

## ПРОЯВЛЕНИЯ АГВ В ВЕРХНЕЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Т.Е. Сыренова, А.Б. Белецкий**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
angata@iszf.irk.ru

## AGW MANIFESTATIONS IN THE UPPER MID-LATITUDE ATMOSPHERE OF THE EARTH, RECORDED BY OPTICAL METHODS

**T.E. Syrenova, A.B. Beletsky**

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia  
angata@iszf.irk.ru

**Аннотация.** В работе приводятся результаты исследования параметров акустико-гравитационных волн в верхней атмосфере Земли на высотах нижней термосферы. Исследование проведено на основе данных измерений оптического комплекса Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Определены направления, скорости распространения и периоды наблюдаемых вариаций.

**Ключевые слова:** акустико-гравитационные волны, атмосферные эмиссии, верхняя атмосфера.

**Abstract.** The paper presents the results of the acoustic-gravity waves parameters study in the upper atmosphere of the Earth at altitudes of the mesosphere - the lower thermosphere. The study was conducted on the measurement data basis of the optical complex of Geophysical Observatory ISTEP SB RAS. Directions, rates of propagation and periods of observed variations are determined.

**Keywords:** acoustic-gravity waves, atmospheric emissions, upper atmosphere.

В настоящее время интерес к изучению распространения акустико-гравитационных волн (АГВ) и внутренних гравитационных волн (ВГВ) обусловлен попытками привлечения таких волн к объяснению связей динамических процессов в нижних и верхних слоях атмосферы [Laštovichka, 2006]. Существенный прогресс в развитии экспериментальных исследований верхней атмосферы позволил достоверно установить связь динамических процессов в нижней атмосфере с параметрами крупномасштабных неоднородностей верхней атмосферы и ионосферы [Борчевкина и др., 2016].

Горизонтальные направления распространения гравитационных волн зависят от региона наблюдения, так как имеется сильная зависимость от ветра и тепловых условий распространения и местоположения источников волн [Suzuki et al., 2009]. Ночные среднемасштабные ПИВ, в основном, распространяются на юго-запад в северном полушарии [Essien et al., 2018]. В работе [Nakamura et al., 1999; Ejiri et al., 2003; Tang et al., 2005] сообщается, что мелко-масштабные гравитационные волны в средних широтах в северном полушарии имеют тенденцию распространяться на восток летом и на запад зимой; предполагается, что волны фильтруются ветрами в средней атмосфере в зональном направлении — на запад летом и на восток зимой.

В данной работе для исследования волновых возмущений использовались данные оптической системы Keo Sentinel. Оптическая система предназначена для регистрации пространственной картины распределения интенсивности эмиссии 630 нм (высота высвечивания 180-300 км). Полуширина пропускания интерференционного фильтра ~2 нм. Направление визирования - зенит, поле зрения 145°, время экспозиции 60 с [<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/keo>].

Для анализа выбирались данные, полученные в ясные, безлунные ночи с 2014 по март 2019 г. Суммарное количество ночей, выбранных для анализа,

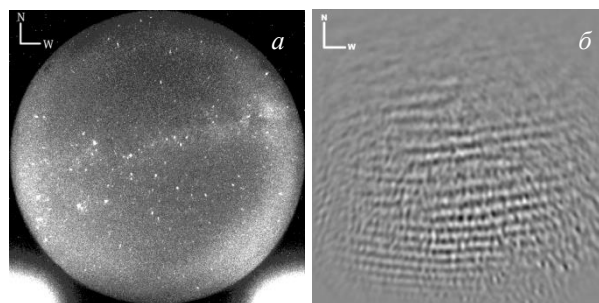


Рис. 1. Кадр оптической системы КЕО Sentinel, полученный 3 декабря 2016 г (а) и этот же кадр после обработки TD-методом (б)

составило 71 (~491 ч). Для выявления волновых структур использовался метод временного дифференцирования [Swenson, Mende, 1994].

По данным оптической системы Keo Sentinel зарегистрировано 42 волновых события. Преимущественно были зарегистрированы волновые события типа “ripple wave” и типа “band” согласно классификации [Taylor et al., 1993]. На рис. 1 показан пример изображения оптической системы Keo Sentinel. Горизонтальные длины волн, зарегистрированных за указанный период варьируются от 15 до 50 км. Значения периодов составляют от 3 до 6 мин. Наблюдаемые горизонтальные фазовые скорости изменяются от 75 до 135 м/с.

Зарегистрированные волны распространяются преимущественно в северо-восточном направлении (рис. 2). При этом большинство событий было зарегистрировано в зимнее время (рис. 3).

По данным работы камеры ФИЛИН-1Ц [<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/color>] по состоянию на март 2018 г. зарегистрировано 184 волновых события на высотах мезосферы [Подлесный, 2018]. Согласно анализу данных событий, преимущественное направление волн северо-западное в осенне-зимний период, северное и северо-восточное весной и летом.

