

# Проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы на высотах мезосферы – нижней термосферы в регионе юга Восточной Сибири

А.Б. Белецкий<sup>1</sup>, А.В. Михалев<sup>1</sup>, М.А. Черниговская<sup>1</sup>, Е.А. Шарков<sup>2</sup>, И.В. Покровская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН  
664033, г. Иркутск, а/я 291  
E-mail: [beletsky@iszf.irk.ru](mailto:beletsky@iszf.irk.ru)*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований РАН  
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32*

В работе рассматривается задача возможности регистрации деятельности тропических циклонов по возмущению в собственном свечении верхней атмосферы в дальней от тропических циклонов зоне. 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 (землетрясения, орографические эффекты, метеорологические образования (фронты, окклюзии, циклоны, струйные течения), стратосферные потепления, запуски космических аппаратов и др.). В ряде случаев, источники возмущений достаточно удалены от места регистрации собственного свечения верхней атмосферы. Задачи идентификации таких проявлений в излучении верхней атмосферы Земли для разных источников возмущений решены в различной степени. Проявление циклонической деятельности в излучении верхней атмосферы относится к наименее изученным эффектам, что, вероятно, обусловлено сложностью задачи, связанной в ряде случаев с подобием пространственно-временных спектров регистрируемых возмущений от различных источников. В работе приводятся и обсуждаются некоторые примеры возмущений в излучении верхней атмосферы, регистрируемых в регионе юга Восточной Сибири, как от идентифицированных источников, так и от источников неизвестной природы, применительно к возможности регистрации проявлений процессов тропического циклогенеза в зоне, удаленной от региона деятельности тропических циклонов. В частности, рассматриваются особенности спектров вариаций атмосферных эмиссий 557.7 нм, наблюдаемых в регионе юга Восточной Сибири в 2003 и 2007 гг., в периоды деятельности тропических циклонов в юго-западной акватории Тихого океана. Отмечается необходимость уточнения теоретической концепции и разработки экспериментальной методики исследования проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении верхней атмосферы Земли.

**Ключевые слова:** собственное свечение верхней атмосферы, взаимодействие слоев атмосферы, волновые возмущения, тропические циклоны

## 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 ниже – в стратосфере, тропосфере и литосфере Земли. В ряде случаев, источники возмущений достаточно удалены от места регистрации собственного свечения верхней атмосферы. Задачи идентификации таких проявлений в излучении верхней атмосферы Земли для разных источников возмущений решены в различной степени. Проявление циклонической деятельности в излучении верхней атмосферы относится к наименее изученным эффектам, что, вероятно, обусловлено сложностью задачи, связанной с подобием пространственно-временных спектров регистрируемых возмущений от различных источников.

В литературе приводятся экспериментальные данные (например, см. [1]), свидетельствующие о том, что сильные метеорологические возмущения могут служить источниками внутренних

гравитационных волн (ВГВ), которые при определенных условиях проникают на высоты ионосферы и проявляются в виде перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) с характерными периодами от 5 мин до 3 час. Одним из мощнейших по энергетике потенциальных источников воздействия "снизу" рассматриваются метеорологические возмущения в тропосфере - тропические циклоны. Однако надежного экспериментального и теоретического подтверждения этим гипотезам не получено до сих пор.

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 внутренних гравитационных волн, который фильтруется по мере распространения волн в атмосфере. Источниками ВГВ, распространяющихся снизу в верхнюю атмосферу и ионосферу, могут быть: тропосферные циклоны, фронтальные системы, струйные течения, полярная и экваториальная токовые системы, связанные с магнитными бурями, солнечный терминатор, ураганы, грозы, ядерные испытания, землетрясения, извержения вулканов, сверхзвуковой полет ракет и т.д.

