

**ВАРИАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЫ
В ПЕРИОДЫ ВЫСОКОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ**

Т.Е. Сыренова, А.Б. Белецкий, М.А. Тащилин, А.В. Михалев, С.В. Подлесный

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

**VARIATIONS IN RADIATION OF THE UPPER MID-LATITUDE ATMOSPHERE
DURING THE PERIODS OF HIGH GEOMAGNETIC ACTIVITY**

T.E. Syrenova, A.B. Beletsky, M.A. Tashchilin, A.V. Mikhalev, S.V. Podlesny

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

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования вариаций параметров верхней атмосферы Земли на высотах мезосферы — нижней термосферы в периоды сильных геомагнитных возмущений. Исследование проведено на основе данных измерений пространственного и спектрального распределения интенсивности атмосферных эмиссий, зарегистрированных в средних широтах (Геофизическая обсерватория ИСЗФ СО РАН). Определены направления, скорости распространения и периоды наблюдаемых вариаций.

Ключевые слова: крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (КМ ПИВ), геомагнитная активность, атмосферные эмиссии, скорости распространения.

Abstract. The paper presents the results of studying the variations in the parameters of the upper atmosphere of the Earth at the heights of the mesosphere — the lower thermosphere during periods of strong geomagnetic disturbances. The study was carried out on the basis of measurements of the spatial and spectral distribution of the intensity of atmospheric emissions recorded at mid-latitudes (Geophysical Observatory, ISTP SB RAS). Directions, propagation rates and periods of observed variations are determined.

Keywords: large-scale travelling ionospheric disturbances (LSTID), geomagnetic activity, atmospheric emissions, propagation rates.

Важной задачей является изучение процессов генерации и распространения ионосферных возмущений различных масштабов. Данные возмущения могут оказывать существенное влияние на работу средств радиосвязи и спутниковой навигации. Считается, что основными источниками внутренних гравитационных волн (ВГВ) являются как процессы в авроральной ионосфере, так и динамические процессы в нижней атмосфере, однако, относительный вклад каждого из данных механизмов на данный момент не до конца ясен. Основной трудностью является отсутствие необходимого количества эмпирических данных [Власов и др., 2009]. Зависимость уровня авроральной активности, а, следовательно, и интенсивности генерации крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (КМ ПИВ), от мирового времени определяет то, что наиболее благоприятные условия для наблюдения КМ ПИВ создаются в Австрало-Азиатском долготном секторе, на ночные часы которого падает максимум авроральной активности [Яковец и др., 2011]. В ряде работ показано, что распространение КМ ПИВ носит глобальный характер. В работе [Шашунькина и др., 1998] на основе анализа большого объема данных вертикального зондирования ионосферы построена планетарная эмпирическая модель реакции критической частоты и высоты ночной области hmF_2 на прохождение КМ акустико-гравитационных волн, сгенерированных магнитосферными суббуриями. В работе [Ding, et al., 2008] отмечено, что зависимость воз-

никновения авроральных геомагнитных возмущений от мирового времени играет важную роль в формировании UT и LT зависимости появления КМ ПИВ, наблюдаемых на средних широтах. При этом среднее значение периодов, горизонтальных скоростей и азимутов составляет 1.8 ч, 300 м/с и 187° соответственно. Частота возникновения КМ ПИВ увеличивается с увеличением значения K_p [Tsugawa, et al., 2004, Ding, et al., 2008]. Средняя горизонтальная скорость, период, длина волны и направление распространения всех КМ ПИВ составляли 475 ± 171 м/с, 80 ± 29 мин, 2113 ± 863 км и $3-19^\circ$ на юго-восток соответственно [Tsugawa, et al., 2004]. В работе [Song, et al., 2012] средняя горизонтальная фазовая скорость КМ ПИВ составляла 422 ± 36 м/с в Северной Америке, 381 ± 69 м/с в Европе и 527 ± 21 м/с в Восточной Азии, соответственно.

