

ВОЛНОВЫЕ СТРУКТУРЫ В СВЕЧЕНИИ ВЕРХНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ЦВЕТНОЙ ПЗС-КАМЕРЫ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

С.В. Подлесный, А.В. Михалев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
step8907@mail.ru

WAVE STRUCTURES IN AIRGLOW, ACCORDING TO DATA FROM THE COLOR CCD CAMERA IN EASTERN SIBERIA

S.V. Podlesniy, A.V. Mikhalev

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
step8907@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается возможность регистрации волновых структур в свечении верхних слоев атмосферы, по данным наблюдений яркости ночного неба камерой на основе цветной ПЗС-матрицы. Приводятся результаты ряда наблюдений ярко выраженных волновых структур в свечении верхних слоев атмосферы, по данным наблюдений яркости ночного неба за период с 2009 по 2017 г. полученных в Геофизической обсерватории ИЗСФ СО РАН. Отмечено преимущественное направление распространения волновых неоднородностей за весь исследуемый период на запад северо-запад. Так же отмечена сезонная зависимость изменения направления распространения волн.

Ключевые слова: свечение атмосферы, акустико-гравитационные волны, цветная ПЗС камера.

Abstract. This paper consider the possibility of registering wave structures in the airglow, according to observations of the brightness of the night sky with a camera based on a color CCD matrix. The results of a number of observations of pronounced wave structures in the glow of the upper atmosphere are given, according to observations of the brightness of the night sky from 2009 to 2017, obtained at the Geophysical Observatory of the IESF SB RAS. The preferential direction of propagation of wave inhomogeneities for the entire studied period to the west north-west was noted. Also noted seasonal dependence of the change in the direction of wave propagation.

Keywords: airglow, acoustic-gravity waves, color CCD camera.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получило использование камер всего неба (all-sky camera) для регистрации и исследования короткопериодических внутренних гравитационных волн (ВГВ). Важным свойством ВГВ является перенос энергии и импульса при распространении из нижних слоев в более высокие слои атмосферы. Диссипируя на высотах средней атмосферы, эти волны передают энергию и импульс среде, воздействуя, таким образом, на тепловой баланс и среднесезонную циркуляцию. Обычно оптическая регистрация ВГВ осуществляется с использованием узкополосных светофильтров в отдельных спектральных полосах и линиях. В Геофизической обсерватории ИЗСФ СО РАН при наблюдениях за свечением верхней атмосферы с 2009 г. используется широкоугольная цветная ПЗС камера, первоначальное назначение которой являлся контроль прозрачности атмосферы и исследование интегральной яркости ночного неба в цветовых каналах матрицы. Анализ первых же данных наблюдений за свечением атмосферы с помощью цветной ПЗС камеры выявил в регистрируемых изображениях в некоторые ночи появление перемещающихся волновых структур (ВС), аналогичных ВГВ, регистрируемых в отдельных спектральных полосах и линиях.

Целью работы является исследование волновых структур в свечении ночного неба, регистрируемых цветной ПЗС-камерой, и их возможной интерпретации. Приводятся первые статистические результаты измерений волновых структур по данным наблюдений цветной ПЗС-камерой в регионе Восточной Сибири.

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ

Широкоугольная фотокамера ФИЛИН-1Ц предназначена для регистрации и исследования собственного излучения ночной атмосферы, его пространственно-временных вариаций, естественных и искусственных космических объектов (метеоров, космических аппаратов), контроля прозрачности атмосферы и решения некоторых других задач.

В качестве регистрирующего устройства в аппарате используется ПЗС-камера «Видеоскан 11002/О/П/2001» на основе ПЗС-матрицы KODAK KAI-11002. Основные параметры ПЗС-камеры: разрешение снимка — 4008×2672 пикселей, размер пикселя — 9×9 мкм. Для обеспечения световой загрузки всех пикселей матрицы превышающей уровень шума время экспозиции было выбрано 300 с.

Излучение верхней атмосферы в видимой области спектра в ясные безлунные ночи вносит наибольший вклад в интегральное излучение свечения ночного неба. Следует отметить, что основной компонентой излучения верхней атмосферы по интенсивности является континуум. При этом эмиссии и полосы различных составляющих атмосферы приходятся на разные цветовые каналы камеры. В средних широтах интенсивности этих эмиссий во время некоторых геофизических явлений, таких как, например, геомагнитные бури (эмиссия [OI] 630 нм) и внезапные зимние стратосферные потепления (эмиссия [OI] 557.7 нм) могут увеличиваться на порядок и более [Mikhalev et al., 2015]. Это позволяет рассмотреть возможность и для других геофизических явлений количественно связывать увеличение сигналов по каналам с увеличением интенсивностей дискретных эмиссий и полос.