Распространяясь вверх по наклонным траекториям, ВГВ переносят энергию из тропосферы в среднюю атмосферу и ионосферу на многие сотни и даже тысячи километров. Так как плотность атмосферы с высотой падает почти экспоненциально, сохранение кинетической энергии подразумевает, что амплитуда волны растет с высотой. Достигая мезосферы волны могут разрушаться, и это приводит к локальному нагреванию и движениям атмосферного газа. Однако при определенных условиях ВГВ могут достигать высот максимума ионосферы (~300-350 км). Теоретические расчеты и экспериментальные данные показывают, что ВГВ обнаруживаются на горизонтальных расстояниях до нескольких тысяч километров от источника возбуждения. Они могут захватываться в волноводный канал, где способны распространяться с незначительным затуханием. Волновод образуется благодаря минимуму температуры в области мезопаузы. ВГВ распространяются с различными скоростями в горизонтальных направлениях, в результате чего формируются движущиеся пакеты волн [2, 3].

В обзорных работах [4-6] показана важность исследований влияния различного рода волновых возмущений, возникающих в стратосфере и тропосфере, на распределение параметров верхней атмосферы и ионосферы.

Целью работы было выяснение возможности регистрации деятельности тропических циклонов по возмущениям в собственном свечении верхней атмосферы в дальней от тропических циклонов зоне.

### **Данные наблюдений**

Для анализа использовались данные наблюдений:

- экспериментальные данные наземных измерений собственного свечения атмосферы Земли в линии 557.7 нм с временным разрешением 25 с (высоты высвечивания 85-115 км – область E ионосферы) в регионе юга Восточной Сибири в 2000-07 гг.;
- данные о тропических циклонах из электронной базы спутниковых данных глобального тропического циклогенеза "Глобал-ТЦ" (ИКИ РАН) [7].

Измерения собственного свечения верхней атмосферы проводятся в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52N, 103E, п. Торы, Бурятия, 150 км юго-западнее Иркутска) с помощью 4-х каналного зенитного фотометра "Феникс" с интерференционными качающимися светофильтрами в линиях излучения атомарного кислорода 557.7 и 630 нм. Также регистрируется излучение в ближней инфракрасной (720-830 нм) и ультрафиолетовой (360-410 нм) областях спектра. Угловые поля зрения каналов фотометра составляли 4-5 градусов. Абсолютная калибровка измерительных трактов аппаратуры осуществляется по эталонным звездам и контролируется с помощью опорных световых источников в вечерние и утренние часы наблюдений. Оптические наблюдения собственного свечения атмосферы проводятся ежемесячно около 7-14 ночей каждого месяца в периоды новолуний в условиях ясной или малооблачной погоды.

### **Результаты анализа данных**

Были получены "фоновые", усредненные помесечно, спектры вариаций эмиссии 557.7 нм за период с 2000 по 2007 гг., которые можно использовать как эталонные для невозмущенных условий. В спектрах вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм присутствует достаточно широкий интервал периодов от несколько минут до часов, которые соответствуют периодам

атмосферных внутренних гравитационных волн. На рис. 1 приведен сезонный ход амплитуд вариаций эмиссии 557.7 нм в диапазоне периодов 5-15 мин, 30-40 мин и 50-60 мин.

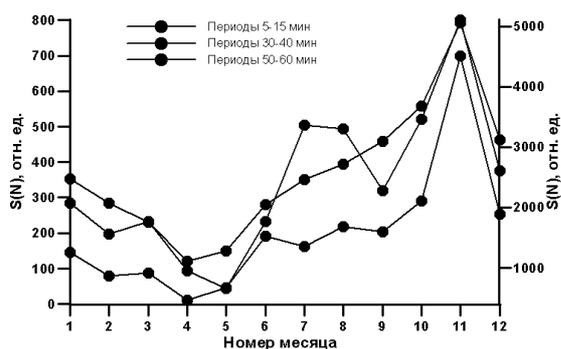


Рис. 1. Сезонный ход амплитуд вариаций эмиссии 557.7 нм в диапазоне периодов 5-15 мин (левая ось), а также 30-40 мин и 50-60 мин (правая ось)

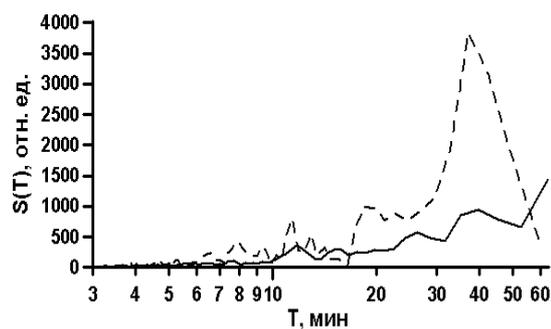


Рис. 2. Спектр вариаций амплитуды эмиссии 557.7 нм 17 мая 2000 г. во время землетрясения на юге Байкала (пунктирная линия) и фоновый спектр за май (сплошная линия)

