

УДК 551.511.31

АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИНТЕНСИВНОСТИ 557.7НМ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ КАМЕР ВСЕГО НЕБА НГК ИСЗФ СО РАН

А.А. Перебоева¹, Т.Е. Сыренова², В.Р. Черткова¹, Р.В. Васильев²

¹ЧОУ “Точка будущего”, Иркутск, Россия,
pereboeva07@bk.ru

²Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

ANALYSIS OF WAVE DISTURBANCES IN 557.7NM INTENSITY RECORDED USING ALL-SKY CAMERAS OF THE NHC ISTP SB RAS

A.A. Pereboeva¹, T.E. Syrenova², V.R. Chertkova¹, R.V. Vasilyev²

¹EC “Point of future”, Irkutsk, Russia,
pereboeva07@bk.ru

²Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация: Волновые возмущения играют значительную роль в динамике атмосферы Земли. Исследуя волновые возмущения в верхней атмосфере, можно оценить количество энергии, переносимой из нижней атмосферы в верхнюю и впоследствии оценить, например, степень влияния процессов в нижней атмосфере на динамику искусственных спутников земли. Для юга Восточной Сибири проведен статистический анализ волновых возмущений в интенсивности 557.7 нм — линии высвечивания атомарного кислорода (высота ~85–115 км.) с использованием оптических инструментов Национального Гелиогеофизического комплекса.

Ключевые слова: внутренние гравитационные волны, свечение атмосферы, камера всего неба, эмиссия 557.7 нм

Abstract: Wave disturbances play a significant role in the dynamics of the Earth's atmosphere. By studying wave disturbances in the upper atmosphere, it is possible to estimate the amount of energy transferred from the lower atmosphere to the upper atmosphere and subsequently evaluate, for example, the influence of processes in the lower atmosphere on the dynamics of artificial Earth satellites. For the south of Eastern Siberia, a statistical analysis of wave disturbances at 557.7 nm intensity - the atomic oxygen emission line (altitude ~85–115 km) was carried out using optical instruments of the National Heliogeophysical Complex.

Keywords: internal gravitational waves, airglow, all-sky camera, 557.7 nm emission

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших компонентов, вносящих вклад в собственное свечение верхней атмосферы, является атомарный кислород. Самой яркой дискретной эмиссией в видимой области спектра в ночном свечении среднширотной верхней атмосферы является зеленая эмиссия атомарного кислорода [O1] 557.7 нм, соответствующая запрещенному переходу ('S - *D):



В средних широтах зеленая эмиссия возбуждается в диапазоне высот 85–15 км с максимумом интенсивности на -97 км [Bates, 1978] и подвергается регулярным и нерегулярным вариациям различных временных масштабов [Шефов и др., 2006].

Вариации интенсивности излучения 557.7 нм во многом объясняется влиянием солнечной активности, а также процессов, происходящих в нижележащей атмосфере и литосфере. Эти процессы генерируют внутренние гравитационные волны (ВГВ), распространяющиеся в верхние слои атмосферы.

До настоящего времени вариации интенсивности 557.7 нм для юга Восточной Сибири тщательно исследовались в работах [Михалев и др., 2008; Медведева, 2008; Михалев, 2011] с помощью зенитного фотометра со сменными фильтрами. Отмечалась значительная вариабельность эмиссии 557.7 нм на различных временных масштабах. Причинами возмущений интенсивности зеленой линии наиболее часто являются ВГВ, метеорологические процессы, орографический эффект.

С созданием Национального Гелиогеофизического комплекса (НГК) с высокочувствительной аппаратурой появилась возможность исследовать не только наличие ВГВ, но и с помощью широкоугольных систем регистрировать направления и скорости распространения.

Внутренние гравитационные волны — распространение колебаний воздушных масс, имеющих в отличие от обычных звуковых (акустических) волн, помимо продольной, ещё и поперечную, сдвиговую составляющую [Исаева и др., 2016]. Механизм этих волновых колебаний основан на изменении плавучести частиц воздуха при адиабатических перемещениях по вертикали. Причинами возникновения ВГВ, как правило, являются: особенности рельефа местности (граница «океан-суша»), цунами, тайфуны, торнадо, извержения вулканов, метеоры, геомагнитная активность, солнечный терминатор, землетрясения, запуски космических аппаратов, военные и атомные взрывы и многие другие.

Способы регистрации волновых возмущений в верхней атмосфере могут быть самыми разными. Помимо оптического метода регистрации возмущений параметров атмосферы проходящими ВГВ (фотоаппараты, интерферометры, спектрометры, фотометры и камеры всего неба) можно использовать радиофизический (иозонды, спутники ГЛОНАСС, радары), потому как вариации плотности и температуры нейтральной компоненты воздуха верхней атмосферы могут в значительной степени влиять на концентрацию холодной плазмы, которая составляет ионосферу Земли.

