

# **Исследование вариаций параметров собственного свечения верхней атмосферы, связанных с возмущениями в тропо- и стратосфере Земли**

**А.Б. Белецкий<sup>1</sup>, А.В. Михалев<sup>1</sup>, А.В. Татарников<sup>1</sup>, М.А. Ташилин<sup>1</sup>,  
М.А. Черниговская<sup>1</sup>, Е.А. Шарков<sup>2</sup>, И.В. Покровская<sup>2</sup>, Xu Jiya<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mail: e.sharkov@mail.ru*

<sup>3</sup> *Центр космической науки и прикладных исследований КАН  
100190 Пекин, ул. Чжунгуаньцунь, переулок №1 Нань Эр Тиао, район Хай Дань  
E-mail: juxi@spaceweather.ac.cn*

Приводятся предварительные результаты анализа волновых структур верхней атмосферы, зарегистрированных в свечении молекул гидроксила, и сопутствующих условий в тропосфере и стратосфере. Волновые структуры регистрировались инфракрасной и цветной ПЗС-камерами в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН ( $52^{\circ}$  N,  $103^{\circ}$  E). Анализируются данные, полученные в период февраль – август 2009 г. Оптические данные наблюдений сопоставляются со спутниковыми данными прибора «MLS» температурных профилей, с данными зональных ветров и метеорологической обстановки на высотах стратосферы и тропосферы. Основная цель работы заключалась в попытке определения влияния состояния и возмущений характеристик атмосферы на высотах стратосферы и тропосферы на распространение и частоту наблюдаемости внутренних гравитационных волн на высотах мезосферы.

**Ключевые слова:** внутренние гравитационные волны, собственное свечение атмосферы, гидроксил.

## **Введение**

Известно, что энергетика верхней атмосферы существенно меняется при прохождении внутренних гравитационных волн (ВГВ). ВГВ участвуют в переносе энергии из нижней атмосферы в верхнюю, меняя ее температурный и динамический режим [1]. Сильные метеорологические возмущения в тропосфере (например, тропические циклоны, прохождения атмосферных фронтов, струйные течения), наряду с геомагнитными бурями, солнечным терминатором, грозами, землетрясениями и т.д., могут служить источниками ВГВ [2].

Таким образом, для четкого понимания причин возникновения ВГВ необходимо анализировать совокупность данных о температуре, метеорологической обстановке на высотах стратосферы и тропосферы, направлении зональных ветров, данные о гелио-геомагнитной обстановке и т.д. В данной работе приводятся предварительные результаты анализа волновых структур, зарегистрированных в излучении верхней атмосферы Земли, и сопутствующих условий в тропосфере и стратосфере.

## **Аппаратура и методика обработки**

В Геофизической обсерватории (ГО) ИСЗФ СО РАН в феврале 2009 г. установлены и запущены в опытную эксплуатацию цифровые ПЗС-камеры всего неба, регистрирующие пространственную неоднородность в излучении эмиссии OH. Обсерватория расположена в Тункинской долине вблизи п. Торы, Бурятия ( $52^{\circ}$ Н,  $103^{\circ}$ Е). Этот регион характеризуется большим количеством ясных дней в году и, в силу удаленности от промышленных районов, высокой степенью прозрачности атмосферы.

Для исследования волновых возмущений были использованы данные инфракрасной ПЗС-камеры, а также цветной ПЗС-камеры, имеющей сходные характеристики, но регистрирующей ночное небо в видимом спектральном диапазоне. Съемки ночного неба проводились в ясные, безлунные ночи с февраля по август 2009 г. Время экспозиции инфракрасной камеры 3 минуты, цветной – 5 минут. Излучение, регистрируемое в цветовых R–G–B-каналах цветной ПЗС-камеры, в большей степени обусловлено континуумом собственного свечения верхней атмосферы, так как при больших спектральных интервалах регистрации ( $\sim 100$ – $150$  нм) континуум становится основным компонентом в свечении ночной атмосферы. В канале R существенный вклад в регистрируемый сигнал вносит излучение гидроксила OH. В этом случае регистрируемые волновые структуры в инфракрасной и цветной ПЗС-камерах в большинстве случаев были подобные, и данные, полученные с них, могли дополнять друг друга.

