

УДК 551.673

## НАБЛЮДЕНИЯ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЛН КАМЕРОЙ ВСЕГО НЕБА В ИНФРАКРАСНОМ СВЕЧЕНИИ ОН НАД ЯКУТСКОМ

П.П. Аммосов, Г.А. Гаврильева, И.И. Колтовской

### OBSERVATION OF SHORT-PERIOD WAVES BY THE INFRARED ALL-SKY CAMERA OVER YAKUTSK

P.P. Ammosov, G.A. Gavrielyeva, I.I. Koltovskoy

Приводятся результаты статистического анализа параметров внутренних гравитационных волн (ВГВ), зарегистрированных по вариациям эмиссии молекулы гидроксила. Волновые структуры регистрировались инфракрасной камерой всего неба, установленной на оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E). Составлена предварительная статистика всех зарегистрированных короткопериодических внутренних гравитационных волн за период 1998–2009 гг. В частности, вычислены общее время наблюдений ВГВ (~285 ч), частота появлений ВГВ (~225) и построены их гистограммы. Гистограммы построены по отдельным параметрам: длине волн, скорости волн, периоду волн и преимущественному направлению. Короткопериодические гравитационные волны с периодами меньше одного часа были разделены на две категории волн: «полосы» и «рябь».

Results of the statistic analysis of internal gravitational wave (IGW) parameters are given. The parameters were registered in variations of hydroxyl molecules emission. Wave structures were recorded by the infrared all sky camera at the optic station in Maimaga (63° N, 129.5° E). We made preliminary statistics of all registered short-period internal gravitational waves for the period from 1998 to 2008. In particular, total time of control (~285 hours) and frequency of IGW occurrence (~225 hours) were calculated and their histograms were built. These histograms were plotted based on individual parameters: wavelength, wave velocity, period of waves, and preferred direction. Short-period gravitational waves with periods less than an hour were divided into two wave categories: “strips” and “ripples”.

#### Введение

Внутренние гравитационные волны играют значительную роль в переносе энергии из нижней атмосферы в мезосферу и тем самым влияют на ее температурный и динамический режим. В средней и верхней атмосфере волновую активность исследуют разными способами: радарными, лидарными и спутниковыми измерениями. Но одним из наиболее информативных и дешевых методов исследования горизонтальных параметров является визуализация волновых структур в эмиссиях свечения ночного неба камерами всего неба. Достаточно подробно она описана в [1].

В работе приводятся результаты статистического анализа данных наблюдения волновых возмущений на субавроральной широте в течение одиннадцати зимних сезонов.

#### Аппаратура

В Институте космофизики и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера ЯНЦ СО РАН изготовлена и внедрена в практику регулярных наблюдений цифровая камера всего неба, способная регистрировать пространственную неоднородность в эмиссиях свечения ночного неба. В качестве основного использован широкоугольный объектив «рыбий глаз» (Nikkor, Япония, 8 мм  $f/2.8$ ), угол зрения которого равен 180°. В качестве регистрирующего устройства служит ПЗС-камера ST-6, производства Santa Barbara Instrument Group. Камера собрана в виде головки, включающей собственно ПЗС-матрицу, полупроводниковую систему охлаждения, снижающую температуру головки максималенно на 50° ниже температуры окружающей среды, и 16-разрядный АЦП с выходом на компьютер. Камера может снимать в трех режимах: 250×374, 241×250 и 120×250 пикселей. Съемки ночного неба проводились со средним пространствен-

ным разрешением, размер одного пикселя при этом равнялся 23×27 мкм, что соответствует горизонтальному разрешению (в зените) в ~1.5 км на высоте 90 км. Кадры с экспозицией 150 с снимались в каждые 3 мин. ПЗС-камера охлаждалась до -30 °С. Прозрачность атмосферы контролируется двумя способами: во-первых, визуальные наблюдения, в которых прозрачность оценивалось по пятибалльной системе, во-вторых, при обработке дополнительно строились кривые изменения яркости Полярной звезды.

#### Наблюдения и обработка данных

Оптический полигон Маймага ( $\varphi = 63^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 129.5^\circ \text{ E}$ ), на котором проводились наблюдения, выгодно отличается от многих оптических станций. Резко выраженный антициклонический характер зимней погоды благоприятствует ясным холодным ночам, что облегчает проведение оптических наблюдений. Удаленность полигона от крупных промышленных городов, населенных пунктов исключает возможность техногенного загрязнения атмосферы и разного рода засветок. Низкая геомагнитная широта уменьшает частоту появления сияний. Для исследования волновых процессов были использованы данные, полученные в ясные, безлунные ночи без сияний с декабря по март 1998–2009 гг. Сезон наблюдений с декабря по март в условиях центральной Якутии относится к зимнему состоянию атмосферы, включая мезосферу.