В Азиатском долготном секторе (юг Восточной Сибири) проводились работы по анализу частоты и условий наблюдения среднеширотных сияний [Михалев, 2001; Афраймович и др., 2002; Михалев и др., 2004; Михалев и др., 2005], а также возмущений интенсивности атмосферных эмиссий с периодами 5–180 мин [Белецкий и др., 2010]. Анализ возмущений проводился на основе данных 4-х канального фотометра без системы сканирования по пространству, что не позволяло выделить распространяющиеся волновые возмущения и получить данные о направлении скорости распространения возмущений.

В работе приведен анализ вариаций интенсивности атмосферных эмиссий на основе данных, полученных в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН, Республика Бурятия, Тункинский район, с. Торы (52° N, 103° E). В ГФО ИСЗФ СО РАН установлено оборудование для регистрации пространственного и спектрального распределения интенсивности атмосферных эмиссий в спектральном диапазоне 400–800 нм (<http://atmos.iszf.irk.ru/>).

Для анализа использовались данные оптической системы Keo Sentinel предназначенной для регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии 630 нм (высота высвечивания 180–300 км). Направление визирования — зенит, поле зрения 145° , время экспозиции 30 с (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/keo>).

В работе рассматривались временные интервалы во время, за сутки до и сутки после высокой геомагнитной активности ($K_p \geq 6$) за период 2015–2016 гг. Для анализа выбирались данные, полученные в ясные, безлунные ночи. Общее количество ночей, выбранных для анализа — 19 (~170 ч). В вычислительной среде Octave были рассчитаны вариации интенсивности излучения эмиссии 630 нм в разных областях кадра. Далее был проведен расчет кросс-корреляционной функции между вариациями интенсивности в области зенита и в других частях кадра (рис. 1).

На рис. 2. представлены вариации интенсивности эмиссии 630 нм по данным Keo Sentinel 27 октября 2016 и кросс-корреляционная функция между вариациями интенсивности в области зенита и вариациями в остальных выбранных областях кадра (см. рис. 1). Полночь по местному времени приходилась на 16:00 UT.

По данным, представленным на рис. 2, можно сделать вывод, что возмущение сначала регистрируется на севере, затем, с задержкой 8 мин на востоке, далее с задержкой 11 мин на западе, и, в последнюю очередь, на юге с задержкой 18 мин.

Средние горизонтальные скорости перемещающихся возмущений, рассчитанные по лагам кросс-корреляционной функции, составили ~500 м/с, периоды около одного часа, направление распространения возмущений с севера на юг. Перемещающиеся возмущения с подобными характеристиками зарегистрированы также 07 октября 2015 г.

На рис. 3 приведены кадры, полученные с помощью Keo Sentinel 27.10.2016 в период 12:41–13:02 UT. Для выделения перемещающихся возмущений использован метод временного дифференцирования [Тащилин и др., 2010].

В работе рассматривались временные интервалы во время, за сутки до и сутки после высокой геомагнитной активности ($K_p \geq 6$). Было выявлено 2 случая наблюдения перемещающихся возмущений со скоростями ~500 м/с и направлением перемещения с севера на юг и периодом ~1 ч. Характеристики зарегистрированных возмущений хорошо согласуются со значениями, полученными в работах [Tsugawa, et al., 2004; Song, et al., 2012], при этом

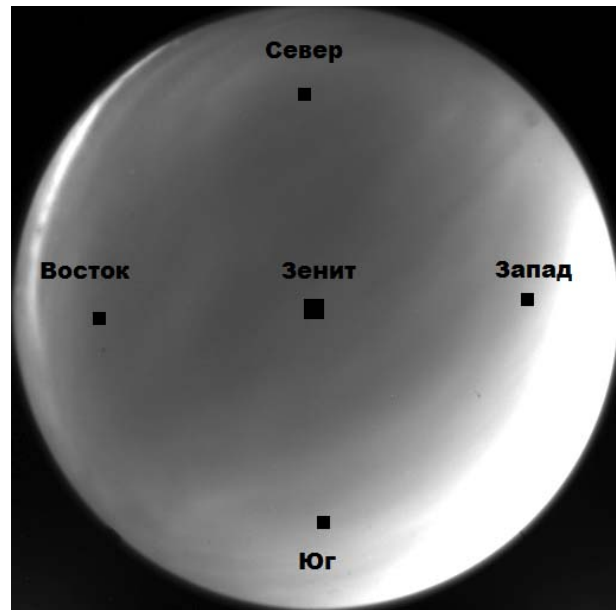


Рис. 1. Области кадра, выбранные для расчета интенсивности эмиссии 630 нм по данным оптической системы Keo Sentinel

