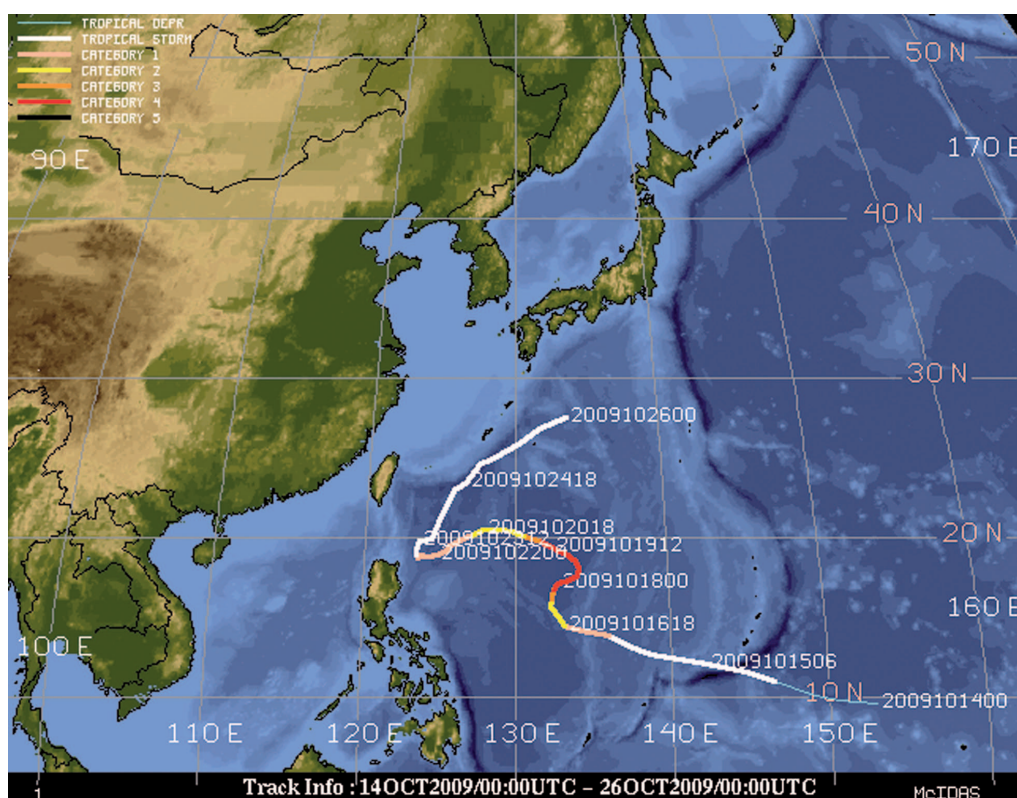


Рис. 1. Траектория движения супер-тайфуна 4 категории LUPIT (14-26.10.2009)

Периоды выраженных вариаций интенсивности и/или вращательной температуры ОН(6-2), которые были выделены из экспериментальных оптических наблюдений, а также удаление области действия ТЦ от пункта наблюдения атмосферных эмиссий, приведены в табл. 1. Существует оценочное соотношение (1) между периодами ВГВ и горизонтальной дальностью от источника ВГВ до точки наблюдения (Шефов и др., 2006)

$$X = Z \cdot [(\tau/\tau_g)^2 - 1]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $X$  – дальность по горизонтали;  $Z$  – высота слоя (90 км);  $\tau$  – период ВГВ;  $\tau_g$  – период Брандта-Вяйсяля (5,5 мин).

С использованием соотношения (1) нами были получены расчетные периоды ВГВ в зависимости от дальности до места действия рассматриваемых ТЦ (табл. 1)

Таблица 1. Наблюдаемые периоды выраженных вариаций параметров атмосферной эмиссии ОН(6-2) и расчетные периоды ВГВ в зависимости от удаления области действия ТЦ от точки наблюдения атмосферных эмиссий

Имя ТЦ	Время действия ТЦ	Класс	Дальность, км	Тнабл., час	Трасч., час
KROVANH	28.08.2009 31.08.2009	Tropical Storm	3700	2,5	3,8
MUJIGA	09.09.2009 12.09.2009	Tropical Depression	3500	2	3,6
CHOI_WAN	12.09.2009 20.09.2009	Super Typhoon-5	4900	5	5
KETSANA	25.09.2009 29.09.2009	Typhoon-2	4200	5	4,3
PARMA	27.09.2009 14.10.2009	Super Typhoon-4	5900	6	6
LUPIT	14.10.2009 26.10.2009	Super Typhoon-4	4100	3,5	4,2
25W	07.11.2009 09.11.2009	Tropical Storm	3300	3,5	3,4
ONE	18.01.2010 19.01.2010	Tropical Depression	4800	6,5	4,9