Снимки ночного неба проводились каждые три минуты. Для четкого выделения пространственно-временных изменений в интенсивности излучения был использован метод временного дифференцирования (time differencing (TD)) [2]. 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, чем частота съемки, TD-картина усиливает контраст в областях, где волны движутся. Метод TD для хорошо выделенных 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 [3].

Суммарное время съемки кадров всего неба, пригодных для определения параметров волн, составляло 285 ч. Волна считалась зарегистрированной в случае четкой картины волны в течение 4-х последовательных TD-кадров, позволяющих оценить ее скорость и направление распространения. Из 154 ночей наблюдения было выявлено 225 волновых возмущений, определенных как внутренние гравитационные волны. Короткопериодические гравитационные волны с периодами меньше одного часа были разделены на две категории волн: «полосы» и «рябь». «Полосы» – это более устойчивые волны. Горизонтальные длины волн полос доходят до нескольких десятков километров, а фазовые скорости до 100 м/с. Эти волны приписываются свободно распространяющимся или захваченным короткопериодическим волнам [4]. «Рябь» – короткоживущие ( $< 45$  мин) мелкомасштабные волны, наблюдающиеся в ограниченной части небосвода [5], по-видимому, генерируется локальным сдвигом или конвективной нестабильностью в поле ветра. Из всех зарегистрированных волн 86.8 % приходятся на волны типа «полосы» и лишь 13.2 % – на волны типа «рябь».

На рисунках приведены гистограммы распределения параметров внутренних гравитационных волн, имеющих тип «полосы». На рис. 1 представлена гистограмма распределения по длинам волн. Горизонтальные длины волн за весь период наблюдения варьируют от 17 до 122 км. Видно, что самое большое число зарегистрированных волн приходится на длину волны от 25 до 35 км (39 %). Среднее значение длины волны зарегистрированных волн порядка 31 км. Оцененные периоды изменяются в диапазоне 6–90 мин (среднее значение  $\sim 10$  мин) (рис. 2). Наблюдаемые фазовые горизонтальные скорости находятся в пределах 15–166 м/с (среднее значение 58 м/с) (рис. 3). Из гистограммы скоростей следует, что более 27 волн имеют скорость  $\sim 40$  м/с. Основная масса волн имеет скорость 20–70 м/с. Из рис. 4 видно, что большинство зарегистрированных волн распространяются в диапазоне  $220\text{--}350^\circ$ , т. е. в западном направлении. Всего за время наблюдений волны типа «рябь» зарегистрированы 22 раза. Отличительные особенности волн типа «рябь» – это короткое время жизни, в большинстве случаев такая волна просматривалась на TD-кадрах в течение 6–20 мин. Периоды их колеблются от 6 до 21 мин (среднее

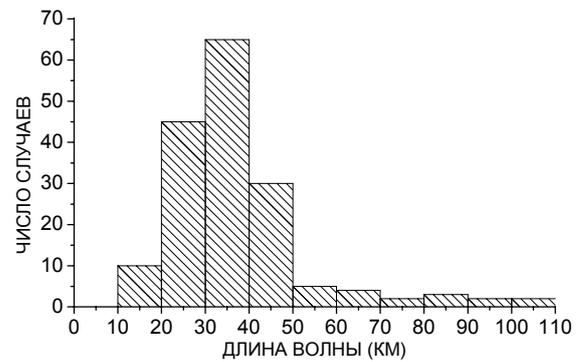


Рис. 1. Распределение по длинам волн.

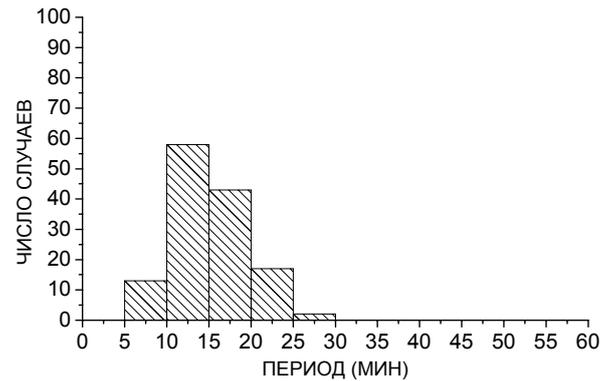


Рис. 2. Распределение периодов.

