

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ИНФРАКРАСНОЙ КАМЕРОЙ ВСЕГО НЕБА

¹О.В. Мордосова, ²И.И. Колтовской

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия
oleSmile@mail.ru

²Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
koltigor@mail.ru

STUDYING INTERNAL GRAVITY WAVES WITH INFRARED ALL-SKY CAMERA

¹O.V. Mordosova, ²I.I. Koltovskoi

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
oleSmile@mail.ru

²Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia
koltigor@mail.ru

Аннотация. В работе проводится исследование внутренних гравитационных волн (ВГВ) над центральной частью Якутии. Регистрация ночного неба осуществлялась с помощью CCD-камеры ST-6. Полученные кадры обработаны методом временного дифференцирования. Приводятся статистические параметры ВГВ, полученные по данной методике за два сезона наблюдения, — такие как направления распространения, фазовые скорости распространения, период и длины волн.

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, мезосфера, инфракрасная камера всего неба, временное дифференцирование, волновые структуры.

Abstract. Internal gravity waves are spatio-temporal fluctuations of air masses. In this paper, we study internal gravity waves (IGWs) over the central part of Yakutia. We used the recording device of the CCD camera ST-6 and the time differentiation method.

Keywords: internal gravity waves, mesosphere, all-sky infrared camera, time differentiation, wave structures.

ВВЕДЕНИЕ

Внутренние гравитационные волны (ВГВ) — это пространственно-временные колебания воздушных масс. Генерация этих волн в основном происходит в тропосфере или на ее границе во время активных метеорологических процессов. Одним из основных процессов ВГВ является перенос энергии, импульса из нижней атмосферы в мезосферу и термосферу. Благодаря возрастанию амплитуды ВГВ по мере их проникновения на большие высоты возможным стало их обнаружение в верхних слоях атмосферы. На высоте мезопаузы ВГВ подвергаются спектральной фильтрации из-за ветрового сдвига и поглощаются, вызывая в области поглощения избыточное разогревание. Важно отметить, что при поглощении они могут передавать свой импульс массе воздуха, что приводит к появлению компоненты ветра в направлении распространения ВГВ. Все эти обстоятельства влияют на структуру нейтральной и ионизированной атмосферы [Шефов и др., 2006]. Наиболее информативным и дешевым методом исследования горизонтальных параметров ВГВ является визуализация волновых структур в эмиссиях свечения ночного неба камерами всего неба. Достаточно подробно они описаны в работах [Taylor et al., 1995; Nakamura et al., 1999; Necht et al., 2001; Аммосов и др., 2006].

В данной работе используются данные, полученные с помощью цифровой камеры всего неба установленной на оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E, в 140 км к северу от Якутска) и настроенной на регистрацию пространственной неоднородности в эмиссии свечения ночного неба, а именно на излучение в ближней инфракрасной области. В качестве основного объектива использован широко-

угольный объектив «рыбий глаз» (Nikkor Япония, 8 мм f/2.8), угол зрения которого равен 180°. Съемки волновых структур ночного неба проводятся через широкополосный стеклянный фильтр КС17, пропускающий свет в ближней инфракрасной области спектра (более 660 нм). Длинноволновая часть спектра ограничивается падением чувствительности регистрирующего приемника до нуля около длины волны 1000 нм. В области спектра 660–1000 нм излучаются интенсивные полосы молекулы гидроксила, слабые эмиссии континуума и полос молекулярного кислорода O₂(0-1). В качестве регистрирующего устройства служит CCD-камера ST-6 Santa Barbara Instrument Group (США). Съемки ночного неба проводились со средним пространственным разрешением, размер одного пикселя при этом составлял 23×27 мкм, что соответствует горизонтальному разрешению в зените в ~1.5 км на высоте 90 км. Кадры с экспозицией 150 снимались каждые 3 мин, CCD-камера охлаждалась до –30 °С.

Для визуализации и обработки данных камер всего неба был использован метод обработки — временное дифференцирование (time differencing (TD)). Подробное описание методики см. в работе [Swenson, Mende, 1994]. Суть метода заключается в следующем: строится картина разности интенсивностей двух различных кадров. При этом неподвижные объекты, Полярная звезда, континуум ночного неба вычитаются и остается картина движения неоднородности ночного неба между выбранными кадрами. Для гравитационных волн с периодами больше частоты съемки TD-картина усиливает контраст в областях, где волны движутся, усиливаются или ослабляются. Метод TD для хорошо выделенных

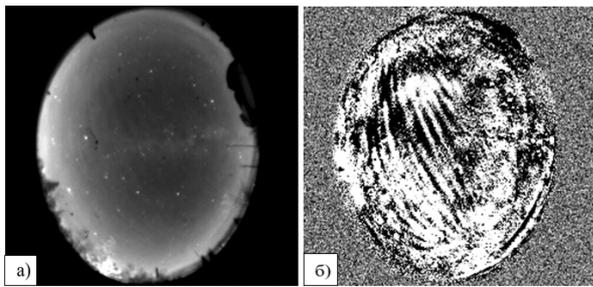


Рис. 1. 20 ноября 2017 г.: а — снимок ночного неба, полученный камерой всего неба с инфракрасным фильтром; б — кадр с обнаруженными ВГВ обработанный методом TD

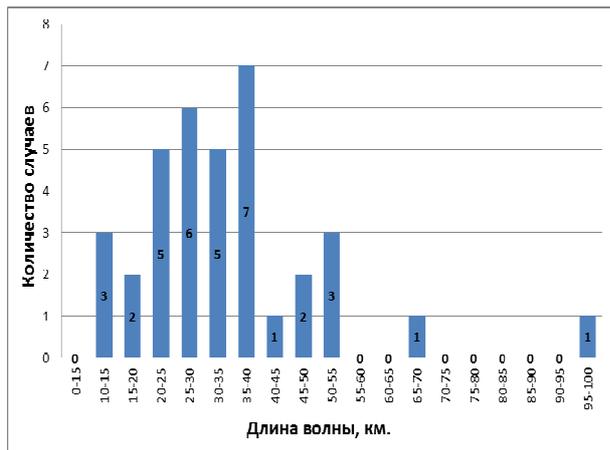


Рис. 2. Распределение длин волн за период наблюдения 2016–2018 гг.