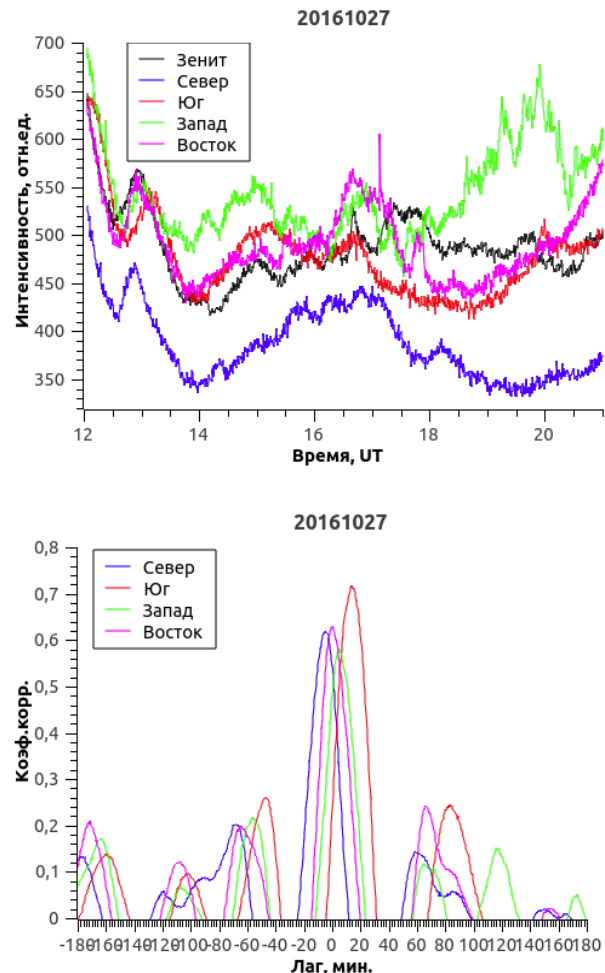


Рис. 2. а) Интенсивности излучения эмиссии 630 нм в разных областях кадра 27.10.2016 в ГФО ИСЗФ СО РАН. б) Кросс-корреляционные функции между вариациями интенсивности эмиссии 630 нм в области зенита и вариациями в других областях кадра (см. рис. 1)