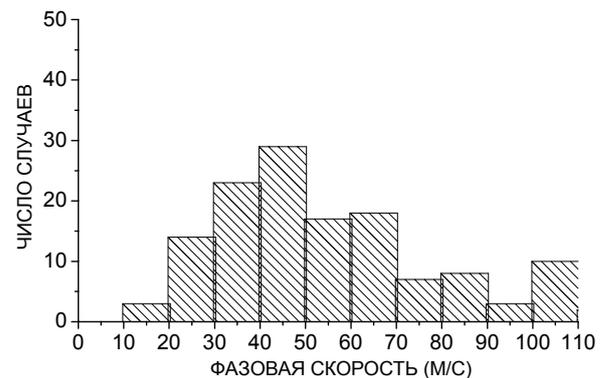


Рис. 3. Распределение волн по фазовым скоростям.

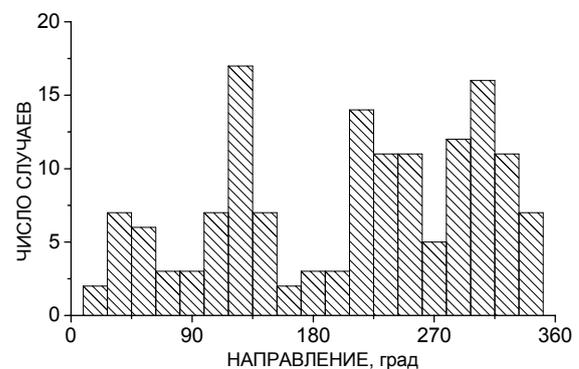


Рис. 4. Азимутальное распределение направлений распространения.

значение – 10.75 мин). Наблюдаемые фазовые горизонтальные скорости изменяются от 14 до 77 м/с (среднее значение – 30.29 м/с). Волны типа «рябь» перемещаются, в основном, на запад.

### Заключение

Распределение параметров волн, зарегистрированных нами, близко к результатам исследования волн в низких и средних широтах. При одинаковых формах распределений длин волн и скоростей распространения их средние значения на субавроральной широте больше, чем на средних широтах. Известно, что длины волн, измеренные с кадра камеры всего неба, имеют истинные значения. Они не искажаются под воздействием фонового ветра, как это наблюдается для периода или фазовой скорости волны. Следовательно, большие значения длин волн на субавроральной широте можно принять как неопровержимый экспериментальный факт.

Регистрируемые волны имеют среднюю горизонтальную длину волны 31 км, что предполагает эти волны генерированными на расстоянии порядка 200 км от места наблюдения. Полигон Маймага находится на левом берегу реки Лены на расстоянии 200 км к западу от Верхоянских хребтов. Возможно зарегистрированные волны типа «полосы» являются орографическими волнами, генерированными горными массивами, расположенными вдоль восточного берега реки Лены и ее притока Алдана.

В сравнении с исследованиями на средних и низких широтах, короткие волны («рябь») в наших измерениях наблюдаются значительно реже. Возможно, это обусловлено относительно низкой чувствительностью регистрирующей части камеры всего неба по сравнению с зарубежными аналогами, так как «рябь» сложнее регистрировать из-за слабой интенсивности. Эти волны движутся, как и более длинноволновая часть, также на запад. Следует отметить, что в зимний период короткие волны в средних широтах тоже имеют тенденцию распространяться на запад [6].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taylor M.J., Hapgood M.A., Rothwell P. Observation of gravity wave propagation in the OI (557.7 nm), Na (589.2 nm) and the near-infrared OH nightglow emissions // *Planet. Space Sci.* 1987. V. 35. P. 413.
2. 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. V. 21, N 20. P. 2239.
3. Гаврильева Г.А., Аммосов П.П. Наблюдения распространения гравитационных волн в инфракрасном свечении всего неба // *Геомарг. и аэрон.* 2001. Т. 41, № 3. 375 с.
4. 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 O<sub>2</sub>(0,1) nightglow emissions during the ALOHA-93 campaign // *Geophys. Res. Lett.* 1995. V. 22, N 20. P. 2833.
5. Peterson A.W. Airglow events visible to the naked eye // *Appl. Opt.* 1979. V. 22. P. 3390.
6. 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. N 7–8. P. 897.

*Институт космических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия*