

10. ДИАГНОСТИКА ВОЗМУЩЕНИЙ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Леонович В.А., Михалев А.В., Леонович Л.А.,

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Аннотация. В работе исследуется отклик среднеширотного свечения верхней атмосферы на слабые и умеренные геомагнитные бури. Для анализа используются экспериментальные данные наблюдений свечения атмосферных эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм, полученные в регионе Восточной Сибири (52N, 103E) за период 1997-2009 гг. Было отмечено, что в некоторые периоды геомагнитных бурь наблюдались одновременные возмущения вариаций рассматриваемых эмиссий. Обсуждаются особенности наблюдаемых возмущений эмиссий, их связь с магнитосферно-ионосферными структурами и предполагаемые источники.

ВВЕДЕНИЕ

Вариации интенсивности эмиссий мезосферы – нижней термосферы дают важную информацию о процессах в верхней атмосфере средних широт во время геомагнитных возмущений. Считается, что эмиссии F – области ионосферы более чувствительны к геомагнитным возмущениям, эмиссия атомарного кислорода OI 630 нм является наиболее интенсивной из них [Фишкова, 1983, Шефов и др., 2006]. Мезосферная эмиссия атомарного кислорода OI 557.7 нм является одной из наиболее ярких дискретных линий в свечении среднеширотной атмосферы. Вопрос о проявлении геомагнитных возмущений в вариациях интенсивности этой эмиссии в средних широтах, имеет давнюю историю [Silverman, S. M at al., 1962, Трутце, 1973, Кузьмин, 1975], и остаётся до конца нерешённым [Mukherjee, 2006, Шефов и др., 2006]. Наиболее интересным является вопрос о механизмах возмущений среднеширотной эмиссии 557.7 нм во время геомагнитных бурь [Misawa at el., 1981, Mukherjee, 2006]. Вероятно, это связано с достаточно сильной межсуточной и внутрисуточной изменчивостью интенсивности эмиссии 557.7 нм (I_{557}), обусловленной термодинамическим режимом мезосферы и зависимостью от многочисленных источников разной природы [Шефов и др., 2006]. Целью настоящей

работы являлся совместный анализ вариации в эмиссиях атомарного кислорода 557.7 и 630 нм во время геомагнитных возмущений и геомагнитных бурь.

АППАРАТУРА И МЕТОКА ИЗМЕРЕНИЙ

В работе были использованы данные экспериментальных наблюдений эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм, полученные в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.), за период 1997–2009 гг. Оптические измерения проводились с помощью зенитного фотометра «Феникс», рабочие длины волн 557,7 и 630 нм и спектральные интервалы 360–410 и 720–810 нм. Эмиссионные линии 557,7 и 630 нм выделялись интерференционными качающимися светофильтрами ($\Delta\lambda_{1/2} \sim 1\text{--}2$ нм), спектральные диапазоны 360–410 и 720–830 нм – абсорбционными светофильтрами. Угловые поля зрения каналов фотометра составляли 4–5°. Абсолютная калибровка измерительных трактов аппаратуры осуществлялась в отдельные периоды по эталонным звездам и впоследствии контролировалась с помощью опорных световых источников.

В качестве индекса геомагнитной активности использовалось значение A_p индекса (<http://isgi.cetp.ipsl.fr/lesdonne.htm>).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Короткопериодические вариации интенсивности эмиссии 630 нм (I_{630}) во время достаточно сильных геомагнитных возмущений, резко нарушающих регулярный ночной ход, наблюдаются достаточно часто и относительно хорошо исследованы [см., например, Фишкова, 1983; Misawa et al., 1984; Шефов и др., 2006].

Возмущение вариации I_{630} в большинстве случаев связывают с распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ). Так, в отмеченной выше работе [Misawa et al., 1984], указывается о наблюдении на 2-х среднеширотных станциях аномального ночного хода интенсивности эмиссии 630 нм. Из 124 ночей в 53 наблюдался аномальный ночной ход интенсивности один-два максимума в 23-3 часа местного времени с амплитудой более 100 рл. В основном максимумы интенсивности эмиссии 630 нм появлялись в периоды магнитных бурь с запаздыванием по отношению к максимумам K_p и A_E на несколько часов. Авторы предположили, что

аномальные максимумы интенсивности на кривой ночного хода интенсивности эмиссии, также как и перемещающиеся ионосферные неоднородности в F-области, связаны с крупномасштабными внутренними гравитационными волнами, генерируемыми большими магнитосферными суббурями в полярной области. Было отмечено, что максимумы возмущения эмиссии 630 нм совпадают с минимумами на кривой ночного хода $h'F$.

