

УДК 551.510.533

DOI: 10.62955/0135-3748-2026-379

0000-0002-6342-6389

ЧАСТОТА РЕГИСТРАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ ЯКУТИИ

О.В. Тыщук, А.И. Васильева, П.П. Аммосов, И.И. Колтовской

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия,

Mordosova@ikfia.ysn.ru

RECORDING FREQUENCY AND CHARACTERISTICS OF INTERNAL GRAVITY WAVES OVER THE CENTRAL PART OF YAKUTIA

O.V. Tyshchuk, A.I. Vasilyeva, P.P. Ammosov, I.I. Koltovskoi

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia, Mordosova@ikfia.ysn.ru

Аннотация. Исследования внутренних гравитационных волн (ВГВ) на полигоне Маймага (63.0° с.ш., 129.5° в.д.) ведутся непрерывно с 1999 г. Значительный объем экспериментальных данных, накопленный за более чем двадцатипятилетний период, может позволить выявить закономерности пространственно-временной изменчивости волновых возмущений. Целью работы является определение частоты регистрации внутренних гравитационных волн над центральной частью Якутии на основе анализа многолетней серии наблюдений, а также определение их характеристик. Перспективной задачей является количественное исследование влияния солнечной активности на частоту регистрации ВГВ по всей многолетней серии данных.

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, мезосфера, солнечная активность, камера всего неба.

Abstract. Studies of internal gravity waves (IGWs) at the Maimaga test site (63.0°N, 129.5°E) have been conducted continuously since 1999. The significant amount of experimental data accumulated over more than 25 years can help to identify patterns in the spatiotemporal variability of wave disturbances. The aim of this study is to determine the frequency of internal gravity wave recordings over central Yakutia based on an analysis of a long-term observation series, as well as to characterize their characteristics. A promising objective is to quantitatively study the influence of solar activity on the IGW recording frequency across the entire long-term data series.

Keywords: internal gravity waves, mesosphere, solar activity, all-sky camera.

ВВЕДЕНИЕ

Регистрация волновых процессов в свечении ночного неба осуществляется с помощью инфракрасной камеры всего неба на оптическом полигоне Маймага им. В.М. Игнатьева ИКФИА СО РАН (63.0° с.ш., 129.5° в.д.), который расположен в центральной части Якутии.

В основе первой регистрирующей системы, работавшей с 1999 г., лежит ПЗС-камера «ST-6» (Santa Barbara Instrument Group, SBIG). Для съемки используется объектив типа «рыбий глаз» (Fisheye Nikkor) с широкополосным стеклянным фильтром «КС-17», обеспечивающим пропускание света в ближней инфракрасной области спектра (660–1000 нм) [Gavril'yeva, Ammosov, 2002]. В данном диапазоне преимущественно регистрируется свечение полос молекул гидроксидов OH, имеющих номинальную высоту свечения 87 км. Разрешение матрицы составляет 241×250 пикселей. Интервал между последовательными кадрами равен 3 мин при длительности экспозиции 150 с.

Начиная с 2019 г. первую регистрирующую систему «ST-6» сменила усовершенствованная система на базе ПЗС-камеры «ST-9» (SBIG). Разрешение матрицы составляет 512 × 512 пикселей. Интервал между кадрами равен 1 мин с экспозицией 20 с.

Для анализа данных камеры всего неба используется метод временного дифференцирования

(time differencing, TD) [Swenson, Mende, 1994]. Суть метода заключается в попиксельном вычитании двух последовательных кадров, что позволяет усилить изменения интенсивности свечения, вызванные распространением ВГВ в атмосфере, — этот метод подходит для обработки данных камеры «ST-6». Для камеры всего неба «ST-9», работающей с более короткой экспозицией, применяется модифицированный метод TD, при котором результирующее изображение формируется из девяти последовательных кадров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа ВГВ отбирались пригодные ночные безоблачные кадры, на которых отсутствовала засветка от Луны и не наблюдалось видимых полярных сияний. Обработка данных выполнялась с помощью программного комплекса собственной разработки на языке программирования Python.

Частота регистрации ВГВ определялась как выраженное в процентах отношение суммарной продолжительности интервалов наблюдений, в которых зарегистрированы ВГВ ($T_{\text{ВГВ}}$), к общей продолжительности пригодных для анализа наблюдений ($T_{\text{общ}}$) [Kim et al., 2010]:

$$\frac{T_{\text{ВГВ}}}{T_{\text{общ}}} \times 100 \, \%$$

Рассмотрим предварительные полученные результаты на примере данных за 2012 и 2017 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Сезонная изменчивость времени наблюдений и частоты регистрации ВГВ на полигоне Маймага