Инфракрасная ПЗС-камера состоит из оптического блока, регистрирующей ПЗС-матрицы и системы охлаждения. В качестве объектива используется широкоугольный объектив Sigma (15 мм, f/2.8). В качестве фильтра используется широкополосный стеклянный фильтр КС 19, обрезающий коротковолновую область спектра меньше 720 нм. Верхняя граница спектрального диапазона инструмента ограничена падением чувствительности ПЗС-матрицы до нуля в районе 1000 нм. В качестве регистрирующего устройства используется ПЗС-камера «Видеоскан 11002/О/П/2001». Основные параметры ПЗС-камеры: разрешение снимка – 4008x2672 пикселей, размер пикселя – 9x9 мкм, разрядность оцифровки – 12 бит. Камера имеет встроенную термоэлектрическую систему охлаждения, снижающую температуру кристалла до  $-25^{\circ}\text{C}$ . В собранном виде с защитным кожухом угол зрения камеры составляет  $\sim 80^{\circ}$ .

Для выделения волновых возмущений была создана программа, использующая метод временного дифференцирования (Time Differencing method), описанный в работе [3]. Идея алгоритма обработки заключается в построении картины разности интенсивностей двух ближайших кадров. Сначала изображения нормализуются, далее для второго изображения выбираются координаты осевой точки и угол поворота изображения. Изображе-

ние поворачивается вокруг оси на заданный угол, затем происходит по-пиксельное вычитание двух кадров, при этом на кадре остается картина неоднородностей ночного неба.

В работе также были использованы данные вращательной температуры эмиссии OH (6-2), данные интенсивности собственного свечения атмосферы в зеленой линии (557,7 нм), полученные с помощью приборов, установленных в ГО ИСЗФ СО РАН. Для регистрации вращательной температуры эмиссии OH (6-2) применялся светосильный спектрограф «СП-50», оснащенный приемником излучения с высокочувствительной в ИК области ПЗС-матрицей. Данные интенсивности собственного свечения атмосферы в зеленой линии получены с помощью 4-х канального зенитного фотометра. Также были использованы спутниковые данные температурных профилей (прибор MLS спутника Aura), и спутниковые данные скорости и направления зональных ветров (“Climate Prediction Centre”).

### Результаты анализа данных

Получаемые с помощью инфракрасной ПЗС-камеры изображения представляют собой 16-ти битные файлы TIF-формата. При анализе полученных данных исходные файлы ПЗС-камер используются для контроля облачности, степени прозрачности атмосферы и т.д. На рис. 1 приведена картина волновых возмущений, зарегистрированная с помощью ПЗС-камеры в диапазоне 720-1000 нм эмиссии OH 19 февраля 2009 г. в ГО ИСЗФ СО РАН, обработанная методом временного дифференцирования.

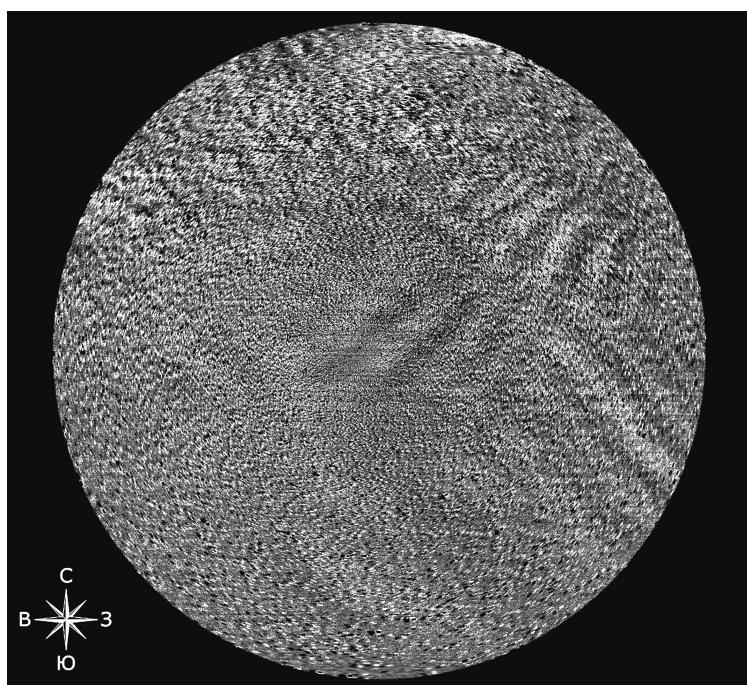
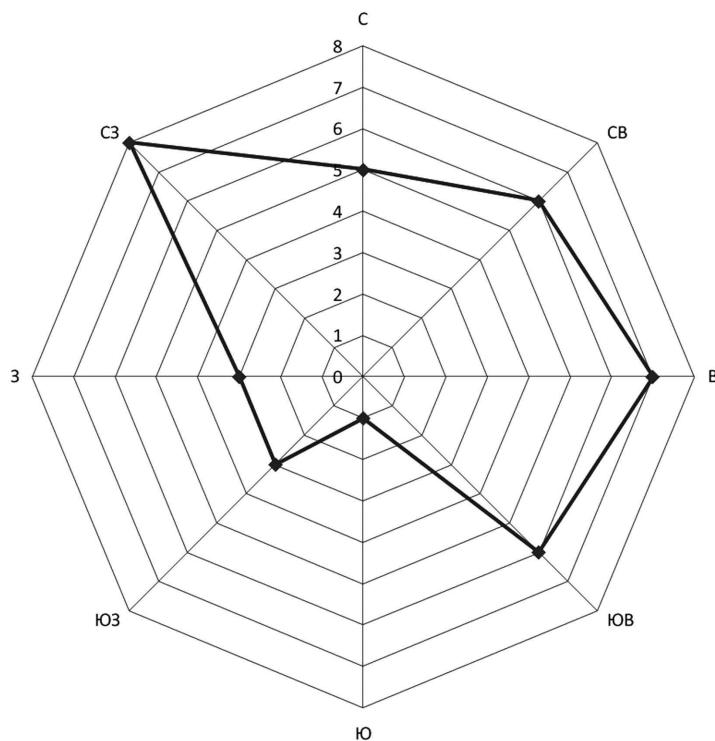


Рис. 1. Волновые структуры, зарегистрированные с помощью ПЗС-камеры в диапазоне 720-1000 нм эмиссии OH (19 февраля 2009 г., ГО ИСЗФ СО РАН п. Торы)

За рассмотренный период февраль-август 2009 г. волновые возмущения в излучении эмиссии ОН наблюдались практически каждую ясную безлунную ночь, что может свидетельствовать о наличие постоянного источника возмущений. Были отмечены ясные безлунные ночи (17 марта 2009 г., 26 апреля 2009 г.), когда волновых возмущений в излучении эмиссии ОН обнаружено не было.

Характерные азимутальные направления распространения наблюдаемых волновых возмущений в излучении эмиссии ОН за рассмотренный период представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что преимущественными направлениями распространения являются северо-западное, северо-восточное и восточное направления.



*Рис. 2. Азимутальное распределение наблюдаемых волновых возмущений в излучении эмиссии ОН, зарегистрированных за период февраль-август 2009 г*

В работе [4] исследовались параметры распространения волновых возмущений, наблюдавшихся в г. Якутске. Было обнаружено, что характерным направлением распространения возмущений является широтное направление, что согласуется с теорией фильтрации волн, генерируемых в нижней атмосфере, фоновым ветром средней атмосферы [5]. Как видно из рис. 2, в регистрируемых нами волновых возмущениях не отмечается характерного широтного направления. В распределении направлений распространения регистрируемых волновых возмущений наблюдается меридиональная анизотропия, что, предположительно, указывает на то, что источник ВГВ может находиться выше фильтрующих ветров средней атмосферы.

На рис. 3 приведено сопоставление данных волновых возмущений в эмиссии OH со скоростью и направлением зональных ветров (синими линиями выделены ясные ночи, в которые были зарегистрированы волновые возмущения, красными – ясные ночи без волновых возмущений). Относительно малое количество зарегистрированных волновых структур в летние месяцы по сравнению с зимними объясняется метеорологической обстановкой во время проведения измерений. Как видно из рис. 3, после смены направления зонального ветра на противоположное в конце апреля начале мая 2009 г., нами были зарегистрированы волновые возмущения в течение четырех ясных безлуных ночей. Это также указывает на то, что источник волновых возмущений может находиться выше фильтрующих ветров средней атмосферы.

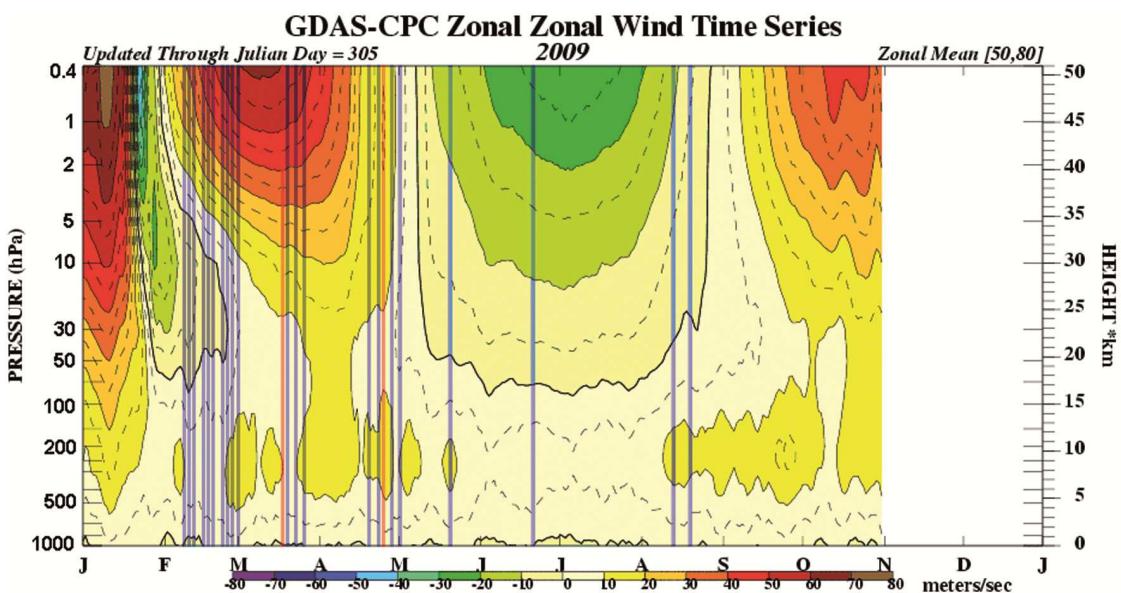
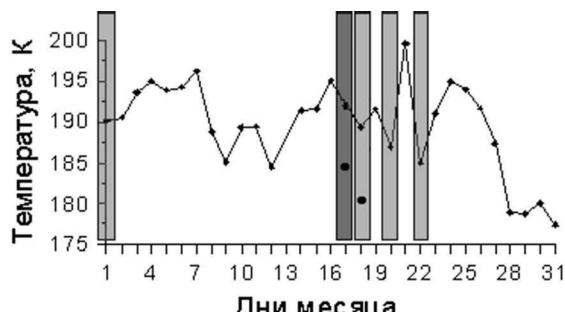


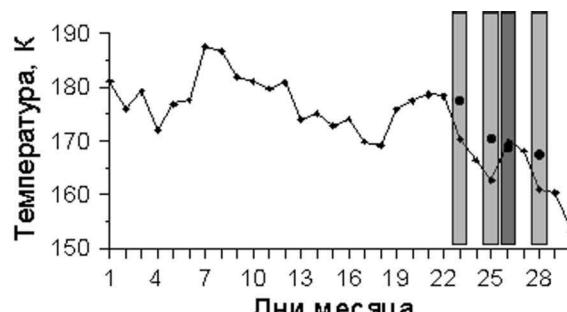
Рис. 3. Сопоставление данных волновых возмущений в эмиссии OH со скоростью и направлением зональных ветров

Сопоставление данных волновых возмущений в эмиссии OH со спутниковыми данными MLS температуры атмосферы на высоте 88 км за март и апрель 2009 г. представлено на рис. 4. Светло-серыми прямоугольниками выделены ясные ночи, в которые были зарегистрированы волновые возмущения, темно-серыми прямоугольниками – ночи, в течение которых волновые структуры не наблюдались.

На рис. 5 представлены температурные профили по спутниковым данным MLS, а также температура и интенсивность по наземным данным ГО ИСЗФ СО РАН (жирная линия – интенсивность свечения атмосферы на длине волны 557,7 нм, тонкая линия – вращательная температура эмиссии OH). Как видно из рисунков, температура на высоте 88 км по спутниковым данным MLS имеет локальные максимумы в периоды, когда волновые структуры не наблюдались (17 марта 2009 г., 26 апреля 2009 г.), тогда как по наземным данным температура в эти периоды имеет минимальные значения.



Март 2009 г.



Апрель 2009 г.

Рис. 4. Сопоставление данных волновых возмущений в эмиссии OH со спутниковыми данными «MLS» температуры атмосферы на высоте 88 км.

Черные точки – вращательная температура по наземным данным ИСЗФ СО РАН

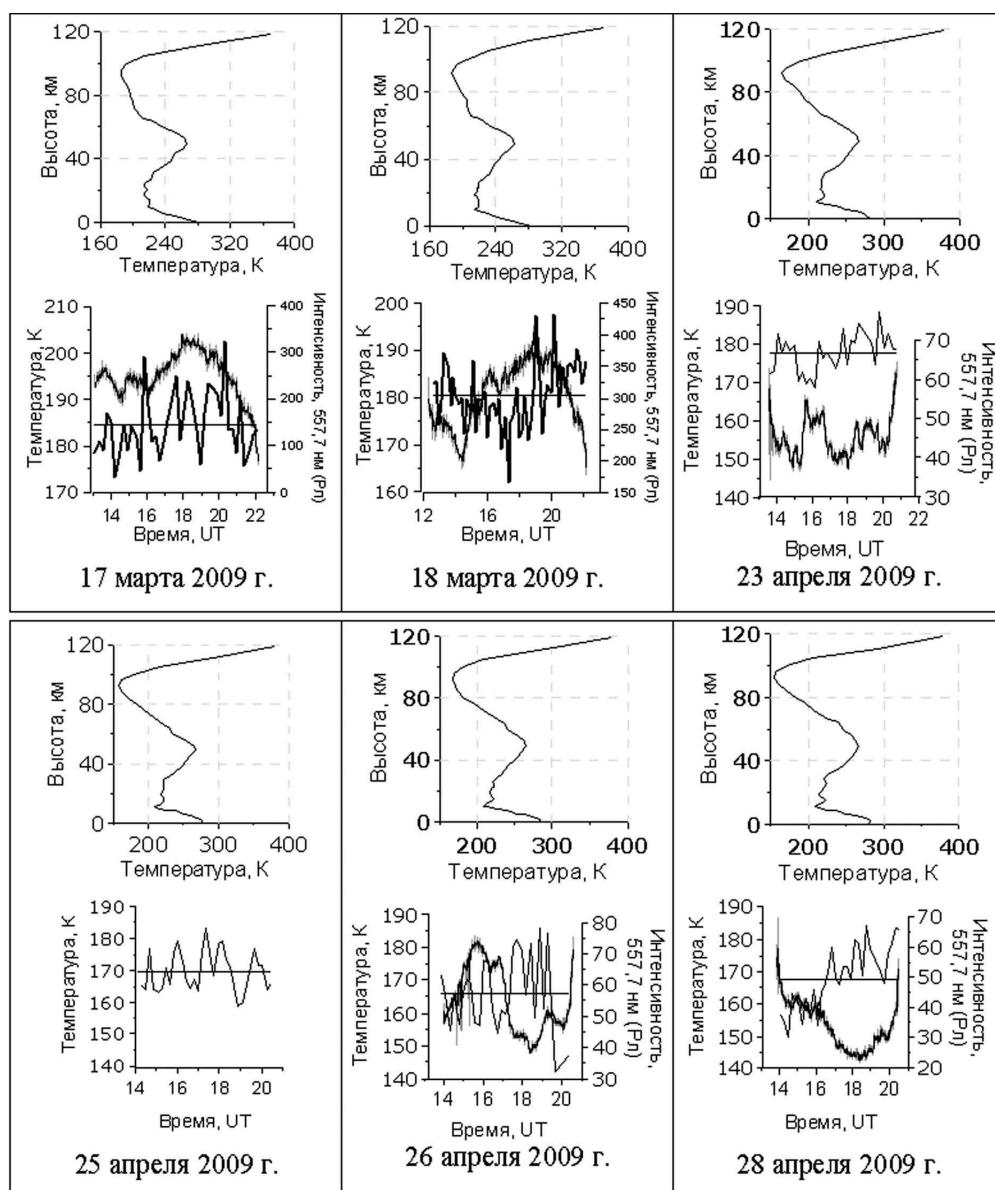


Рис. 5. Температурные профили по спутниковым данным «MLS»; температура и интенсивность по наземным данным ИСЗФ СО РАН, толстая черная линия – интенсивность свечения атмосферы на длине волны 557,7 нм, тонкая черная линия – вращательная температура эмиссии OH

## **Заключение**

В результате предварительного анализа вариаций параметров собственного свечения верхней атмосферы можно сделать следующие выводы.

За рассмотренный период февраль-август 2009 г. волновые возмущения в излучении эмиссии OH наблюдались практически каждую ясную безлунную ночь, что может свидетельствовать о наличие постоянного источника возмущений. Несмотря на это, были зафиксированы ясные безлунные ночи (17 марта, 26 апреля 2009 г.), когда волновых возмущений в излучении эмиссии OH обнаружено не было.