Для исследования ВС выбирались снимки ночного неба, полученные преимущественно в ясные, безлунные ночи с февраля 2009 г. по декабрь 2017г. Для лучшего выделения волновых возмущений была создана программа, использующая метод временного дифференцирования (Time Differencing method), описанный в работе [Swenson, Mende, 1994].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате предварительного анализа отобрано 184 ночи, в течении которых наблюдалось 510 ВС. За одно событие принималось ВС, регистрируемое в одном направлении вне зависимости от его длительности. Прерывание ВС на последовательных изображениях или изменение направления распространения ВС считалось новым событием. На рис. 1 приведен пример регистрации ВС. Слева на рисунке дается фрагмент исходного изображения, справа — обработанное изображение с целью выделения ВС. Характерный масштаб приведенных на рисунке 1 волн оценивается величиной ~5.3° или ~9 км, в предположении, что волны высвечивают на высоте ~100 км (ОН, эмиссия 557.7 нм, континуум). Горизонтальная скорость распространения волнового пакета ~15 м/сек, направление — с юга на север.

Указанные характеристики ВС, приведенного на рис. 1, совпадают с результатом работы при наблюдении волновых неоднородностей в гидроксильном излучении, проводимых ранее в ГФО ИСЗФ СО РАН [Тащилин и др., 2010] и с результатами других работ (см., например, [Аммосов и др., 2006]).

На рис. 2 показано распределение количества зарегистрированных событий ВС по месяцам за период с 2009 по 2017 г. Из рис. 2. следует, что наибольшее количество ВС отмечается в осенне-зимние месяцы (октябрь–февраль) с небольшим максимумом в летний период (июль–август). Полученное сезонное распределение частоты регистрации ВС частично коррелирует с изменением направления среднего зонального ветра в стратосфере в средних широтах [<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/strat-trop>] и может интерпретироваться в рамках теории фильтрации волн фоновым ветром в средней атмосфере [Taylor et al., 1993].

На рис. 3 показано распределение зарегистрированных событий ВС по направлениям распространения. Из рисунка следует, что выраженная анизотропия распространения ВС наблюдается в весенний (преимущественное направление на северо-восток), летний (на север) и осенний (на северо-запад) периоды. В зимний период, который вносит основной вклад в общее количество зарегистрированных событий ВС, анизотропия выражена в меньшей степени. Для зимнего периода отношение количества событий ВС распространяющихся в направлениях северо-запад, север и северо-восток к количеству событий в направлениях юго-запад, юг и юго-восток (меридиональное направление) имеет величину ~1.25. Для зонального направления преобладает западное направление распространения ВС с соответствующим отношением ~1.47.

Анизотропию распространения ВС во многих работах [Nakamura et al., 1999; Medeiros et al., 2003]

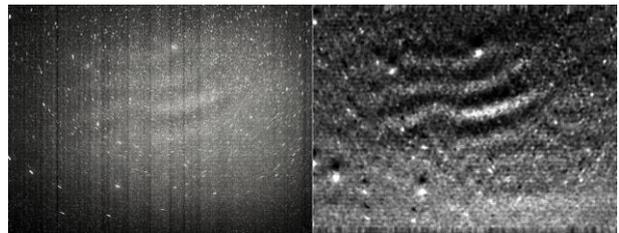


Рис. 1. Пример ВС регистрируемых с помощью цветной камеры, 11 августа 2013 г., 17:28 UT. Слева — исходный кадр; справа — обработанное изображение

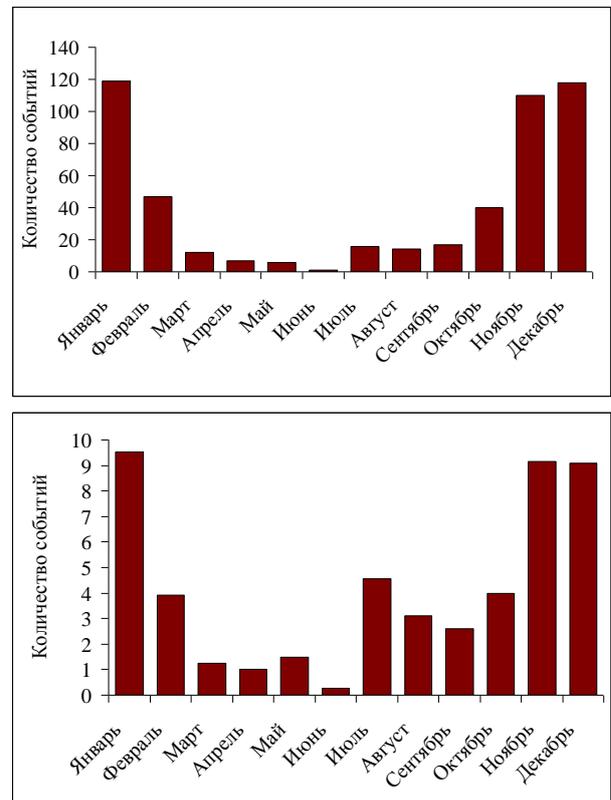


Рис. 2. Распределение наблюдаемых ВС по месяцам за период с 2009 по 2017 гг.: слева — общее количество наблюдаемых ВС; справа — количество наблюдаемых ВС, нормированное на среднее время регистрации по месяцам (продолжительность ночи)

