

А.В. Михалев

Некоторые особенности наблюдений среднеширотных сияний и возмущений эмиссий верхней атмосферы во время магнитных бурь в регионе Восточной Сибири

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 8.08.2001 г.

На основе экспериментальных наблюдений собственного свечения верхней атмосферы в Восточной Сибири (52° с.ш., 104° в.д.) анализируются особенности среднеширотных сияний и возмущений эмиссий верхней атмосферы во время магнитных бурь в периоды высокой солнечной активности в 1989–1993 и 1997–2000 гг.

Высказывается мнение, что район Восточной Сибири относится к благоприятным регионам для мониторинга и исследования среднеширотных сияний при геомагнитных возмущениях.

Введение

Во время геомагнитных бурь в среднеширотной атмосфере наблюдаются возмущения в собственном излучении верхней атмосферы Земли. Особо мощные геомагнитные возмущения проявляются в виде средне- и низкоширотных сияний (СНС).

Для отдельных форм полярных сияний (ПС) отмечается зависимость вероятности регистрации ПС от времени суток, мирового времени UT и месторасположения станции наблюдения (см., например, [1, 2]). Экспериментальное подтверждение существования аналогичных зависимостей для СНС можно найти лишь в отдельных работах.

Так, в работе [3] отмечается, что в период сильных магнитных возмущений в околополуденные часы наблюдаются резкие повышения эмиссии интенсивности атомарного кислорода [OI] на длине волны 630 нм до 350 рэлей (Рл), предположительно связываемые автором со смещением овала полярных сияний к экватору. В работе [4] указывается на появление максимумов в ночном ходе эмиссии [OI] 630 нм амплитудой до 100 Рл в 23–03 LT, преимущественно в периоды геомагнитных бурь.

Особый интерес представляют возмущения эмиссии 630 нм, наблюдаемые при больших магнитных бурях, связанные с существенным увеличением интенсивности эмиссии 630 нм, которые нарушают ночной ход этой эмиссии, и с появлением дополнительных эмиссий в излучении ночной среднеширотной атмосферы, нехарактерных для спокойных геомагнитных условий, иррегулярных вариаций в наблюдаемых эмиссиях.

В настоящей статье представлены результаты предварительного анализа наблюдаемых среднеширотных сияний и возмущений эмиссий верхней атмосферы во время больших геомагнитных бурь в периоды высокой солнечной активности (1989–1993 и 1997–2000 гг.) в геофизической обсерватории (52° с.ш., 104° в.д.) Института солнечно-земной физики СО РАН.

Аппаратура и методика наблюдений

В 1989–1993 гг. измерения собственного оптического излучения верхней атмосферы проводились с выделением

излучения атомарного кислорода [OI] 557,7 и 630 нм с помощью зенитных фотометров с интерференционными качающимися светофильтрами ($\Delta\lambda_{1/2} \sim 1\text{--}2$ нм). В 1997–1999 гг., кроме измерений излучения в линиях 557,7 и 630 нм, регистрировалось излучение в ближней инфракрасной (720–830 нм) и ультрафиолетовой (360–410 нм) областях спектра. Спектральные диапазоны 360–410 и 720–830 нм выделялись абсорбционными светофильтрами. Угловые поля зрения каналов фотометра составляли $4\text{--}5^\circ$. Абсолютная калибровка измерительных трактов аппаратуры осуществлялась в отдельные периоды по эталонным звездам и впоследствии контролировалась с помощью опорных световых источников. Программное обеспечение фотометра позволяло записывать данные фотометрических каналов с усреднением ~ 12 с, при появлении импульсных сигналов, превышающих заданный порог, запись велась с временным разрешением ~ 8 мс.

Результаты наблюдений и обсуждение

За указанный период было зарегистрировано оптическое проявление трех больших геомагнитных бурь: 24–25 марта 1991 г. (максимальные индексы геомагнитной активности K_p и D_{st} соответственно 9_- и -298 нТл), 2–5 февраля 1992 г. (8_- и -170 нТл) и 6–7 апреля 2001 г. (9_- и -321 нТл).

На рис. 1 приведено поведение эмиссии 630 нм в течение трех ночей для указанных геомагнитных бурь. Приведенные на рис. 1 ночные хода эмиссии 630 нм во время рассматриваемых магнитных бурь обладают сходными характерными особенностями. Существенный рост эмиссии 630 нм начинается во вторую половину ночи и в предрассветные часы. Имеет место выраженный кратковременный максимум на кривых ночных ходов эмиссии в предрассветные часы.

Во многих работах в качестве геомагнитного индекса, наиболее тесно коррелирующего с интенсивностью эмиссии 630 нм при геомагнитных возмущениях, указывают D_{st} -индекс в сочетании с другими индексами солнечной и геомагнитной активности [5–7].

Нами был проведен анализ средних суточных распределений часовых значений D_{st} -индекса аналогично анализу,

выполненному в [8] и полученному для всех дней периода 1957–1997 гг. Отличие заключалось в том, что нами были выбраны только возмущенные дни со значениями D_{st} -индекса соответственно ≤ -50 , -100 , -200 и -300 нТл. Анализ проводился за период с января 1957 по апрель 2000 г. За этот период (15826 дней) количество дней, для которых хотя бы одно часовое значение D_{st} -индекса в течение суток оказалось меньше -50 , -100 , -200 и -300 нТл, составило соответственно 2620, 468, 72 и 20 дней.

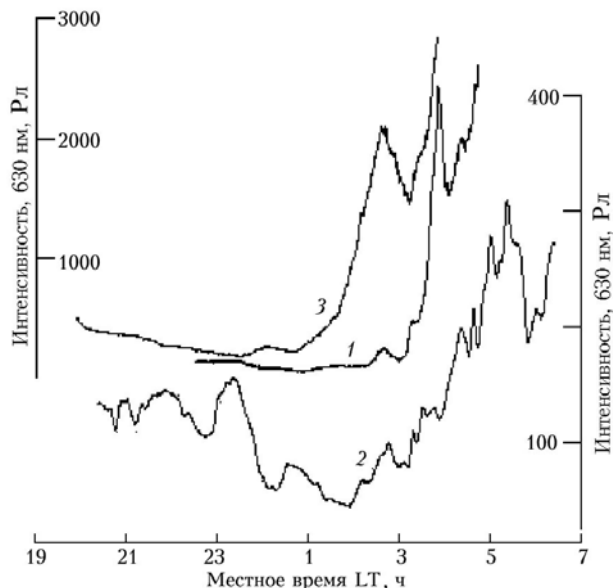


Рис. 1. Ночной ход эмиссии атомарного кислорода [OI] 630 нм в период больших магнитных бурь 24–25 марта 1991 г. (кривая 1, левая шкала интенсивностей), 3–4 февраля 1992 г. (кривая 2, правая шкала интенсивностей) и 6–7 апреля 2000 г. (кривая 3, левая шкала интенсивностей)

На рис. 2 приведены полученные усреднением часовых значений суточные распределения D_{st} -индекса для геомагнитно-возмущенных дней с D_{st} -индексом ≤ -50 и -200 нТл за период с января 1957 по апрель 2000 г. Суточные распределения с D_{st} -индексом ≤ -100 и -300 нТл имеют качественно подобный вид. В [8] в суточных распределениях D_{st} -индекса в периоды равенств отменяются два минимума, приходящиеся на 0–6 и 18–24 UT. Аналогичные минимумы можно отметить и на рис. 2. Одну из основных причин появления долготных и UT зависимостей авроральных явлений указывают несовпадение геомагнитных и географических полюсов и соответственно изменение положения геомагнитного поля Земли по отношению к межпланетному магнитному полю в течение суток.

Из рис. 2 следует, что интервалы времени в рассматриваемой долготной зоне, доступные для ночных оптических наблюдений в зимний и осенне-весенний периоды, совпадают с интервалами минимальных значений D_{st} -индекса (максимальные уровни геомагнитных возмущений) на средних суточных зависимостях D_{st} -индекса в координатах мирового времени UT. Минимальные и экстремальные значения D_{st} -индекса приходятся соответственно на вторую половину ночи и предзвездные часы по местному времени LT.

Для рассматриваемых магнитных бурь существенный рост интенсивности эмиссии 630 нм и ее максимальные значения соответствуют одному из минимумов в среднем

суточном распределении D_{st} -индекса и приходятся на время 18–23 UT. Этот факт может быть интерпретирован в рамках обсуждаемых механизмов возмущения эмиссии 630 нм во время геомагнитных бурь. Увеличение концентрации возбужденных атомов кислорода O(1D) в средних широтах во время геомагнитных бурь связывают с нагревом F -области ионосферы, с увеличением электронной температуры и сверхтепловых потоков из плазмосферы [6, 9], где происходит энергообмен между тепловой плазмой и усиливающимся кольцевым током, который, в свою очередь, определяет значение D_{st} -индекса.

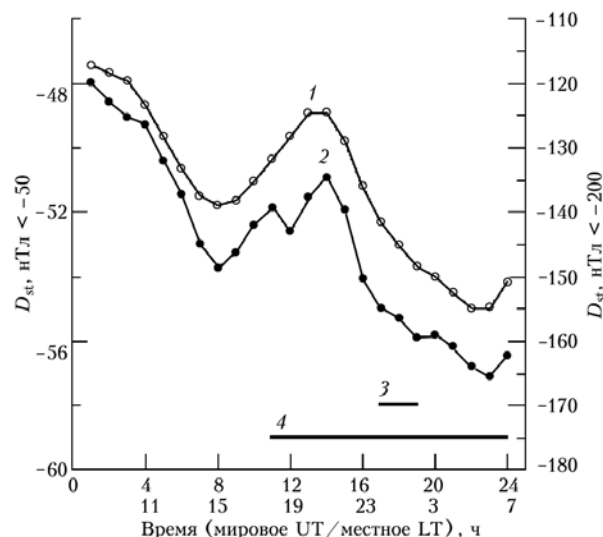


Рис. 2. Суточный ход D_{st} -индекса вариаций геомагнитного поля. Кривые 1 и 2 соответственно для геомагнитно возмущенных дней меньше -50 и -200 нТл. Прямые 3 и 4 – интервалы темного времени суток для геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН для летнего и зимнего солнцестояний

В ряде других работ [10, 11] возмущения среднеширотных эмиссий связывают с высыпаящими ионами кольцевого тока, образующегося во время главной фазы бури на геомагнитных оболочках $L \sim 2\div 6$. Предполагается, что в его состав входят, главным образом, ионы H^+ , O^+ , He^+ с энергиями в десятки килоэлектронвольт, которые теряются в процессах перезарядки с атомами верхней атмосферы, при этом образуются нейтралы H, O, He с такой же энергией, которые не управляются магнитным полем и, высыпаясь в термосферу, приводят к образованию возбужденных частиц и их последующему излучению.

Таким образом, результаты экспериментальных оптических наблюдений поведения эмиссии 630 нм в период трех рассматриваемых магнитных бурь, полученный средний суточный ход D_{st} -индекса для геомагнитно-возмущенных условий за 1957–2000 гг. и отмеченные выше обсуждаемые механизмы возбуждения эмиссии 630 нм при геомагнитных бурях позволяют предположить статистически большие вероятности наблюдений фаз усиления эмиссии 630 нм в период геомагнитных бурь для обсерватории ИСЗФ СО РАН и региона Восточной Сибири во вторую половину ночи и предзвездные часы.

Существование явно выраженной UT зависимости D_{st} -индекса геомагнитного поля и обсуждаемая связь интенсивности эмиссии 630 нм от величины кольцевого тока (D_{st}) должны приводить к появлению зависимости вероятности регистрации СНС от долготы, обусловленной раз-

личными значениями ночных периодов UT для различных долготных зон. Ночной период времени в координатах UT в регионе Восточной Сибири приходится на интервал минимальных значений D_{st} -индексов (максимальные геомагнитные возмущения) в суточном распределении D_{st} -индексов для возмущенных дней. Это позволяет высказать мнение, что регион Восточной Сибири может быть отнесен к благоприятным регионам для мониторинга и исследования среднеширотных сияний при геомагнитных возмущениях. Эту особенность вероятности регистрации СНС от долготы, по-видимому, следует учитывать также при оценке вероятности визуальных наблюдений СНС в прошлые века.

Относительно появления локального максимума в предрассветные часы в эмиссии 630 нм, наблюдаемого в описываемых магнитных бурях, можно отметить следующее. Насколько регулярно может отмечаться эта особенность и чем она обусловлена, выяснить по результатам настоящих наблюдений не представляется возможным прежде всего из-за небольшой статистики оптических наблюдательных данных по большим магнитным бурям. В настоящее время можно лишь предположить, что появление локального максимума эмиссии 630 нм может быть обусловлено как общим усилением эмиссии 630 нм, так и пространственным движением локализованного в пространстве возмущения относительно зенитного направления [12].

Здесь представляется уместным упомянуть о сходном по временной динамике эффекте предрассветного усиления эмиссии 630 нм в средних широтах, наблюдаемого в зимние месяцы и связанного, как предполагают [13], с сопряженной ионосферой и магнитосферой. Эмиссия 630 нм в период предрассветного усиления сначала быстро растет, увеличиваясь не менее чем в 2 раза по сравнению с ее значением в середине ночи. Затем рост эмиссии приостанавливается, и часто наблюдается минимум при уменьшении интенсивности на ~25–30% [14], примерно до наступления местных астрономических сумерек, а далее начинается второй быстрый рост, связанный с местными сумерками.

Следует также отметить результаты работы [15] по пространственной динамике субавроральных стабильных дуг (SAR-дуг) в субавроральной ионосфере в рассматриваемом долготном регионе, когда наблюдаемые при умеренной магнитной активности SAR-дуги смещаются в экваториальном направлении при дальнейшем увеличении магнитной активности.

Представляет интерес поведение других эмиссионных линий и полос во время рассматриваемых магнитных бурь. На рис. 3 приведено поведение излучения верхней атмосферы во время большой магнитной бури 6 апреля 2000 г. по данным зенитного фотометра. Как уже отмечалось, основной характерной особенностью поведения эмиссий верхней атмосферы во время больших магнитных бурь является значительное усиление свечения эмиссии 630 нм (рис. 3,а, кривая 1). В поведении эмиссии 557,7 нм (рис. 3,а, кривая 2) можно отметить небольшое возмущение около 0 LT, совпадающее с аналогичным возмущением эмиссии 630 нм, и резкое усиление интенсивности ($\geq 35\%$), совпадающее с первой фазой максимального роста интенсивности эмиссии 630 нм. В излучении спектрального диапазона 360–410 нм (рис. 3,б, кривая 5) начиная с 0 LT отмечается нехарактерный для спокойных геомагнитных условий монотонный рост интенсивности с наложением нерегулярных короткопериодических возмущений. Излучение в спектральном диапазоне 720–830 нм (рис. 3,б, кривая 4) в интервале времени с 21 до 23 LT до начала геомаг-

нитных возмущений (~23 LT) испытывало монотонное снижение интенсивности, прекратившееся после 23 LT. Для сравнения показано поведение эмиссии 630 нм (рис. 3,а, кривая 3) и излучения в спектральном диапазоне 360–410 нм (рис. 3,б, кривая 6) в предшествующую геомагнитно спокойную ночь 5–6 апреля 2000 г.

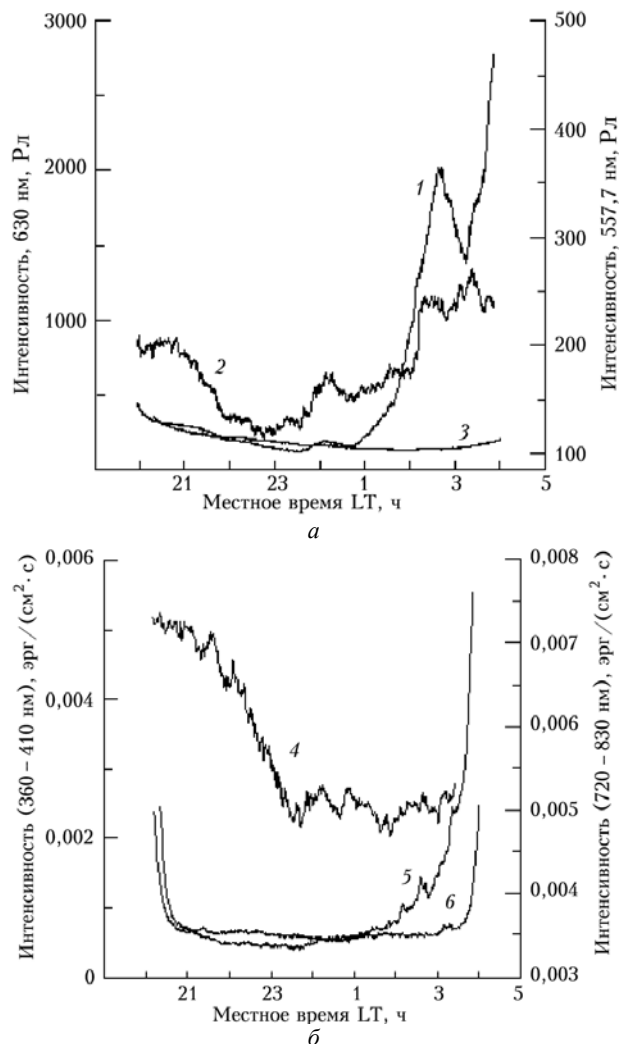


Рис. 3. Поведение эмиссии в течение ночей 5–6 апреля 2000 г.

В работе [16] предложена классификация средне- и низкоширотных сияний в зависимости от вида возбуждающих частиц и их энергий, основных эмиссий, мест локализации и др. Для СНС с преобладанием эмиссии [OI] 630 нм в качестве области локализации указывается плазмапауза, проекция которой в ночной F -области соответствует границе главного ионосферного провала. Таким образом, на измеряемые нами параметры свечения атмосферы оказывают влияние месторасположение и динамика главного ионосферного провала, плазмапаузы, зоны высыпающих частиц (аврорального овала). Граница плазмапаузы, по оценке разных авторов [17, 18], в наиболее возмущенные периоды может достигать предельных значений $L \sim 1,7 \div 2,5$ (для широты г. Иркутска $L \sim 2$). По данным спутников NOAA, граница аврорального овала во второй половине ночи 6–7 апреля 2000 г. (по уровню $0,1 \text{ эрг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$) достигала географической широты $\sim 56\text{--}58^\circ$ в рассматриваемом долготном секторе.

Таким образом, есть основания полагать, что во время больших магнитных бурь на широте г. Иркутска могут наблюдаться элементы субавроральной ионосферы. В пользу этого обстоятельства говорят спектральные особенности данных оптических наблюдений в диапазоне 360–410 и 557,7 нм. Увеличение сигнала в спектральном диапазоне 360–410 нм после 0 LT 6 апреля 2000 г. может быть интерпретировано как появление эмиссий N_2^+ с длиной волны 391,4 нм, обычно наблюдаемых в полярных сияниях в результате электронных высыпаний и ионизации молекулярного азота. Возмущение эмиссии 557,7 нм также можно связать с высыпанием частиц. Аналогичные возмущения эмиссии 557,7 нм отмечались и во время бури 24 марта 1991 г. и совпадали по времени с развитием спорадического слоя E_s аврорального типа r .

Анализ регистрируемых возмущений эмиссий верхней атмосферы на широте г. Иркутска во время больших магнитных бурь позволяет сделать вывод, что эти возмущения могут быть обусловлены как изменением термодинамических характеристик атмосферы (нагрев верхней атмосферы и обусловленное этим усиление эмиссии 630 нм), так и высыпанием частиц (возмущения эмиссии 557,7 нм и эмиссии N_2^+).

Заключение и выводы

Анализ данных оптических наблюдений больших магнитных бурь в регионе Восточной Сибири позволил установить существование больших вероятностей наблюдений фаз усиления эмиссии 630 нм в период магнитных бурь во вторую половину ночи. Для таких событий отмечается кратковременный максимум на кривых ночных ходов эмиссии 630 нм в предрассветные часы. Спектральные особенности возмущений наблюдаемых эмиссий, анализ геофизических данных указывают на проявление элементов субавроральной ионосферы на широтах г. Иркутска в период больших магнитных бурь.

Работа выполнена при поддержке РФФИ – грант ведущих научных школ Российской Федерации № 00-15-98509.

1. *Омхольт А.* Полярные сияния. М.: Мир, 1974. 248 с.
2. *Meek J.H., Shepherd G.G.* Universal time variation of ISIS 6300 Å auroral observations during the quiet period Dec. 9–13, 1975 // *J. Geomagn. and Geoelec.* 1983. V. 35. № 4. P. 87–102.

A.V. Mikhalev. Some observational features of mid-latitude auroras and emission perturbations in the upper atmosphere during magnetic storms over region of East Siberia.

Using experimental observations of the airglow in the upper atmosphere over East Siberia (52°N, 104°E), an analysis is made of the properties of mid-latitude auroras and emission perturbations in the upper atmosphere at the time of magnetic storms during high solar activity periods of 1989–1993 and 1997–2000.

It is suggested that the region of East Siberia refers to favourable areas for monitoring and investigation of mid-latitude auroras during geomagnetic disturbances.

3. *Torr Marsha R.* Night-time enhancements in 6300 Å line at Sanae and the relation to the movement of auroral oval // *Ann. Geophys.* 1971. V. 27. № 2. P. 201–204.
4. *Misawa K., Takeuchi I., Kato Y., Aoyama I.* Apparent progression of intensity variations of oxygen red line // *J. Atmos. and Terr. Phys.* 1984. V. 46. № 1. P. 39–46.
5. *Трунце Ю.Л.* Верхняя атмосфера во время геомагнитных возмущений // Полярные сияния и свечение ночного неба. М.: Наука, 1973. № 20. С. 5–22.
6. *Gogoshev M.M.* Using airglow emissions for the diagnostics of some magnetospheric-ionospheric influences. 1. The oxygen emission 6300 Å // *Space Res. Bulg.* 1978. № 1. P. 83–94.
7. *Rassoul H.K., Rohrbaugh R.P., Tinsley B.A.* Low-latitude particle precipitation and associated local magnetic disturbance // *J. Geophys. Res. A.* 1992. V. 97. № 4. P. 4041–4052.
8. *Cliver E.W., Kamide Y., Ling A.G.* Mountains versus valleys: Semiannual variation of geomagnetic activity // *J. Geophys. Res. A.* 2000. V. 105. № 2. P. 2413–2424.
9. *Акасофу С.* Динамика полярных сияний // В мире науки. 1989. № 7. С. 34–42.
10. *Ishimoto M., Torr M.R., Richards P.G., Torr D.G.* The role of energetic O^+ precipitation in a mid-latitude aurora // *J. Geophys. Res. A.* 1986. V. 91. № 5. P. 5793–5802.
11. *Фишкова Л.М., Мацваладзе Н.М.* О поведении эмиссии H I 656,3 нм [OI] 630,0 нм верхней атмосферы во время магнитных бурь с внезапным началом // *Геомагнетизм и аэрон.* 1985. Т. 25. № 3. С. 509–511.
12. *Afraimovich E.L., Ashkaliev Ya.F., Aushev V.M., Beletsky A.B., Leonovich L.A., Lesyuta O.S., Mikhalev A.V., Vodyannikov V.V., Yakovets A.F.* Radio and optical observations of large-scale traveling ionospheric disturbances during a strong geomagnetic storm of 6–8 April 2000. LANL e-print archive. <http://www.lanl.gov/abs/physics/0104070>. 2001.
13. *Barbier D.* Recherches sur la raie 6300 de la luminescence atmosphérique nocturne // *Ann. Geophys.* 1959. V. 15. № 2. P. 179–217.
14. *Фишкова Л.М.* Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 271 с.
15. *Алексеев В.Н., Иевенко И.Б.* Широтная динамика SAR-дуг и ее связь с геомагнитной активностью // *Геомагн. и аэрон.* 1991. Т. 31. № 5. С. 938–940.
16. *Rassoul H.K., Rohrbaugh R.P., Tinsley B.A., Slater D.W.* Spectrometric and photometric observations of low-latitude aurorae // *J. Geophys. Res. A.* 1993. V. 98. № 5. P. 7695–7709.
17. *Хорошева О.В.* Магнитосферные возмущения и связанная с ними динамика ионосферных электроструй, полярных сияний и плазмопаузы // *Геомагнетизм и аэрон.* 1987. Т. 27. № 5. С. 804–811.
18. *Гальперин Ю.И., Сивцева Л.Д., Филиппов В.М., Халинов В.Л.* Субавроральная верхняя ионосфера. Новосибирск, 1990. 192 с.