2012 г.						
	январь	февраль	март	апрель	ноябрь	декабрь
Т _{общ} , мин	2409	1503	915	633	2453	2376
Т _{ВГВ} , мин	582	567	201	165	402	669
Частота регистрации, %	24	38	22	26	16	28
2017 г.						
	январь	февраль	март	апрель	ноябрь	декабрь
Т _{общ} , мин	2826	3903	2673	444	2361	5445
Т _{ВГВ} , мин	423	759	489	135	798	879
Частота регистрации, %	15	19	18	30	34	16

Общее время наблюдений за 2012 г. составило 10289 мин, из которых ВГВ наблюдались в течение 2586 мин. Общая частота регистрации ВГВ составила 25 %. За 2017 г. общее время наблюдений — 17886 мин, из которых время регистрации ВГВ — 3483 мин. Общая частота регистрации ВГВ — 19 %. Таким образом, несмотря на то, что общее время наблюдений в 2017 г. было существенно больше, чем в 2012 г., среднегодовая частота регистрации ВГВ в 2012 г. оказалась несколько выше. Сезонное распределение частоты регистрации ВГВ представлено на рис. 1.

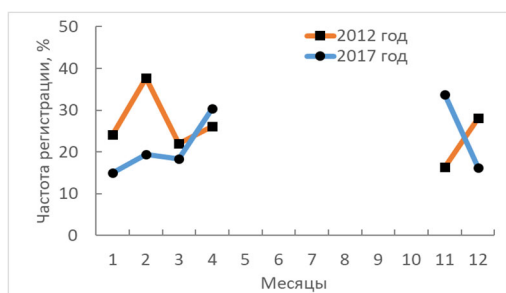


Рис. 1. Сезонная изменчивость частоты регистрации ВГВ в слое ОН на полигоне Маймага в 2012 и 2017 гг.

Поскольку частота регистрации ВГВ зависит не только от волновой активности, но и от количества пригодных для анализа ночей, на рис. 2 показано сезонное распределение общего времени наблюдений ($T_{\text{общ}}$) в 2012 и 2017 гг.

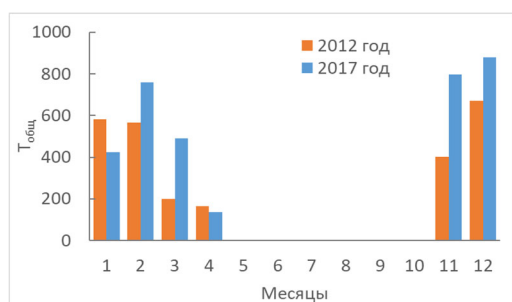


Рис. 2. Сезонная изменчивость пригодных для анализа наблюдений на полигоне Маймага в 2012 и 2017 гг.

Полученные в настоящей работе результаты по частоте регистрации ВГВ над центральной частью Якутии могут быть сопоставлены с известными закономерностями влияния солнечной активности на волновые процессы в атмосфере. Известно, что на высотах ионосферы в зимние сезоны активность волновых возмущений несколько снижается в годы минимума солнечной активности по сравнению с

годами высокой солнечной активности, причем этот эффект более выражен на высокоширотных станциях [Yasyukevich et al., 2017]. Поэтому представляет интерес исследовать, наблюдается ли аналогичная зависимость для ВГВ, регистрируемых в мезосфере. 2012 г. соответствует максимуму 24-го цикла солнечной активности (сглаженное число Вольфа ~98), тогда как 2017 г. близок к минимуму (сглаженное число Вольфа ~15) [Australian Space Weather Services, 2017]. Предварительно вычисленная частота регистрации ВГВ в 2012 г. составила 25 %, что выше, чем в 2017 г. (19 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере данных наблюдений за 2012 и 2017 гг. на полигоне Маймага предварительно определена частота регистрации внутренних гравитационных волн за период с 1999 по 2022 г., а также рассчитаны их статистические параметры. В дальнейшем будет выполнена количественная оценка влияния солнечной активности на частоту регистрации ВГВ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 125102712109-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Australian Space Weather Services. Observed and predicted solar indices // Bureau of Meteorology. 2017. URL: sws.bom.gov.au/Solar/1/6.
- Gavrilyeva G.A., Ammosov P.P. Wave structures imaged in near-infrared nightglow at Yakutsk // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. 2002. V. 64. P. 1117–1120. DOI: 10.1016/S1364-6826(02)00062-7.
- Kim Y.H., Lee C., Chung J.-K., et al. Seasonal variations of mesospheric gravity waves observed with an airglow all-sky camera at Mt. Bohyun, Korea (36° N) // J. Astron. and Space Sci. 2010. V. 27, N 3. P. 181–188. DOI: 10.5140/JASS.2010.27.3.181.
- 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. V. 21. P. 2239–2242. DOI: 10.1029/94GL02062.
- Yasyukevich A.S., Chernigovskaya M.A., Mylnikova A.A., et al. Seasonal and helio-geomagnetic activity pattern of the ionospheric variability over Russia's Eastern Siberia and Far East region from the GPS/GLONASS data // 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS). 2017. P. 2015–2022. DOI: 10.1109/PIERS.2017.8262081.