Поскольку источники ВГВ располагаются, как

правило, в литосфере либо в нижней атмосфере, волны распространяются вверх по мере уменьшения плотности атмосферы с высотой. Интерес при изучении динамики верхней атмосферы представляет способность волн переносить энергию и импульс с высот высвечивания 557.7 нм (около 90 км) до высот высвечивания 630 нм (около 250 км).

В работе проведено статистическое исследование волновых возмущений интенсивности линии 557.7 нм и сравнение данных возмущений на высотах 97 км и 250 км. Основной задачей является поиск и выявление сходств и различий регистрируемых параметров.

ОПТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

НГК расположен в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН, вблизи п. Торы, в 150 км от г. Иркутск (51°48 с.ш., 103°04 в.д., высота 670 м). В состав комплекса входят: фотометры, спектрометры, интерферометры Фабри-перо, камеры всего неба.

Камера всего неба представляет собой цифровой аппарат с объективом типа «рыбий глаз» и с барабаном сменных фильтров. Основное предназначение широкоугольных камер — построение пространственной картины интенсивности различных эмиссий.

Для анализа и дальнейшего сравнения волновых возмущений в двух линиях интенсивности были отобраны ночи эмиссии 557.7 нм, когда регистрировались волновые структуры в 630 нм. Данные были получены

в ходе ручной обработки оператором исходных файлов камеры всего неба в безлунные, безоблачные дни. В результате была получена таблица с датой и временем наблюдения, расположением на кадре и направлением распространения волновых структур.

Снимки интенсивности 557.7 нм для дат из таблицы были скачаны с внутреннего ресурса ИСЗФ СО РАН (<http://10.0.6.49/>), где они представлены после первичной обработки для дальнейшего анализа (рис. 1). На сайте можно выбрать камеру, дату и время съемки и скачать выбранные снимки.

Обработка кадров в дни, когда были зарегистрированы волновые возмущения в интенсивности 630 нм. Скачанные данные кадров 557.7 нм, полученных с помощью камеры всего неба из архивов НГК, подвергаются ручной обработке. В случае, если волновые структуры повторяются на трех и более последовательных кадрах, они записываются в таблицу. Также вносится информация о дате, времени, местоположении и направлении распространения зарегистрированных структур.

Кроме того, одним из важных факторов является распознавание и разделение на кадрах облаков от ВГВ. Критерием к различию является то, что сквозь волны просвечиваются звезды, тогда как облачность перекрывает видимые звезды. Примеры кадров, на которых присутствуют и облачность, и волновые возмущения в обеих линиях интенсивности, приведены на рис. 2. Красным цветом отмечены волны, зеленым — облачность.

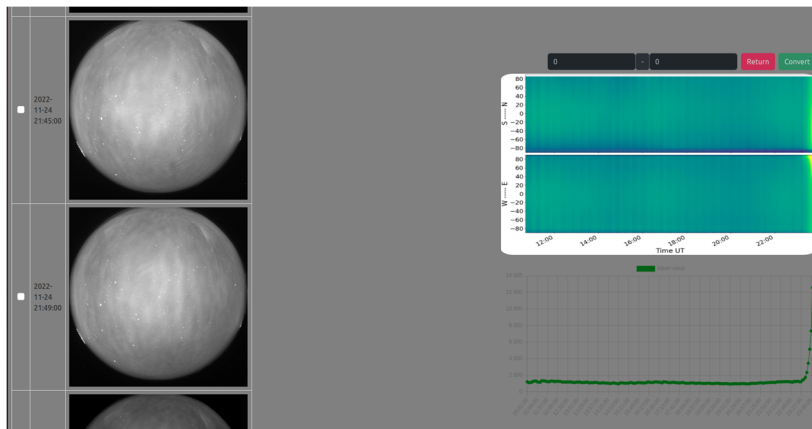


Рис. 1. Страница просмотра кадров после первичной обработки. На кадрах можно отчетливо наблюдать ВГВ, распространяющиеся вдоль направления восток–запад