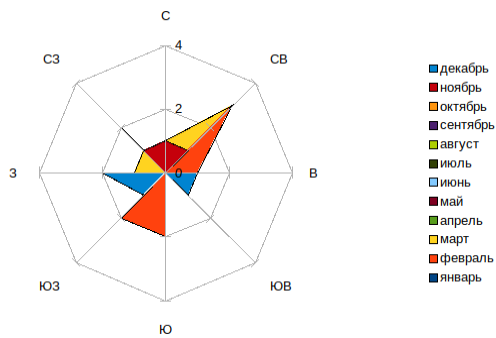


Рис. 2. Направления распространения волновых структур по месяцам за период с 2014 г. по март 2019 г. Данные Keo Sentinel

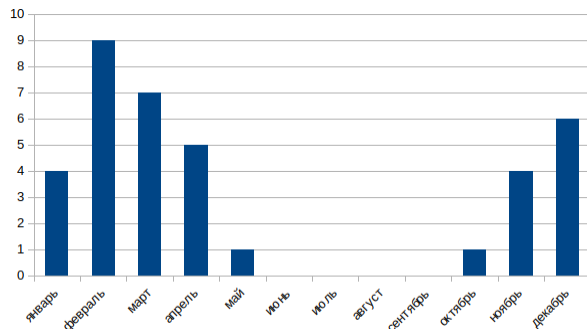


Рис. 3. Распределение направлений волн по месяцам за 2014–2019 гг. по данным оптической системы Keo Sentinel

Преимущественные направления распространения волн по данным КЕО Sentinel не совпадают с направлениями, полученными по данным камеры ФИЛИН-1Ц [Подлесный, 2018], находящейся в том же регионе наблюдений. Предположительно, это связано с различными высотами наблюдений волновых структур. Различия в преимущественном направлении распространения зарегистрированных волновых структур от направлений, полученных в работах [Nakamura et al., 1999; Ejiri et al., 2003; Tang et al., 2005], возможно, связаны с региональными особенностями точки наблюдения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Борчевкина О.П., Карпов И.В., Карпов А.И., Ильминская А.В. Акустико-гравитационные волны в наблюдениях тропосферных и ионосферных параметров над Калининградом. Proc. XXXIX Annual Seminar, Apatity, 2016. С. 108–111.

Подлесный С.В., Михалев А.В. Волновые структуры в свечении верхних слоев атмосферы по данным цветной ПЗС камеры. Сборник тезисов докладов Шестнадцатой всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 12–16 ноября 2018 г. С. 480.

Ejiri M.K., Shiokawa K., Ogawa T., et al. Statistical study of short-period gravity waves in OH and OI nightglow images at two separated sites // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, D21. P. 4679. DOI: [10.1029/2002JD002795](https://doi.org/10.1029/2002JD002795).

Essien P., Paulino I., Wrasse C.M., et al. Seasonal characteristics of small — and medium-scale gravity waves in the mesosphere and lower thermosphere over the Brazilian equatorial region // Ann. Geophys. 2018. V. 36. P. 899–914. DOI: [10.5194/angeo-36-899-2018](https://doi.org/10.5194/angeo-36-899-2018).

Laštovická J. Forcing of the ionosphere by waves from below // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2006. V. 68. P. 479–497.

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 Space. 1999. V. 51. P. 897–906.

Peterson A.W., Kieffer L.M. Photography and photometry of the infrared OH airglow. Nature, 1975. V. 257. P. 649.

Suzuki S., Shiokawa K., Hosokawa K., et al. Statistical characteristics of polar cap mesospheric gravity waves observed by an all-sky airglow imager at Resolute Bay, Canada // J. Geophys. Res. 2009. V. 114, A01311. DOI: [10.1029/2008JA013652](https://doi.org/10.1029/2008JA013652).

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.

Tang J., Swenson G.R., Liu A.Z., Kamalabadi F. Observational investigations of gravity wave momentum flux with spectroscopic imaging // J. Geophys. Res. 2005. V. 110, D09S09. DOI: [10.1029/2004JD004778](https://doi.org/10.1029/2004JD004778).

Taylor M.J., Ryan E.H., Tuan T.F., Edwards R. 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.

Taylor M.J., Bishop M.B., Taylor V. All-sky measurement of short period waves imaged in the OI(557.7 nm), Na(589.2 nm) and near infrared OH and O2(0.1) nightglow emissions during the ALOHA-93 campaign // Geophys. Res. Lett. 1995. V. 22, N 20. P. 2833–2836.

Yigit E., Knížova P.K., Georgieva K., Ward W. A review of vertical coupling in the Atmosphere–Ionosphere system: Effects of waves, sudden stratospheric warmings, space weather, and of solar activity // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2016. V. 141. P. 1–12.

URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/keo>.

URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/color>.