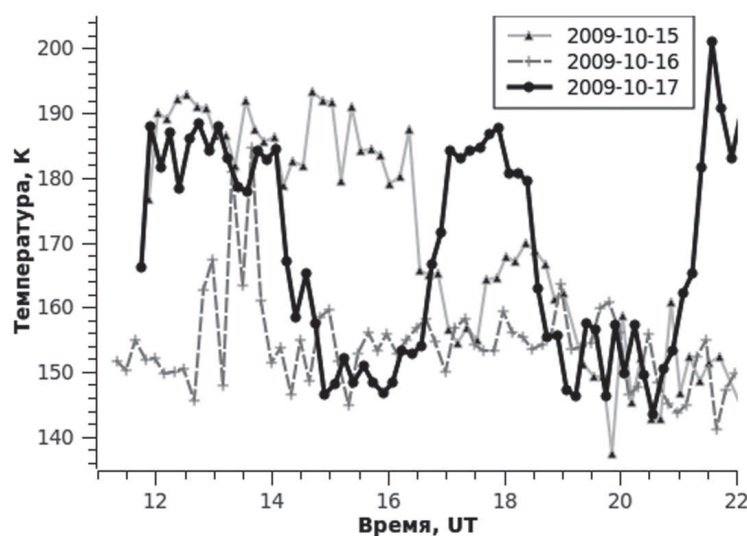


Рис.2. Вращательная температура ОН(6-2) 15, 16 и 17 октября 2009 г. во время действия ТЦ LUPIT

Получено хорошее совпадение между значениями экспериментально наблюдаемых периодов возмущений и расчетными периодами ВГВ. Это косвенно может указывать на то,

что ТЦ могут являться источниками возмущений, наблюдаемых на значительном удалении от региона действия ТЦ.

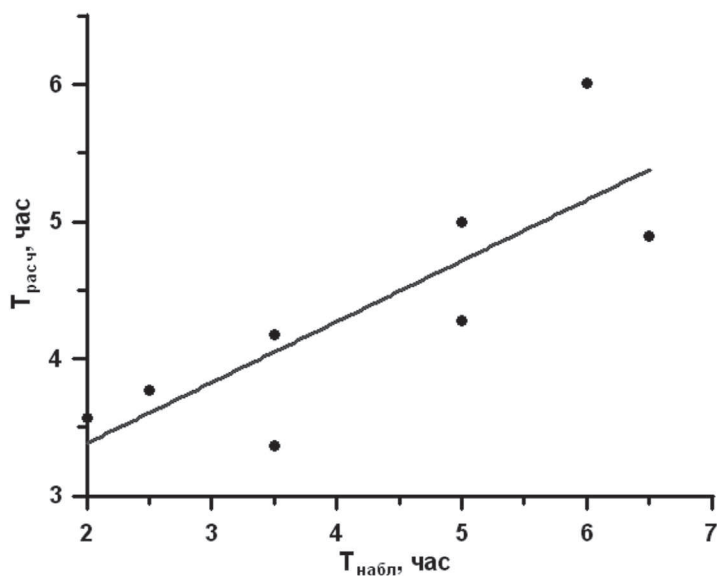


Рис. 3. Линия регрессии зависимости наблюдаемых периодов возмущений и расчетных периодов ВГВ для различных горизонтальных дальностей

На рис. 3 приведена линия регрессии зависимости наблюдаемых периодов возмущений и расчетных периодов ВГВ для различных горизонтальных дальностей.



Рис. 4. Схема разбиения кадра ПЗС-камеры на отдельные части для определения направления распространения возмущений

Была сделана попытка выявить направление и скорость перемещения наблюдаемых возмущений с помощью данных о пространственном распределении интенсивности собственного излучения верхней атмосферы в диапазоне длин волн 720-900 нм, полученных с использованием ПЗС-камеры. Для этого применялся следующий алгоритм. Кадр камеры разбивался на отдельные части (см. рис. 4). Далее подсчитывалась сумма интенсивностей в каждой части, проводилась нормировка и строились кривые интенсивностей за ночь

отдельно для каждой части. Для вариаций с периодами более 2-х часов направление и скорость распространения выявить не удалось. Это может быть связано с недостатками используемого алгоритма выделения возмущений применительно к случаю длиннопериодных возмущений, а также с неблагоприятными погодными условиями во время оптических наблюдений. Пример вариаций интенсивностей отдельных частей кадра ПЗС-камеры для 15.10.2009 в период действия ТЦ LUPIT приведен на рис. 5.