Для примера на рис. 2 представлен спектр вариаций амплитуды эмиссии 557.7 нм, зарегистрированных во время землетрясения в регионе юга о.Байкал 17 мая 2000 г. Из графика видно усиление мощности амплитуды вариаций эмиссии 557.7 нм на периодах порядка 12, 20 и 40 мин (т.е. периоды ВГВ) по сравнению с фоновым спектром для мая месяца.

Для исследования возможного проявления циклонической деятельности в излучении верхней атмосферы нами были проанализированы данные измерений собственного свечения атмосферы Земли в линии 557.7 нм для декабря 2003 г. и сентября 2007 г. На рис. 3 представлены траектории перемещения в акватории северо-запада Тихого океана тропических циклонов, действовавших в периоды проведения оптических измерений.

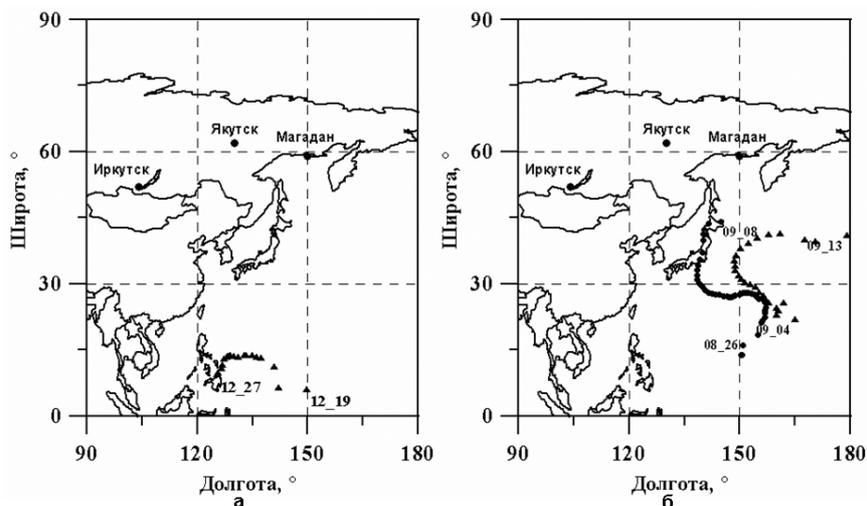


Рис. 3. Траектории движения тропических циклонов, действовавших в северо-западной акватории Тихого океана в периоды проведения оптических измерений в декабре 2003 г. (а) и в сентябре 2007 г. (б)

На рис. 4 приведены вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм за 16 и 17 декабря 2003 г., когда в акватории Тихого океана не действовали тропические циклоны, и за 20 и 21 декабря 2003 г., совпадающие с периодом действия тропического циклона NWP 0324 в акватории Тихого океана (рис. 3,а). На рис. 5 приведены спектры вариаций эмиссии 557.7 нм за эти же дни. Представленные на рис. 4 и 5 данные по вариациям интенсивности эмиссии 557.7 нм позволяют отметить существенное увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в диапазоне периодов 30-60 мин (и, возможно, на периодах около 10-12 мин) 20, 21 декабря 2003 г., когда начал действовать тропический циклон NWP 0324, по сравнению с предшествующими днями – 16, 17 декабря, когда тропические циклоны отсутствовали.