монохроматических волновых структур приводит к почти двукратному усилению интенсивности, так как измеряемый сигнал является разностью волновых максимумов, которые последовательно переместились в пространстве на место, занятое ранее волновым минимумом. Для обработки использовалась центральная часть небосвода при зенитных углах $<45^\circ$, при которых пространственная картина имеет наименьшее искажение. Более подробную информацию о методике наблюдения и обработки можно найти в работе [Гаврильева, Аммосов, 2001].

В данном исследовании по изображениям камеры всего неба проанализированы 123 дня за 2016–2018 гг. Выявлено 36 дней, зафиксированных как ВГВ. Общее количество составило 512 кадров. Рассмотрим в качестве примера снимок ночного неба в инфракрасной области спектра, полученный 20 ноября 2017 г. (рис. 1, а) и этот же снимок после обработки методом TD (рис.1, б). На рис. 1, б видны монохроматические волновые структуры с некоторой периодичностью, которые являются ВГВ.

По динамике изменений нескольких кадров вычисляем длину волны, период, фазовую скорость распространения и направление распространения обнаруженных ВГВ.

Длины волн, зарегистрированные за период наблюдения, варьируют от 13.5 до 100 км. (рис. 2). Наибольшее количество волн находится в диапазоне от 31 до 36 км со средним значением 33.5 км.

Фазовые скорости изменяются от 20 до 150 км/ч (рис. 3). Среднее значение — около 55 км/ч.



Рис. 3. Распределение фазовых скоростей за период наблюдения 2016–2018 гг.

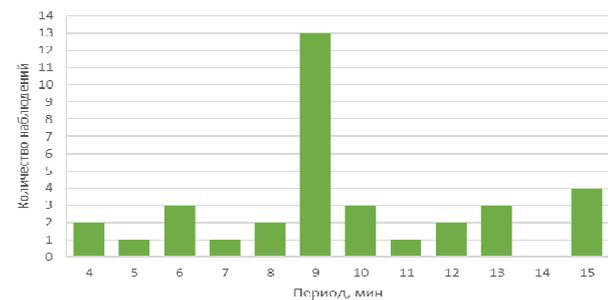


Рис. 4. Распределение периода наблюдений за 2016–2018 гг.

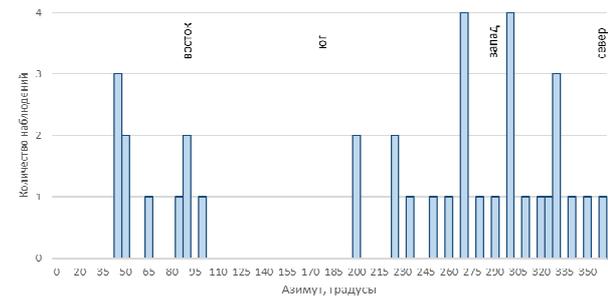


Рис. 5. Направление распространения волн за период наблюдения 2016–2018 гг.

Период наблюдения ВГВ распределен в пределах 4–15 мин (рис. 4). Наибольшее количество волн наблюдается в пределах 9 мин. Распределение распространения волн происходит преимущественно в западном направлении (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не вызывает сомнения факт существования ВГВ. За два сезона наблюдений зарегистрировано 36 дней, в которые наблюдались ВГВ. Длины волн, зарегистрированные за период наблюдения, варьируют от 13.5 до 100 км. Наибольшее количество волн находится в диапазоне 31–36 км со средним значением 33.5 км. Фазовые скорости изменяются от 20 до 150 км/ч со средним значением ~ 55 км/ч. Период наблюдения ВГВ распределен в пределах 4–15 мин. Наибольшее количество волн наблюдается в пределах 9 мин. Распределение распространения волн происходит преимущественно в западном направлении. Необходимо дальнейшее изучение данного процесса и сопоставление полученных данных с другими метеорологическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовской И.И. Наблюдения короткопериодических волн камерой всего неба в инфракрасном свечении ОН над Якутском. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2006. Т. 46, № 5. С. 1–5.

Гаврильева Г.А., Аммосов П.П. Наблюдения распространения гравитационных волн в инфракрасном свечении всего неба. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2001. Т. 41, № 3. С. 375.

Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. *Излучение атмосферы — индикатор ее структуры и динамики*. М.: Геос, . 2006. 741 с

Hecht J.H., Walterscheid R.L., Hickey M.P., Franke S.J. Climatology and modeling of quasi-monochromatic atmospheric gravity waves observed over Urbana Illinois. *J. Geophys. Res.* 2001. Vol. 106, iss. D6. P. 5181–5195. DOI: [10.1029/2000JD900722](https://doi.org/10.1029/2000JD900722).

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. Vol. 51, iss. 7-8. P. 897.

Swenson G.R., Mende S.B. OH emission and gravity wave (including a breaking wave) in all-sky imagery from Bear Lake, UT. *Geophys. Res. Lett.* 1994. Vol. 21, iss. 20. P. 2239.

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. Vol. 22, iss. 20. P. 2833.