связывают с теорией фильтрации волн, генерируемых в нижней атмосфере, зональным фоновым ветром средней атмосферы [Taylor et al., 1993].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волновые структуры, наблюдаемые с помощью цветной камеры по приведенным характеристикам подобны наблюдаемым мелкомасштабным мезосферным ВГВ, полученным с помощью аппаратуры регистрирующей в дискретных линиях и полосах атмосферных эмиссий. В частности, отмеченное увеличение волновой активности в осенне-зимние месяцы и направлений распространений волновых структур соответствуют характеристикам ВГВ, представленные в некоторых публикациях других авторов по наблюдениям в средних широтах.

По направлению распространения исследованных волновых структур по данным цветной камеры для рассматриваемого региона Восточной Сибири

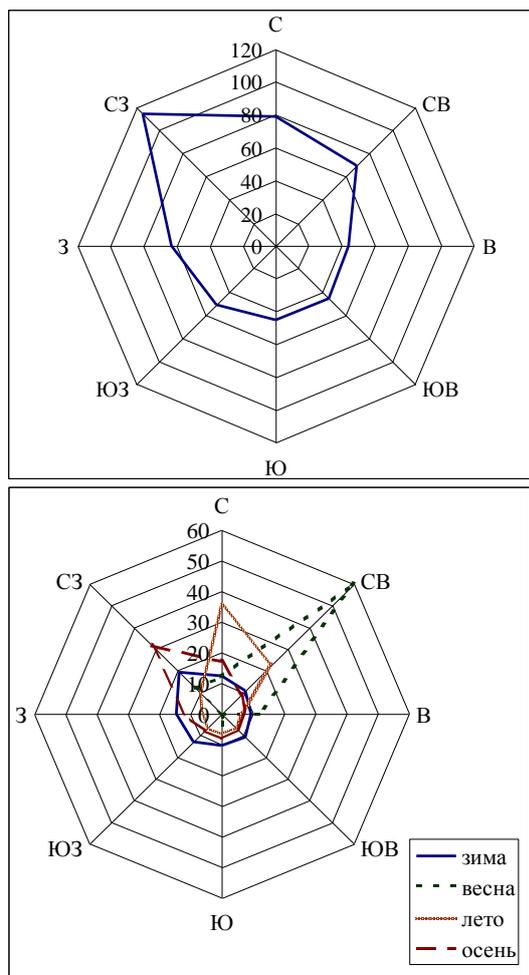


Рис. 3. Диаграмма распределения направления распространения ВС: слева — суммарного по всем событиям; справа — по сезонам, в процентах от общего количества событий в сезоне

выявлена сезонная зависимость с преобладанием северо-западных направлений для осенне-зимнего периода и северо-восточного для весенне-летнего периода наблюдений.

Работа выполнена в рамках базового финансирования ФНИ П.16. Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовский И.И. Наблюдения короткопериодических волн камерой всего неба в инфракрасном свечении ОН над Якутском // Геомагнетизм и аэронавигация. 2006. Т. 46. № 6. С. 801–805.

Ташилин М.А., Белецкий А.Б., Михалев А.В., Xu Jiyaoyuan, Yuan Wei. Некоторые результаты наблюдений пространственных неоднородностей в излучении эмиссии гидроксила. Солнечно-земная физика. Вып. 15. 2010. С. 131–134.

Medeiros A. F., Taylor M. J., Takahashi H., Batista P. P., Gobbi D. An investigation of gravity wave activity in the low-latitude upper mesosphere: Propagation direction and wind filtering // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, D14. P. 4411.

Mikhalev A.V., Podlesnyy S.V., Stoeva P. V. Optical Parameters of Night Sky over Eastern Siberia after the Chelyabinsk Meteor Event. I. Night Sky Brightness. Atmospheric and Oceanic Optics. 2015. V. 28, N 2. P. 180. DOI: [10.1134/s1024856015020086](https://doi.org/10.1134/s1024856015020086).

Nakamura T., Higashikawa A., Tsuda T., Matsushita Y. Seasonal variations of gravity wave structures in OH airglow with a CCD imager at Shigaraki // Earth, Planets and Space. 1999. V. 51. N. 7–8. P. 897–906.

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.

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.

URL: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/strat-trop> (дата обращения 7.06.2019).

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (дата обращения 7.06.2019).