В обзоре [Silverman, 1970] отмечено, что результаты исследований зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм и ее вариаций от геомагнитной активности в средних широтах имеют противоречивый характер. В одних работах была найдена положительная корреляция между интенсивностью эмиссии I_{5577} и геомагнитной активностью, в других работах была обнаружена отрицательная корреляция, есть работы в которых отмечено отсутствие корреляции между этими событиями, и, наконец, есть работы, согласно которым существует некоторый порог уровня геомагнитной активности, выше которого была выявлена положительная корреляция.

Аналогичная ситуация сохраняется и в более поздних работах. В частности, в работе [Кузьмин, 1975] при исследовании зависимости колебаний интенсивности эмиссии 557.7 нм от геомагнитной активности по материалам МГГ на двух среднеширотных станциях получено, что среднеквадратичные величины амплитуд колебаний зависят от геомагнитной активности и уменьшаются с ее ростом. В работе [Трутце, 1973] анализировались данные по вариациям свечения верхней атмосферы во время геомагнитных возмущений, полученные в периоды МГГ и МГСС. Получено, для отдельных среднеширотных станций средние ночные интенсивности эмиссии 557.7 нм имеют тенденцию к возрастанию с увеличением средней геомагнитной активности. При этом, для других станций такая тенденция отсутствует. Автор работы объяснял полученные результаты большой дисперсией интенсивности эмиссии 557.7 нм и возможными большими пространственными вариациями эмиссии 557.7 нм. И, наконец, существуют работы последних лет, в которых наблюдаются возмущения в эмиссии 557.7 нм во время геомагнитных бурь и обсуждаются возможные их механизмы [Miyoka Hiroshi et al., 1990; Афраймович и др., 2002; Михалев и др., 2004; Mukherjee, 2006]. Нами было проведено аналогичное исследование по данным наблюдений за свечением эмиссии 557.7 нм в регионе Восточной Сибири (52N, 103E) за период 1997-2009 гг.

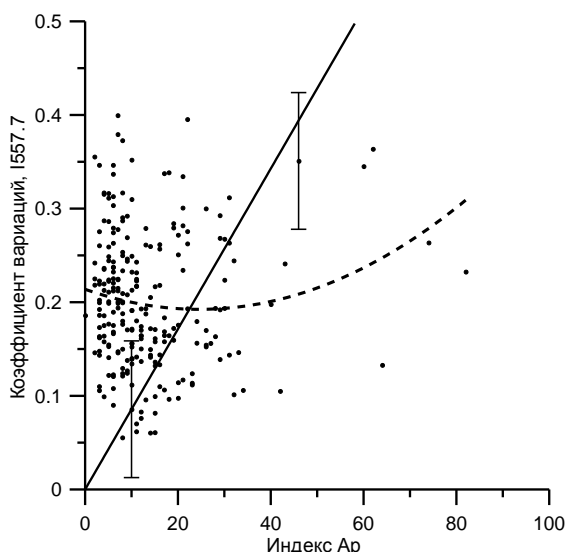


Рис.1. Зависимость коэффициента вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня геомагнитной активности (индекс A_p).

На рис. 1 приведена зависимость изменчивости интенсивности эмиссии 557.7 нм в течение ночи от уровня геомагнитной активности. В качестве изменчивости интенсивности эмиссии 557.7 нм используется коэффициент вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм, определяемый как отношение среднеквадратичного отклонения измерений интенсивности эмиссии 557.7 нм в течение ночи к средней за ночь интенсивности эмиссии 557.7 нм (среднее значение ~ 0.2 , стандартное отклонение ~ 0.073). В качестве индекса геомагнитной активности используется суточное значение A_p индекса. Точками обозначены экспериментальные данные и приведены две регрессионные кривые. Простая регрессионная зависимость $Y=a*X$ (непрерывная линия) и полином 2-й степени (пунктирная линия). Приведены значения стандартного отклонения для коэффициента вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм. Выбор линии регрессии типа $Y=a*X$, в отличие регрессионной линии $Y=a*X+b$, может быть обоснован тем, что сопоставляются не абсолютные величины, а их изменения или вариации. Для интенсивности эмиссии 557.7 нм - это коэффициент вариаций, а для геомагнитной активности A_p индекс, который определяется в единицах магнитного поля (наноТесла) и представляет среднее значение вариации магнитного поля. В этом случае, дифференцирование уравнения типа $Y=a*X+b$ и приводит к используемой регрессионной зависимости типа $\Delta Y = a*\Delta X$, где в качестве ΔY рассматривается коэффициент вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм, а в качестве ΔX – индекс A_p .

Анализ данных, приведенных на рис.1, позволяет отметить достаточно сильную дисперсию значений коэффициента вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм. Тем не

менее, линия регрессии типа $Y=a*X$ позволяет предположить существование зависимости вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня геомагнитной активности. Что касается, использование других регрессионных линий (моделей), включая используемый полином 2-й степени, и особенно, регрессионную зависимость типа $Y=a*X+b$, то они не позволяют сделать однозначного вывода о существовании зависимости вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня геомагнитной активности вследствие высокой дисперсии вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм. Тем не менее, представляет интерес сопоставление особенностей поведения регрессионной линии полинома 2-й степени с результатами работ предшествующих лет. В частности, в уже отмеченной выше работе [Кузьмин, 1975] получено, что среднеквадратичные величины амплитуд колебаний интенсивности эмиссии 557.7 нм зависят от геомагнитной активности и уменьшаются с ее ростом. Такую тенденцию можно увидеть на кривой полинома 2-й степени в диапазоне $A_p \sim 0-30$. В работе [Silverman et al., 1962] указывается об обратной корреляции между интенсивностью эмиссии 557.7 нм в диапазоне геомагнитных возмущений по индексу $K_p \sim 0-7$ и прямой корреляции при индексах $K_p \sim 8-9$. Полином 2-й степени, приведенный на рис.1, качественно указывает на возможность такой зависимости.

Вероятно, существование достаточно сильной дисперсии в вариациях интенсивности эмиссии 557.7 нм, обусловленной источниками другой природы, использование разных регрессионных моделей и различных выборок данных наблюдений, относящихся к различным широтно-долготным зонам и приводит к различным выводам о характере зависимости вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня геомагнитной активности.

Для проверки возможного существования зависимости вариаций интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня геомагнитной активности нами были рассмотрены конкретные геомагнитные бури с различными уровнями геомагнитных возмущений.

МАГНИТНАЯ БУРЯ 8 ИЮНЯ 2000 Г

Умеренная геомагнитная буря: $K_p(\max) = 7$, $Dst(\min) = -90$ нТ. На рис.2а приведены вариации эмиссий 630 и 557.7 нм во время геомагнитной бури на основе данных Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. На рис.2б те же самые вариации со снятым трендом. Для эмиссии 630 нм достаточно хорошо выделяются квазипериодические колебания с периодом ~ 1.5 часа. Колебания с аналогичным периодом можно выделить и в эмиссии 557.7 нм, если её аппроксимировать полиномом, рис.2б. Также следует отметить некоторый фазовый сдвиг, между

Зондирование земных покровов радаром с синтезированной апертурой

колебаниями красной и зелёной эмиссий. Зелёная эмиссия опережает красную, примерно на 20 минут.

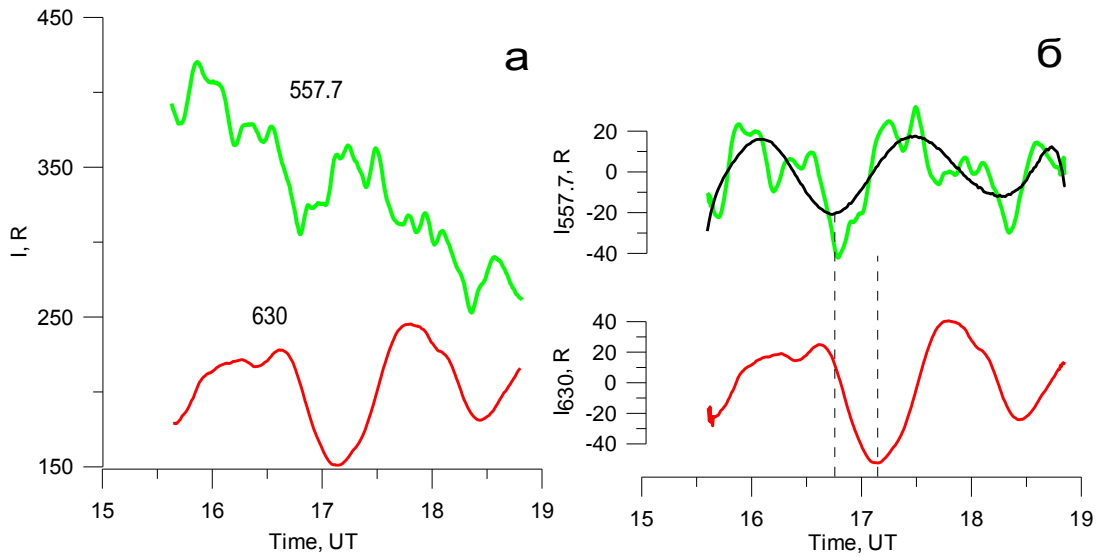


Рис.2. Вариации эмиссий 630 и 557.7 нм во время геомагнитной бури 8 июня 2000 г.

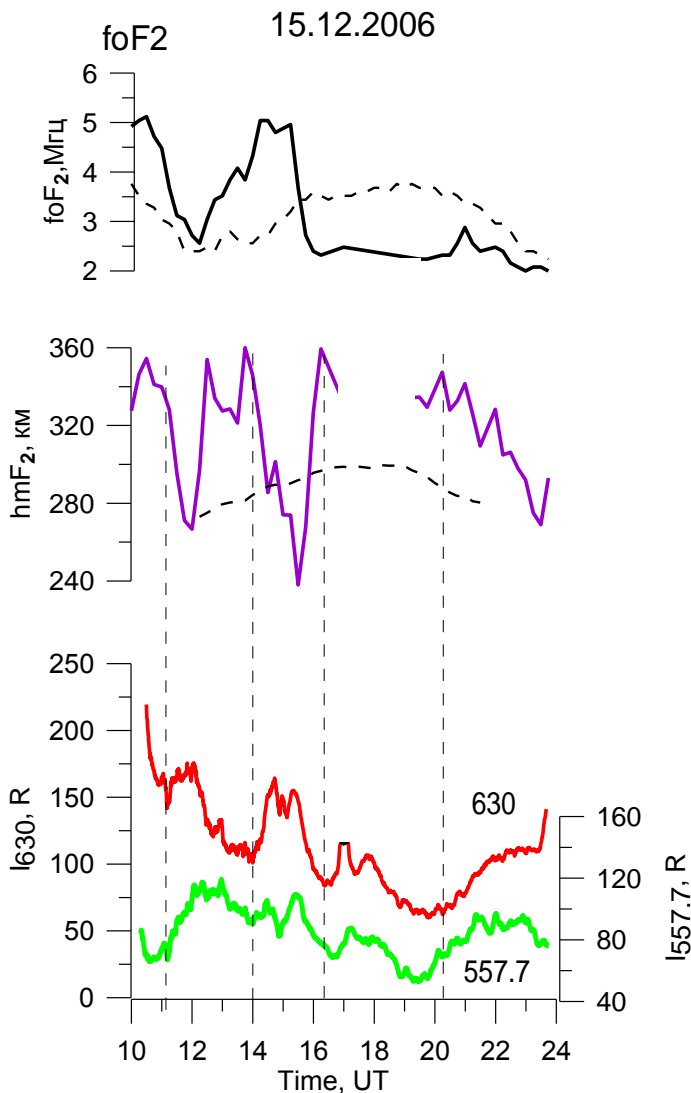


Рис.3. Вариации критической частоты foF_2 , высоты максимума слоя hmF_2 , а также эмиссий 630 и 557.7 нм во время геомагнитной бури 15 декабря 2006 г

МАГНИТНАЯ БУРЯ 14-16 ДЕКАБРЯ 2006 Г

Эта магнитная буря может быть отнесена к большой геомагнитной буре с максимальным значением $K_p = 8+$ и минимальным значением $D_{st} = -147$ нТ.

Во время этой бури, 15 декабря необычная перестройка вертикальной структуры ночной ионосферы наблюдалась на ионосферной станции Иркутск. На ионограммах в ночные часы наблюдалось значительное повышение критической частоты f_oF_2 , Рис 3а, а также сильные вариации высоты максимума слоя h_mF_2 , Рис 3б. Величина Δh составила около 100 км. Пунктирными линиями показаны средние характеристики для спокойного дня 09.12.2006.

Как следует из рисунка (Рис. 3,а) в 11:00 UT критическая частота f_oF_2 уменьшилась в соответствии с суточным ходом. При этом высота максимума слоя F_2 также уменьшилась (Рис. 3б), в течении полутора часов, с 10:25 до 12:00, она понизилась на 90 км. Именно в это время (на фазе падения высоты) одновременно наблюдается рост интенсивностей красной, 630 нм, и зелёной, 557,7 нм, эмиссий.

Следующий одновременный всплеск интенсивностей красной и зелёной эмиссий наблюдался примерно с 14 до 16 UT. Он также происходил на фазе падения высоты h_mF_2 , с 13:40 до 15:35 UT, она понизилась примерно на 130 км. Далее в 16:00 UT на ионограмме (Рис. 4а) были отмечены рассеянные (диффузные) отражения от спорадического образования в области E на высотах 140-180 км. Это образование соответствует авроральному E_s слою. Затем в 16:15 UT появился спорадический слой E_s на высоте 100 км, который полностью экранировал вышележащую ионосферу до 19:30 UT. Характер слоя E_s на протяжении этого времени менялся от узкого слоя до сильно рассеянного по высоте (Рис. 4б). Изменялась также его критическая частота f_oE_s от 4,7 до 10 МГц.

Далее, в 19:30 и 19:45 UT (Рис. 4в) наблюдался рассеянный по высоте слой E_s с запаздыванием на конце. С 20:00 до 20:45 UT наблюдался спорадический слой E_s , рассеянный в диапазоне высот 90-130 км, который периодически экранировал вышележащую ионосферу. В этот период времени, после 16:00 и после 20:00 UT наблюдались одновременные всплески интенсивностей красной и зелёной эмиссий. После 20:00 UT это явление происходило также на фазе уменьшения высоты h_mF_2 . Как вела себя высота h_mF_2 после 16:00 наверняка сказать нельзя из-за экранирования, хотя тенденция к уменьшению на рисунке просматривается.

Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

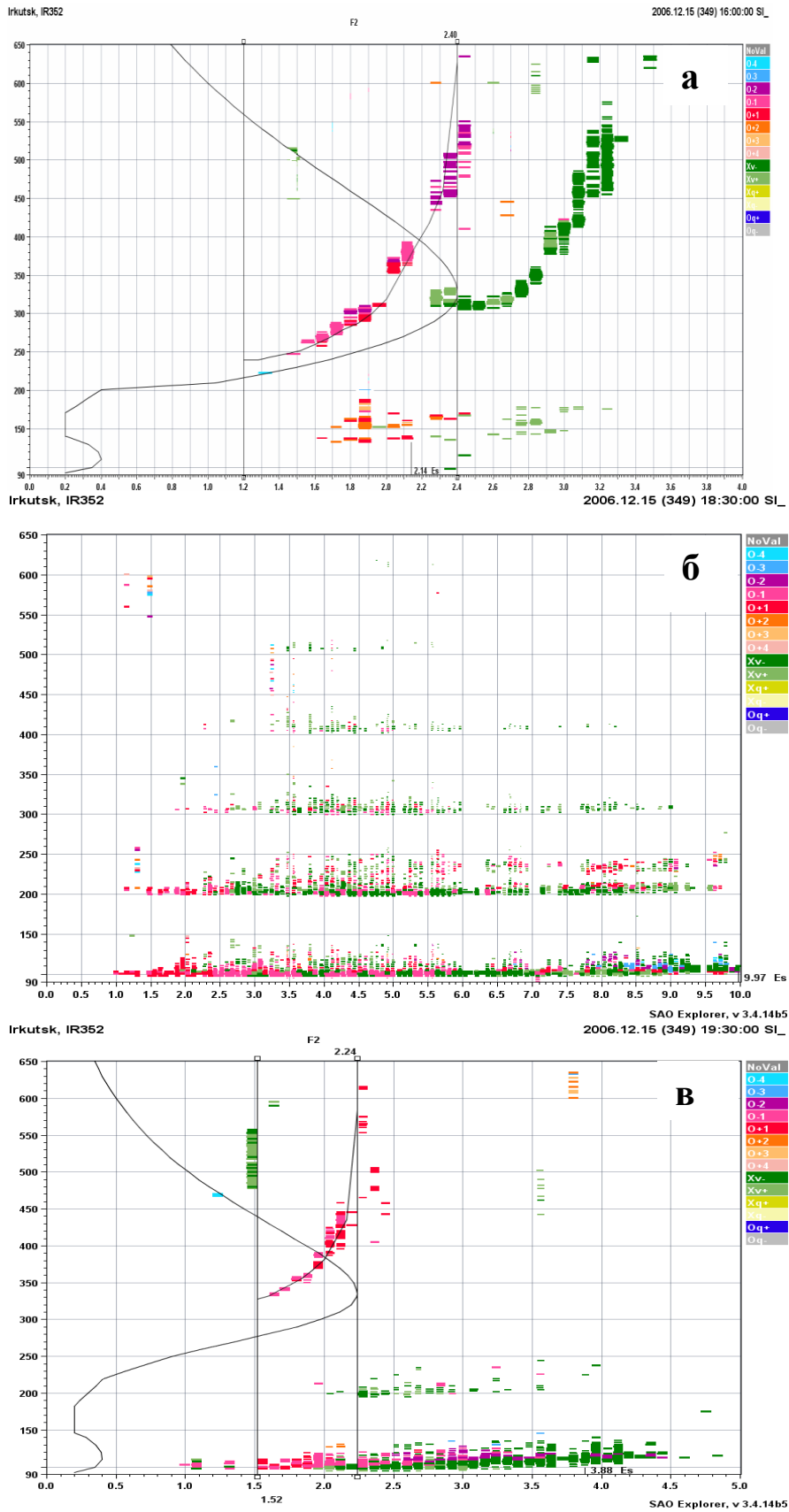


Рис.4. Ионограммы во время геомагнитной бури 15 декабря 2006 г.

МАГНИТНАЯ БУРЯ 15-20 ЯНВАРЯ 2007 Г

Магнитная буря 15-20 января имела максимальное значение $K_p^{\max} = 5$, что в соответствии с шкалой магнитных бурь, введенной NOAA (<http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales/>), соответствует магнитной буре класса G1. Во время этой магнитной бури 16 января 2007 г. отмечались синфазные вариации интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм. Одновременно с фотометрическими наблюдениями проводилась регистрация свечения атмосферы с помощью цветной CCD камеры в северном направлении, позволившая зарегистрировать в отдельные дни распространяющееся возмущение в свечении атмосферы с севера.

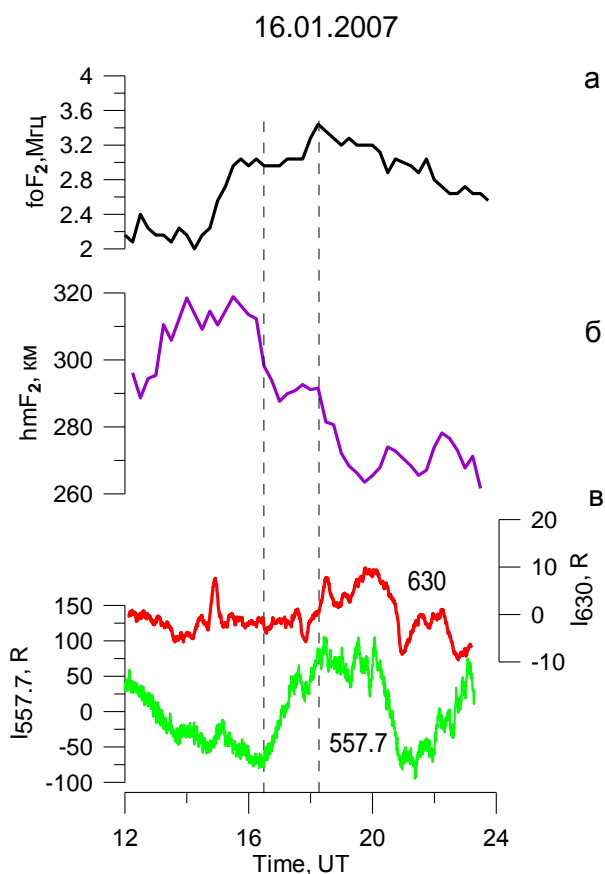


Рис.5. Вариации критической частоты foF_2 , высоты максимума слоя hmF_2 , а также эмиссий 630 и 557.7 нм во время геомагнитной бури, 16 января 2007 г.

Для 16 января 2007 г. приведены интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм, рис.5,в, вариации критической частоты f_oF_2 рис.5,а, и высоты максимума слоя h_mF_2 , рис.5,б. В рассматриваемый (ночной) период времени на ионограммах отмечались диффузные отражения от области F_2 , и небольшое поглощение в области D. Высота максимума слоя F_2 с 16:00 до 19:50 UT уменьшилась (Рис. 5б) примерно на 80 км. По

аналогии с предыдущим событием, на фазе падения высоты наблюдался синфазный рост интенсивности зелёной, и красной эмиссий.

Общей характерной особенностью поведения вариаций эмиссий 557.7 и 630 нм в период рассматриваемых магнитных бурь является увеличение их интенсивностей на фазе понижения высоты максимума ионосферного слоя h_0F_2 . Эта особенность для эмиссии 630 нм была отмечена достаточно давно [Barbier, 1959], и связывается с процессом возбуждения эмиссии 630 нм в результате диссоциативной рекомбинации, которая естественным образом приводит к заключению о связи параметров излучения с характеристиками ионосферной области F_2 – высотой ее максимума h_mF_2 и критической частотой f_oF_2 , определяющей электронную концентрацию. Полученное в [Barbier, 1959] приближенное количественное выражение связи I_{630} с параметрами ионосферы, используется до настоящего времени [Шефов и др., 2006]:

$$I_{630} = K(f_oF_2)^2 \cdot [O_2]_{200} \cdot \exp\left(-\frac{h'F_2 - 200}{H}\right), \quad (1)$$

где $[O_2]_{200}$ – концентрация молекулярного кислорода на высоте 200 км, H – высота однородной атмосферы в излучающей области.

Между тем, в средних широтах процесс диссоциативной рекомбинации при возбуждении эмиссии 557.7 нм во время геомагнитных возмущениях также может иметь место и может быть использован для интерпретации вариаций эмиссии 557.7 нм, что было отмечено в отдельных работах ([Mukherjee, 2006]). Это связано с тем, что небольшая часть от общей интенсивности эмиссии 557.7 нм, которая, в основном, формируется на высотах E – области в результате столкновений нейтральных компонентов атмосферы, возбуждается в области F в результате процесса диссоциативной рекомбинации с участием заряженной компоненты.

Коррелированные вариации интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм в средних широтах во время геомагнитных возмущений отмечались и ранее. Так, в работе [Misawa et al., 1981] проводился совместный анализ вариаций интенсивностей эмиссии 557.7 и 630 нм в средних широтах. Из 290 ночей наблюдений в большинстве случаев (~ 75%) интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм менялись независимо в соответствии с их механизмами возбуждения в слое E и F соответственно, в 25% случаев наблюдалось синхронное затухание интенсивности обеих эмиссий в течение 2-3 часов после захода

Солнца. И лишь в течение 4 ночей наблюдались совпадающие по фазе и амплитуде колебания интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм, которые длились 6-8 часов и имели периоды от ~ 70 до 330 минут. Эти ночи попали на периоды повышенной геомагнитной активности. Сравнение с ионосферными данными показало, что аналогичные колебания имели место для высоты E_s ($h' E_s$) и F ($h' F$), причем максимумам интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм соответствовали минимумы $h' E_s$ и $h' F$. Авторы предположили, что наблюдаемые вариации являются результатом одновременного подъема и опускания слоев E_s и F.

При этом, основная сложность в интерпретации наблюдаемых вариаций эмиссий 557.7 и 630 нм заключается в их количественных соотношениях. В настоящее время считается, что в спокойных геомагнитных условиях интенсивность эмиссии 557.7 нм в слое F_2 составляет около 10-30% от интенсивности эмиссии 630 нм (см., например, [Gulledge et al., 1968; Шефов и др., 2006]). Это обусловлено различными коэффициентами выхода возбужденных метастабильных состояний 1D и 1S в реакции диссоциативной рекомбинации. В анализируемых в настоящей работе геомагнитных бурях отношение вариаций интенсивностей в эмиссиях 557.7 и 630 нм ($\Delta I_{557.7}/\Delta I_{630}$) может достигать величины ~ 1 и более.

Возникающее противоречие может быть снято, если учесть времена жизни возбужденных метастабильных атомов OI в состояниях 1D (эмиссия 630 нм, радиационное время жизни ~ 110 сек) и 1S (эмиссия 557.7 нм, радиационное время жизни ~ 1 сек) на различных высотах F_2 слоя. Согласно [Шефов и др., 2006] на высотах 180, 270 и 350 км, которым соответствуют относительные интенсивности эмиссии 630 нм 0.1, 1 и 0.1, значения времен жизни за счет газокинетических столкновений имеют значения ~ 7 , 80 и 123 сек, соответственно. В этом случае, реализация реакции диссоциативной рекомбинации на высотах, где частота газокинетических столкновений становится больше или существенно больше обратной величине радиационного времени жизни соответствующего уровня, может приводить к гашению заселенности этого уровня за счет столкновений и снижению интенсивности. Для эмиссии 630 нм это реализуется на высотах нижней части F_2 слоя ~ 180 -250 км, для эмиссии 557.7 нм на существенно меньших высотах.

Оценим изменение ($\Delta I_{557.7}/\Delta I_{630}$) при изменении высоты в реакции диссоциативной рекомбинации при ряде допущений. Диссоциативная рекомбинация с образованием OI в состояниях 1D и 1S осуществляется только с участием ионов O_2^+

Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

(пренебрегаем участием ионов NO^+). Тогда интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм (соответственно I_S и I_D) в первом приближении могут быть записаны:

$$I_{S/D} = \beta_{S/D} * K_{1S/D} * [\text{O}_2^+] * [e] * \{1/(1+K_{2S/D}/A_{S/D})\}, \quad (2)$$

где $\beta_{S/D}$ - число фотонов (с длиной волны 557.7 или 630 нм), испускаемых в одном акте реакции, $K_{1S/D}$ – коэффициент скорости диссоциативной реакции, $[\text{O}_2^+]$ и $[e]$ соответственно концентрации ионов O_2^+ и электронов, $K_{2S/D}$ – коэффициенты дезактивации состояний 1S и 1D за счет столкновений с нейтралами, $A_{S/D}$ – вероятности радиационных переходов с уровней 1S и 1D . Тогда ($I_{557.7}/I_{630}$) может быть записано:

$$I_{557.7}/I_{630} = (\beta_S/\beta_D) * (K_{1S}/K_{1D}) * \{ [1/(1+K_{2S}/A_S)] / [1/(1+K_{2D}/A_D)] \} \quad (3)$$

Коэффициенты дезактивации K_{2S} и K_{2D} могут быть заменены соответствующими частотами газокинетических столкновений ν_S и ν_D и для оценки положено, что $\nu_S \approx \nu_D \approx \nu$.

Допустим также, что величина $(\beta_S/\beta_D) * (K_{1S}/K_{1D})$ в выражении (3) не претерпевает существенных изменений в рассматриваемом диапазоне высот ~ 180 -350 км. Тогда отношение $I_{557.7}/I_{630}$ может существенным образом зависеть от отношения

$$R = \{ [1/(1+\nu/A_S)] / [1/(1+\nu/A_D)] \} = (1+\nu/A_D) / (1+\nu/A_S)$$

Для высот 180, 270 и 350 км отношение R принимает значения ~ 50 , ~ 9 и ~ 3 , соответственно. Для оценки значения A_S и A_D брались 0.009 и 1 с^{-1} , соответственно, значения газокинетических сечений ν на соответствующих высотах из работы [Шефов и др., 2006].

Таким образом, оценка $I_{557.7}/I_{630}$ (или $\Delta I_{557.7}/\Delta I_{630}$) при изменении высоты в реакции диссоциативной рекомбинации показывает возможность увеличения вклада эмиссии 557.7 нм по сравнению с эмиссией 630 нм по мере уменьшения высоты. И если в спокойных геомагнитных условиях интегрированные по высоте F2 слоя отношение $I_{557.7}/I_{630}$

($\Delta I_{557.7}/\Delta I_{630}$) имеет величину 0.1-0.3 (максимум высоты $I_{630} \sim 270$ км), то в случае появления возмущений в нижней части F2 слоя, отношение $\Delta I_{557.7}/\Delta I_{630}$ может увеличиться в несколько раз, достигая наблюдаемых значений ~ 1 и более.

ВЫВОДЫ

1. В средних широтах возможные вариации I_{5577} , обусловленные слабыми и умеренными геомагнитными возмущениями, не превышают естественные вариации I_{5577} от других источников.

2. В средних широтах при геомагнитных бурях выделяются интервалы времени, в пределах которых отмечаются коррелированные с ионосферными параметрами вариации интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм. Амплитуды этих вариаций могут достигать величин десятки-сотни рэлей.

3. Отмеченные временные интервалы соответствуют вертикальным движениям высоты максимума ионосферного слоя h_mF_2 .

4. Механизмом, обеспечивающим наблюдаемые вариации интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм в средних широтах в периоды геомагнитных бурь, может являться процесс диссоциативной рекомбинации с учетом высотного распределения возмущений ионосферных и атмосферных параметров.

5. Источником вертикального движения высоты максимума ионосферного слоя h_mF_2 и возмущений ионосферных и атмосферных параметров могут являться внутренние гравитационные волны, возникающие при геомагнитных бурях.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 09-05-00243-а , №08-05-92208-ГФЕН и программы Президиума РАН № 16 (часть 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Афраймович Э.Л., Я.Ф.Яшкалиев, В.М.Аушев, А.Б.Белецкий, В.В.Водяников, Л.А.Леонович, Л.А.Леонович, О.С.Лесюта, А.В.Михалев, А.Ф. Яковец. Одновременные радиофизические и оптические измерения ионосферного отклика во время большой магнитной бури 6 апреля 2000 г. «Геомагнетизм и аэрономия». 2002. Т.42, N3, 383-393.
2. Кузьмин К.И. Колебания интенсивности эмиссий 5577 и 5893 А и геомагнитная активность. В сб. «Полярные сияния и свечения ночного неба», №23. М., «Наука», 1975, 28-32.
3. 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. // Космические исследования. –2004. Т. 42. № 6 , 616-621.
4. Трутце Ю.Л. Верхняя атмосфера во время геомагнитных возмущений. В сб. «Полярные сияния и свечения ночного неба», №20. М., «Наука», 1973, 5-22.

5. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. М.: ГЕОС, 2006. 741 с.
6. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 270 с.
7. Barbier D. Recherches sur la raie 6300 de la ulluminescence atmospherique nocturne.- Ann.Geophys., 1959, v.15,№2, p. 179-217.
8. Gullledge J.S., Packer D.M., Tiford S.G., Vanderslice J.T. Intensity profiles of the 6300 A and 5577 A OI lines in the night airglow. – J.Geophys.Res., 1968, v.73, №17, p.5535-5547.
9. Miyoka Hiroshi, Hirasava Takeo, Yumoto Kiyhumi, Tanaka Yoshito Low latitude aurora on Octobre 21, 1989. I. // Proc. Jap. Acad. B. 1990. V. 66. N 3. P. 47-51.
10. Misawa K., Takenchi I., Kato Y., Aoyma I. Intensity covariations of the oxygen green and red lines in the nightglow. «Ann.geophys.», 1981, V.37, №4, 549-555.
11. Misawa K., Nakeuchi I., Kato Y., Aoyma I. Apparent progression of intensity variations of the oxygen red line. «J. Atmos. And Terr. Phys.», 1984, №1, 39-46.
12. Mukherjee G. K. Airglow and other F-layer variations in the Indian sector during the geomagnetic storm of February 5–7, 2000. *Earth Planets Space*, **58**, 623–632, 2006
13. Silverman, S. M.; Ward, Fred; Shapiro, Ralph. The Correlation between the 5577 A Night Airglow Intensity and Geomagnetic Activity. *Journal of Geophysical Research*, 1962, vol. 67, issue 6, pp. 2255-2264
14. Silverman S. M. Night airglow phenomenology. *Space Science Reviews* 11 (1970) 341-379.SILVERMAN S. M. SILVERMAN S. M. SILVERMAN