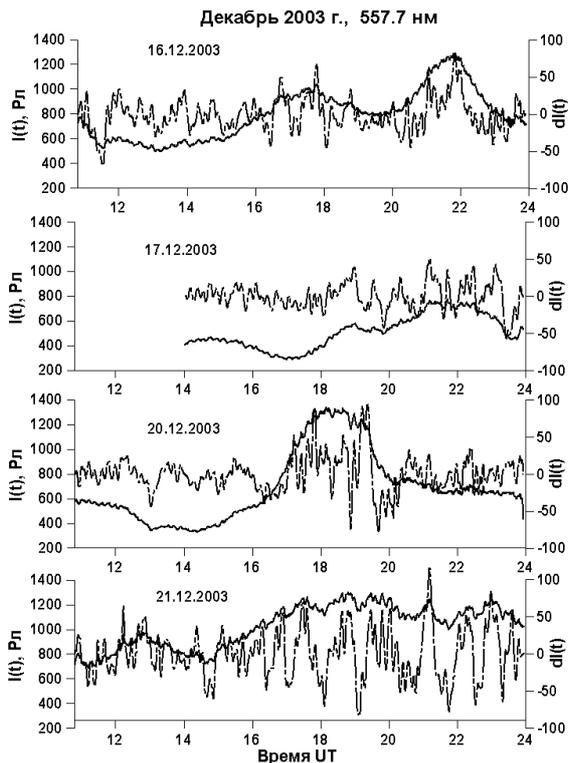


Рис. 4. Интенсивности эмиссии 557.7 нм (сплошные линии) и эти же данные с удаленными трендами и выделенными периодами от 3 до 60 мин (пунктирные линии). 16, 17 декабря 2003 г. – спокойные условия. 20 и 21 декабря 2003 г. – в период действия тропического циклона в северо-западной акватории Тихого океана

существенное влияние на распространения вверх атмосферных внутренних волн, наибольшая активность которых наблюдается в зимний период. Для ВГВ, полученных по данным оптических наблюдений излучения молекул гидроксила (излучающего на близких к эмиссии 557.7 нм высотах), также отмечается большие значения относительных амплитуд вариаций в зимний период [8].

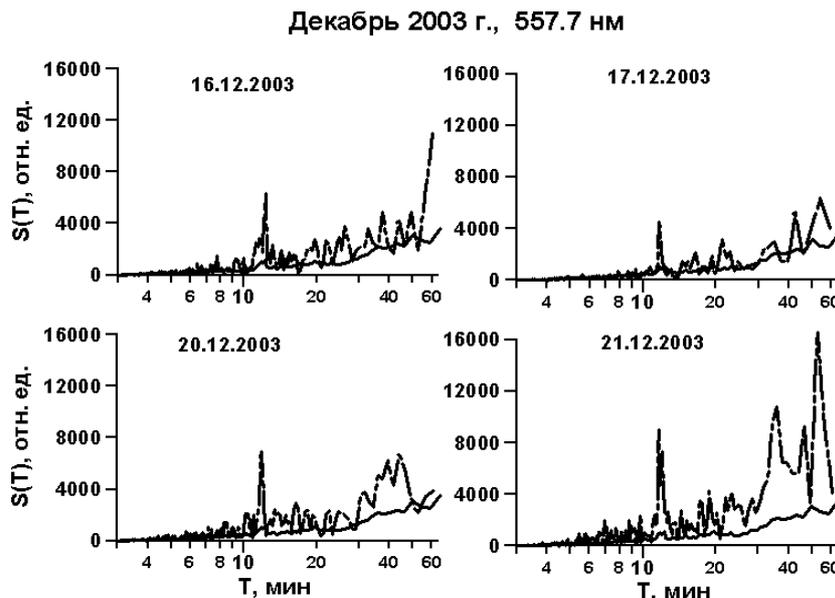


Рис. 5. Спектры вариаций эмиссии 557.7 нм (пунктирные линии) и фоновые спектры (сплошная линия) за отдельные дни декабря 2003 г.

На рис. 6 и 7 приведены аналогичные данные по вариациям интенсивности эмиссии 557.7 нм за 4, 5, 8 и 9 сентября 2007 г. В эти дни в северо-западной акватории Тихого океана действовали тропические циклоны NWP 0710 (с 26.08 по 08.09.2007 г.) и NWP 0711 (с 04.09 по 13.09.2007 г.) (рис. 3б). Для этих дней достоверно выделить аналогичное увеличение амплитуд вариаций эмиссии 557.7 нм не удалось. Тем не менее 4 и 5 сентября можно отметить несущественное увеличение амплитуды колебаний на периодах 30-50 мин.

Если связывать увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в декабре 2003 г. с деятельностью тропического циклона, то отсутствие аналогичных проявлений вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в сентябре 2007 г. может быть обусловлено, на наш взгляд, несколькими причинами:

- во-первых, различиями в условиях распространения волновых возмущений в различные сезоны года;

- во-вторых, особенностями формирования, развития, перемещения конкретных рассматриваемых тропических циклонов, и как следствие этих особенностей – различными эффектами их воздействия на вышележащую атмосферу.

В частности, хорошо известно, что атмосферная зональная циркуляция оказывает

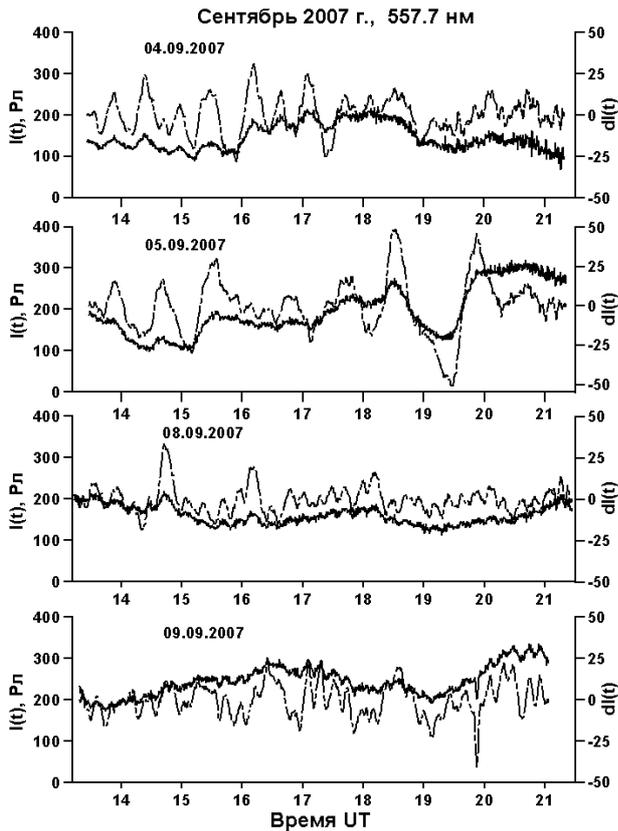


Рис. 6. Интенсивности эмиссии 557.7 нм (сплошные линии) и эти же данные с удаленными трендами и выделенными периодами от 3 до 60 мин (пунктирные линии) за отдельные дни сентября 2007 г. в период действия тропических циклонов в северо-западной акватории Тихого океана

событий. Кроме того, желательно иметь информацию об атмосферных и ионосферных параметрах на различных высотных уровнях по трассе распространения предполагаемых волновых возмущений, а также теоретические или модельные расчеты прохождения возмущений типа ВГВ для конкретных атмосферных условий и параметров циклонической активности.

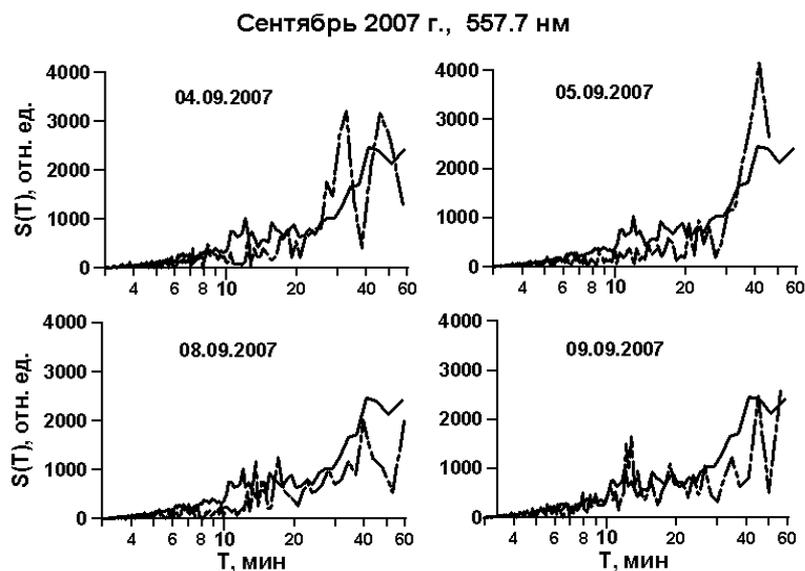


Рис. 7. Спектры вариаций эмиссии 557.7 нм (пунктирные линии) и фоновые спектры (сплошная линия) за отдельные дни сентября 2007 г

На рис. 8 представлен сезонный ход количества тропических циклонов, действовавших в северо-западной акватории Тихого океана за 2000-2008 гг. по данным электронной базы спутниковых данных глобального тропического циклогенеза "Глобал-ТЦ".

Сопоставление сезонных ходов амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм (рис. 1) и повторяемости тропических циклонов (рис. 8) позволяет допустить, что увеличение волновой активности эмиссии 557.7 нм в летние месяцы, особенно для периодов 50-60 мин (рис. 1) может определяться и повышенной циклонической активностью в этот период. Более сильный максимум в сезонном ходе амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в октябре-ноябре, возможно, связан с сезонными перестройками циркуляции атмосферы на высотах высвечивания эмиссии в этот период года и с изменением, в связи с этим, условий для распространения вверх волновых возмущений.

Безусловно, для подтверждения возможной связи наблюдаемых вариаций атмосферной эмиссии 557.7 нм с тропической циклонической деятельностью необходимо увеличение статистики рассматриваемых

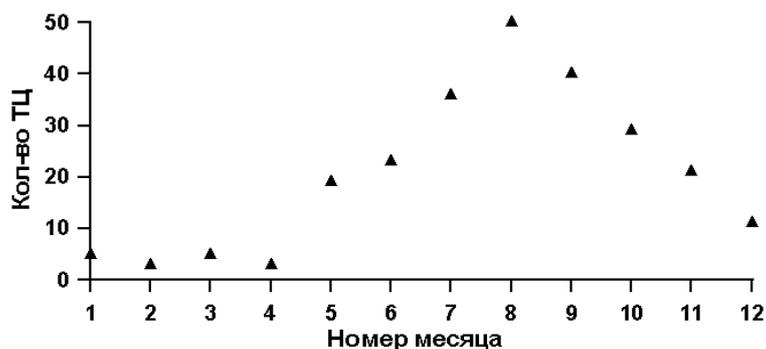


Рис. 8. Сезонный ход количества ТЦ в северо-западной акватории Тихого океана за 2000-2008 гг.

В настоящее время накапливается статистика характеристик возмущений атмосферных эмиссий от различных источников (спектров возмущений, регистраций изображений волновых возмущений в собственном свечении атмосферы с помощью CCD-камер) и сопутствующей геофизической и метеорологической обстановки для идентификации конкретных источников наблюдаемых возмущений, в том числе – деятельности тропических циклонов.

### Выводы

Для региона Восточной Сибири получены средние спектры и сезонный ход амплитуд вариаций интенсивности атмосферной эмиссии 557.7 нм в диапазоне периодов атмосферных внутренних гравитационных волн (единицы минут – часы). Полученные средние спектры вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм предполагается использовать в качестве "фоновых" при решении задачи возможности регистрации деятельности тропических циклонов по возмущению в собственном свечении верхней атмосферы в дальней от тропических циклонов зоне.

Проведен предварительный анализ вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в период действия тропических циклонов в декабре 2003 г. и сентябре 2007 г. Для декабря 2003 г. отмечается существенное (по сравнению с предыдущими днями) увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в диапазоне периодов 30-60 мин 20 и 21 декабря 2003 г., когда начал действовать тропический циклон в акватории Тихого океана. Для сентября 2007 г. аналогичного заметного увеличения амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм, связанного с проявлениями тропического циклогенеза, выделить не удалось.

Если связывать увеличение амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в декабре 2003 г. с деятельностью тропического циклона, то отсутствие аналогичных существенных проявлений вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм в сентябре 2007 г. может быть обусловлено или с различиями в условиях распространения волновых возмущений в различные сезоны, или в особенностях формирования, развития и взаимодействия с вышележащей атмосферой конкретных рассматриваемых циклонов.

Экспериментальных исследований ПИВ метеорологического происхождения немного. Авторы этих работ отмечают, что реакция атмосферы и ионосферы на воздействие метеорологических факторов, в том числе гигантских и мощнейших атмосферных вихрей – тропических циклонов, всегда носит сугубо индивидуальный характер и зависит от множества факторов. Для выяснения условий, в которых возможно проявление циклонической деятельности в вариациях эмиссий верхней атмосферы в дальней зоне, необходимо увеличение статистики рассматриваемых событий, а также исследование условий формирования и распространения возмущений от тропических циклонов.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №16 (часть 3). Продолжение исследований по данной теме поддержано грантами РФФИ 09-05-00760-а, 09-05-01019-а и 08-05-92208-ГФЕН.

## Литература

1. *Zuo Xiao, Sai-guan Xiao, Yong-qiang Hao, Dong-he Zhang* Morphological features of ionospheric response to typhoon // *J. Geophys. Res.*, 2008. Vol. 112. No. A4. A04304.
2. *Ахмедов Р.Р., Куницын В.Е.* Моделирование ионосферных возмущений, вызванных землетрясениями и взрывами // *Геомагнетизм и аэронавигация*, 2004. Т. 44. № 1. С.105-112.
3. *Куницын В.Е., Сураев С.Н., Ахмедов Р.Р.* Моделирование распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере для различных поверхностных источников // *Вестник Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия*, 2007. № 2. С.59-63.
4. *Kazimirovsky E.S., M.Herraiz, B.A. De la Morena* Effects on the ionosphere due to phenomena occurring below it // *Survey in Geophysics*, 2003. Vol. 24. №1. P.139-184.
5. *Lastovicka J.* Forcing of the ionosphere by waves from below // *J. Atmos. and Solar-Terr. Phys.*, 2006. V. 68. P.479-497.
6. *Rishbeth H.* F-region links with the low atmosphere? // *J. Atmos. and Sola-Terr. Phys.*, 2006. Vol. 68. P.469-478.
7. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 3.1. (1983-2005 гг.) // М.: Полиграф сервис, 2006. 728 с.
8. *Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю.* Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики // Москва: ГЕОС, 2006. 741 с.

## Manifestations of tropical cyclone activity in the atmospheric airglow at heights of mesosphere-low thermosphere in the south of East Siberia

A.B. Beletsky<sup>1</sup>, A.V. Mikhalev<sup>1</sup>, M.A. Chernigovskaya<sup>1</sup>, E.A. Sharkov<sup>2</sup>, I.V. Pokrovskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS  
664033, P/O Box 291, Irkutsk  
E-mail: [beletsky@iszf.irk.ru](mailto:beletsky@iszf.irk.ru)*  
<sup>2</sup> *Space Research Institute RAS  
117997, 84/32 Profsoyuznaya Str., Moscow*

This paper considers the problem of a possibility to monitor tropical cyclone activity on disturbances of the upper atmospheric airglow in a distant zone from tropical cyclones. At present there are sufficient evidences of the manifestation of processes and phenomena, whose sources are localized in the Earth's lithosphere, troposphere, and stratosphere (earthquakes, orographic effects, meteorological formations (fronts, occlusions, cyclones, jet flows), stratospheric warmings, space launchings etc.), in atmospheric parameter variations, in particular in the upper atmosphere emissions. Sometimes disturbance sources are removed enough from the place of registration of the upper airglow. The problems of identification of such manifestations in the Earth's upper atmosphere emission for different disturbance sources have been solved to a different extent. The manifestation of cyclonic activity in the upper atmosphere emission is the least studied effect. This may be due to the severity of the problem that is sometimes associated with the similarity of spatial-temporal spectra of recorded disturbances from different sources. This paper presents some examples of disturbances in the upper atmosphere emission, recorded in the south of East Siberia both from identified sources and from sources of uncertain origin, as applied to the possibility of registering manifestations of the tropical cyclogenesis in the zone remote from the region of tropical cyclone activity. In particular, we consider features of spectra of 557.7 nm atmospheric emission variations observed in the said region during tropical cyclone activity in the southwest Pacific area in 2003 and 2007. We also point to the necessity of introducing clarity of the theoretical concept and developing an experimental technique for investigating of tropical cyclone activity manifestations in the upper atmosphere airglow.

**Keywords:** the upper atmosphere airglow, interaction of atmospheric layers, wave disturbances, tropical cyclones.