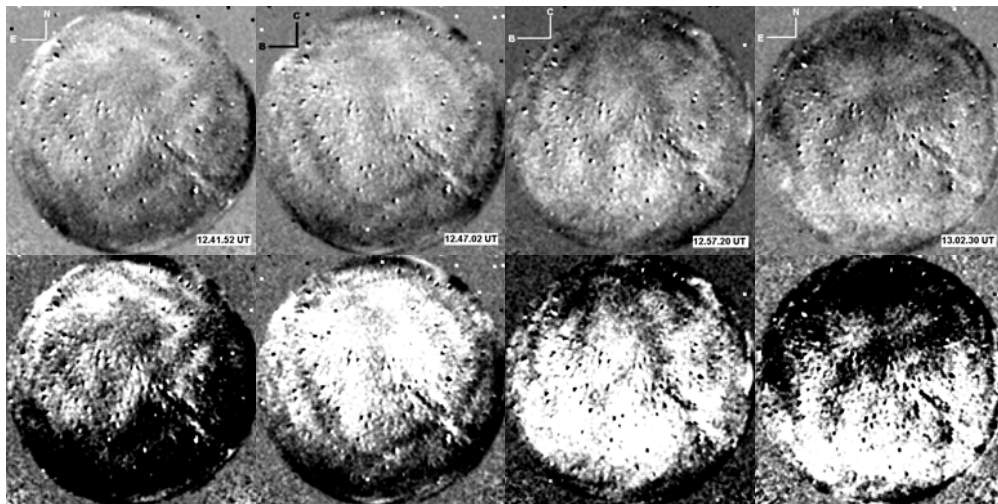


Рис. 3. Кадры, полученные 27.10.2016 г. 12:41 UT–13:02 UT с помощью камеры Keo Sentinel, на которых наблюдается крупномасштабное перемещающееся возмущение

частота наблюдения возмущений меньше, чем в работах [Tsugawa, et al., 2004; Ding, et al., 2008]. Малая частота наблюдений проявления ВГВ в вариациях атмосферной эмиссии 630 нм может быть связана с недостатками используемой методикой обработки, не позволяющей выделить возмущения с малыми амплитудами.

В дальнейшем будет продолжена работа по модернизации методики обработки. Также планируется провести анализ проявлений ВГВ в вариациях интенсивности эмиссии 630 нм с использованием большого объема накопленных данных (с января 2014 по август 2017).

Список литературы

Белецкий А.Б. Нерегулярные и короткопериодические вариации в излучении среднеширотной верхней атмосферы Земли: дисс. ... канд. физ.-мат. наук: Ин-т солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, 2010. 146 с.

Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Е.А. Шарков, И.В. Покровская. Исследование возможности проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы Земли // *Иссл. Земли из космоса*. 2010. № 4. С. 41–49.

Белецкий А. Б., Тащилин М.А., Михалев А.В. и др. Комплекс оптических инструментов на высокоширотной станции "Исток" ИСЗФ СО РАН // XXII Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 30 июня–3 июля 2016г.: материалы Томск, 2016. С. 162–167.

Власов А.А., Кауристе К., Погорельцев А.И. Изучение внутренних атмосферных гравитационных волн при помощи EISCAT Svalbard Radar // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2009. № 10. С. 117–123.

Михалев А.В. Некоторые особенности наблюдений среднеширотных сияний и возмущений эмиссий верхней атмосферы во время магнитных бурь в регионе Восточной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2001. Т. 14, № 10. С. 970–973.

Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Среднеширотные сияния на Юге Восточной Сибири во время больших геомагнитных бурь 29–31 октября и 20–21 ноября 2003 г. // *Косм. иссл.* 2004. Т. 4, № 6. С. 616–621.

Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Характеристики среднеширотных сияний во время больших геомагнитных бурь в текущем солнечном цикле // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18, № 1–2. С. 155–159.

Тащилин М.А., Белецкий А. Б., Михалев А.В., Ху Jiyao, Yuan Wei. Некоторые результаты наблюдений пространственных неоднородностей в эмиссии гидроксила // *Солнечно-земная физика*. 2010. Вып. 15. С. 131–134.

Шашуныкина В.М., Деминова Г.Ф., Гончарова Е.Е. Моделирование глобального эффекта ВГВ в ночной ионосфере // *Геомагнетизм и аэронавигация*. 1998. Т. 38, № 5. С. 56–71.

Яковец А.Ф., Водяников В.В., Андреев А.Б., Гордиенко Г. И., Литвинов Ю. Г. Особенности статистических распределений крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений над Алма-Атой // *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2011. Т. 51, № 5. С. 650–656.

Ding F., Wan W., Liu L., et al. A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances observed by GPS TEC during major magnetic storms over the years 2003–2005 // *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2008. V. 113, Iss. A3.

Song Q., Ding F., Wan W., Ning B., Liu L.. Global propagation features of large-scale traveling ionospheric disturbances during the magnetic storm of 7–10 November 2004 // *Annales Geophysicae*. 2012. V. 30. P. 683–694.

Tsugawa T., Saito A., Otsuka Y. A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances using the GPS network in Japan // *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2004. V. 109, iss. A6.