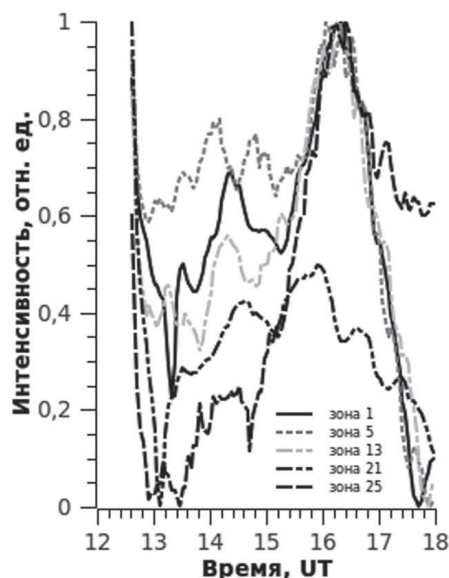


Рис. 5. Относительная интенсивность отдельных частей кадра ПЗС-камеры 15 октября 2009 г. в интервал времени с ясной погодой во время действия ТЦ LUPIT (14-26.10.2009)

### Заключение

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

- В 8-ми из рассматриваемых случаев в вариациях интенсивности и/или вращательной температуры эмиссии ОН(6-2) в период действия ТЦ наблюдались выраженные возмущения с периодами от 2-х до 7 часов.
- Согласно теории распространения ВГВ, используя оценочные соотношения между периодами ВГВ и горизонтальной дальностью от источника ВГВ до точки наблюдения, были рассчитаны предполагаемые периоды ВГВ для траекторий рассматриваемых ТЦ. Получено хорошее совпадение между значениями экспериментально наблюдаемых периодов возмущений и расчетными периодами ВГВ. Это косвенно может указывать на то, что ТЦ могут являться источниками возмущений, наблюдаемых на значительном удалении от региона действия ТЦ.

### Литература

1. Ахмедов Р.Р., Куницын В.Е. (2004) Моделирование ионосферных возмущений, вызванных землетрясениями и взрывами // Геомагнетизм и аэрономия, 2004. Т. 44. № 1. С. 105-112.

2. *Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Шарков Е.А., Покровская И.В.* (2010а) Исследование возможности проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы Земли // *Исследование Земли из космоса*, 2010. № 4. С. 41-49.
3. *Белецкий А.Б., Михалев А.В., Татарников А.В., Тащилин М.А., Черниговская М.А., Шарков Е.А., Покровская И.В., Хи Јјуао* (2010б) Исследование вариаций параметров собственного свечения верхней атмосферы, связанных с возмущениями в тропо- и стратосфере Земли // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2010. Т. 7. № 1. С. 75-82.
4. *Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Шарков Е.А., Покровская И.В.* (2009) Проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы на высотах мезосферы–нижней термосферы в регионе юга Восточной Сибири // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2009. Вып. 6. Т. II. С. 82-88.
5. *Ерохин Н.С., Михайловская Л.А., Шалимов Л.С.* (2007) Прохождение крупномасштабных внутренних гравитационных волн на ионосферные высоты через ветровые структуры в нижней и средней атмосфере // *Геофизические исследования*, 2007. Вып. 7. С. 53-64.
6. *Куницын В.Е., Сураев С.Н., Ахмедов Р.Р.* (2007) Моделирование распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере для различных поверхностных источников // *Вестник Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия*, 2007. № 2. С. 59-63.
7. *Фишкова Л.М.* Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли // *Тбилиси: Мецниереба*, 1983. 271 с.
8. *Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю.* Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики // *М.: ГЕОС*, 2006, 740 с.
9. *Vincent R.A.* Gravity wave coupling from below: A review // *Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES): Selected Papers from the 2007 Kyoto Symposium*. Tokyo: TERRAPUB, 2009. P. 279-293.

## **Relationship of wave process at altitude of the mesosphere–lower termosphere with strong disturbances in the troposphere during various accompanying conditions in the troposphere and stratosphere**

**A.B. Beletsky, M.A. Chernigovskaya, A.V. Mikhalev, M.A. Tashchilin**

*Institute of Solar-Terrestrial Physics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
664033, Irkutsk p/o box 291; Lermontov st., 126a  
E-mail: beletsky@iszf.irk.ru*

The paper presents data analysis of wave disturbances in the Earth's upper atmosphere identified by recording their own airglow in the region of Eastern Siberia. The observations were made using an optical range of geophysical observatory of ISTP SB RAS (52 ° N, 103 ° E), comprising the wide-angle CCD – camera, a spectrograph to measure the temperature of the neutral atmosphere at altitudes of 80-100 km (OH (6-2)) and 4 -channel zenith photometer. A comparison of observation of wave disturbances with the time of the tropical cyclones in the southwest Pacific Ocean. Using the estimated ratio between the periods of internal gravity waves (IGW) and horizontal range of the IGW source to the observation point, we calculated the estimated IGW period for tropical cyclone trajectories under consideration. A good agreement between the values of experimentally observed and calculated periods of the perturbation IGW period. This indirectly may indicate that tropical cyclones can be sources of disturbances observed at great distances from the region of the tropical cyclone.

**Keywords:** Atmospheric emissions, internal gravity waves, the temperature at altitudes of the mesosphere – lower termosphere, wave disturbances