В распределении направлений распространения регистрируемых нами волновых структур наблюдается меридиональная анизотропия. Волновые возмущения в излучении эмиссии OH наблюдаются при различных термодинамических и ветровых режимах атмосферы (при смене направления зональных ветров), что может указывать на то, что источник волновых возмущений может находиться выше фильтрующих ветров нижней и средней атмосферы.

Проведенное предварительное исследование не дает возможности однозначно связать наличие волновой активности и направление волновых возмущений с температурным режимом средней атмосферы и области мезопаузы.

Методика анализа волновых структур верхней атмосферы с использованием ПЗС-камер является весьма перспективной. В дальнейшем планируется проведение аналогичных исследований, охватывающих различные сезоны года, в том числе осенний сезон, когда имеет место высокая активность тропических циклонов в акватории северо-запада Тихого океана. Экспериментальных исследований возмущений, источники которых находятся в нижележащей атмосфере, немного. Отмечается, что реакция верхней атмосферы на воздействие снизу всегда носит сугубо индивидуальный характер и зависит от множества факторов. Для выяснения условий, в которых возможно проявление эффектов нижней и средней атмосферы в вариациях эмиссий верхней атмосферы, необходимо увеличение статистики рассматриваемых событий, а также исследование условий формирования и распространения возмущений от различных источников.

Работа выполнялась при поддержке грантов РФФИ 08-05-92208-ГФЕН\_а и 09-05-00760.

## **Литература**

1. *Francis H.* Global propagation of atmospheric gravity waves // J. Atm. Terr. Phys. 1975. V.37. N 6/7. P. 1011.
2. *Zuo Xiao, Sai-guan Xiao, Yong-qiang Hao, Dong-he Zhang* Morphological features of ionospheric response to typhoon // J. Geophys. Res., 2008. V. 112. N. A4. P. A04304.
3. *Swenson G.R., Mende S.B.* OH emission and gravity waves (including a breaking wave) in all-sky imagery from Bear Lake, UT // Geophys. Res. Lett., 1994. N. 21. P. 2239-2242.
4. *Гаврильева Г.А., Аммосов П.П.* Наблюдения распространения гравитационных волн в инфракрасном свечении всего неба // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. 41. № 3. С. 375–381.
5. *Taylor, M. J., E. H. Ryan, T. F. Tuan, and R. Edwards.* Evidence of Preferential Directions for Gravity Wave Propagation Due to Wind Filtering in the Middle Atmosphere // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 6047–6057.

## **Investigation of nightglow upper atmosphere parameter variations connected with disturbances in tropo- and stratosphere of the Earth**

**A.B. Beletsky<sup>1</sup>, A.V. Mikhalev<sup>1</sup>, A.V. Tatarnikov<sup>1</sup>, M.A. Tashchilin<sup>1</sup>,  
M.A. Chernigovskaya<sup>1</sup>, E.A. Sharkov<sup>2</sup>, I.V. Pokrovskaya<sup>2</sup>, Xu Jiayao<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> **Institute of Solar-Terrestrial Physics Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,**  
664033, Irkutsk, Lermontov st., 126a  
*E-mail:* beletsky@iszf.irk.ru

<sup>2</sup> **Space Research Institute Russian Academy of Sciences,**  
117997, Moscow, Profsoyuznaya Str., 84/32  
*E-mail:* .ru ;

<sup>3</sup> **State Key Laboratory of Space Weather**  
100190 NO.1 Nanertiao, Zhongguancun, Haidian district, Beijing, China  
*E-mail:* jyxu@spaceweather.ac.cn

The preliminary results of the upper atmosphere wave structure analysis registered in OH airglow and accompanying conditions in tropo- and stratosphere are given. Wave structures were registered by infrared and color CCD-cameras in Geographical Observatory ISTP SB RAS ( $52^{\circ}$  N,  $103^{\circ}$  E). Data received during February-August 2009 have been analyzed. Optical data of observations are compared with temperature profiles “MLS” satellite data, zonal wind data and with meteorological situation in tropo- and stratosphere latitude. The main purpose of the work was in the attempt of state and disturbances definition of the influence of atmosphere characteristics in tropo- and stratosphere latitude on distribution and observation frequency of gravity waves in upper mesosphere.

**Keywords:** gravity waves, nightglow, OH.