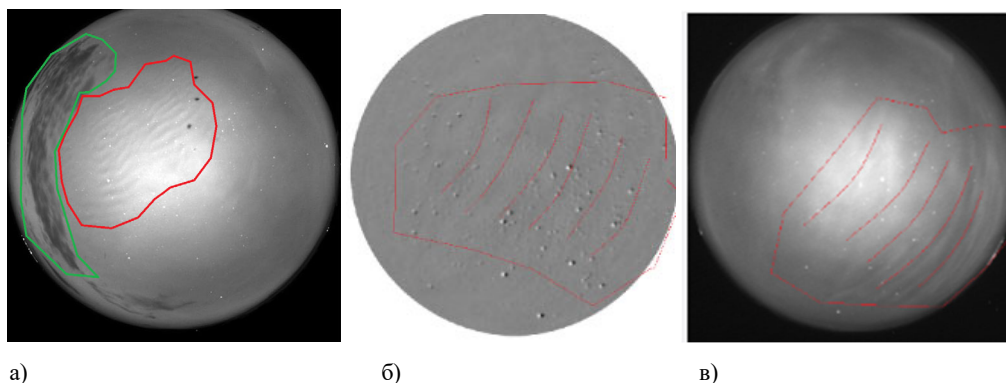


Рис. 2. а) пример кадра с волновыми возмущениями на фоне облачности (557.7 нм); б) кадр с волновыми структурами в линии 630 нм 2022-01-02 17:44:01; в) кадр с волновыми структурами в линии 557.7 нм 2022-01-02 16:43:00

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обработки массива данных с июня 2021 г. по октябрь 2023 г. проанализировано 4422 снимка камеры всего неба в линии интенсивности 557.7 нм. На кадрах было обнаружено 200 случаев ВГВ. Основные направления распространения волновых возмущений — на юг и на восток: 73 и 72 случаев, соответственно. На запад и на север несколько меньше — 57 и 44 соответственно.

Отмечается сезонная зависимость: наибольшее количество ВГВ зимой — 49 % от общего количества наблюдения волн, 30.5 % — волн замечены осенью, 13 % — весной и 7.5 % волн замечены лето. Это согласуется с данными сезонного хода, полученными в работе [Михалев, 2011], где также отмечены наиболее частые вариации интенсивности в зимнее время.

Сравнение появления волн в интенсивностях 5577 и 6300. Было обнаружено 4 случая наблюдения волн на двух высотах с интервалом между ними 1 ч. В таком случае вертикальная скорость распространения волн составляет около 40 м/с, что вполне согласуется с теорией ветровой фильтрации в верхней атмосфере [Pogoreltsev, Pertsev, 1996].

Статистический анализ показал, что в интенсивности 557.7 нм волны наблюдаются примерно в 4–5 раз чаще, чем в линии 630 нм. При этом на одном кадре 557.7 нм может наблюдаться несколько фронтов волновых возмущений.

Регистрация волновых возмущений как на высотах высвечивания линии 557.7 нм (97 км), так и на высотах свечения линии 630 нм (250 км) является одним из важных свидетельств вертикальной связи в динамике верхней атмосферы. Обнаружение волновых возмущений на указанных высотах может позволить оценить возможные источники в более нижних слоях атмосферы или в литосфере. Ранее выполненные исследования вариаций интенсивности линии 557.7 нм производились с помощью зенитного фотометра. Полученные в настоящей работе статистические результаты с использованием широкоугольной камеры дают лучшее

пространственное разрешение. Кроме того, дальнейшее изучение и пополнение набора статистических параметров ВГВ могут послужить отличной базой при создании моделей среднеширотной верхней атмосферы и разработки методов искусственного интеллекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (субсидия № 075-ГЗ/ЦЗ569/278).

Экспериментальные данные получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара» (ИСЗФ СО РАН) <http://ckp-angara.iszf.irk.ru/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Исаева А.Д., Матин Д.С., Синичкин А.Н., Фролов А.С. Внутренние гравитационные волны в атмосфере // Проблемы науки. 2016. №5 (6).

Медведева И.В. Излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557.7 нм по данным наблюдений в регионе Восточной Сибири: дис. к.ф.-м.н. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2008.

Михалев А.В. Вариабельность атмосферной эмиссии 557.7 нм // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 17. С. 184–188.

Михалев А.В., Медведева И.В., Костылева Н.В., Стоева П.В. Проявление солнечной активности в вариациях атмосферных эмиссий 557.7 и 630 нм в 23-м солнечном цикле // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 5. С. 425–431.

Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. М.: ГЕОС, 2006. 741 с.

Bates D.R. Forbidden oxygen and oxygen lines in the nightglow // Planet. Space Sci. 1978. V. 26, N10. P. 897–912.

Pogoreltsev A.I., Pertsev N.N. The influence of background wind on the formation of the acoustic-gravity wave structure in the thermosphere // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 1996. V. 132. P. 723–728.

Shiokawa K., Ihara C., Otsuka Y., Ogawa T. Statistical study of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances using midlatitude airglow images // J. Geophys. Res. 2003. 108(a1). 1052.

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Ratovsky K.G. et al. Morphology of traveling wave disturbances recorded in Eastern Siberia in 630 nm atomic oxygen emission // Atmosphere. 2022. 13(2). 198.