

**И.В. Медведева, А.Б. Белецкий, А.В. Михалев,
М.А. Черниговская, Н.А. Абушенко, С.А. Тащилин**

Поведение атмосферной эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм в периоды стратосферных потеплений в регионе Восточной Сибири

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 18.08.2006 г.

На основе экспериментальных данных, полученных в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.) в 1997–2005 гг., исследуется влияние стратосферных потеплений на поведение эмиссии верхней атмосферы 557,7 нм. В исследуемый период обнаружены несколько случаев аномального поведения интенсивности эмиссии 557,7 нм в отсутствие сильных геомагнитных возмущений. Установлено, что эти усиления интенсивности атмосферной эмиссии 557,7 нм, относящейся к высотам мезосферы – нижней термосферы, обусловлены сильными стратосферными потеплениями, когда возмущениями охватывается большой диапазон высот атмосферы. Подчеркивается, что для Азиатского региона и, в частности, для региона Восточной Сибири характерна большая концентрация очагов стратосферных потеплений, что может приводить к возникновению региональных особенностей в характеристиках свечения атмосферы.

Введение

Наблюдение собственного свечения верхней атмосферы является эффективным методом исследования ее физических и физико-химических свойств. Вариации интенсивностей оптических эмиссий являются чувствительным индикатором возмущений в средней и верхней атмосфере.

Зеленая линия атомарного кислорода [OI] с длиной волны излучения 557,7 нм является самой яркой дискретной эмиссией в видимой области спектра в ночном свечении среднеширотной верхней атмосферы; высота высвечивания этой эмиссии 85–115 км. В этой области атмосферы могут проявляться как внешнее влияние солнечной активности, так и эффекты динамики и возмущений различной природы со стороны нижележащих слоев атмосферы.

К настоящему времени для эмиссии 557,7 нм выделено достаточно большое количество источников ее вариаций, среди которых можно отметить: сильные геомагнитные возмущения, стратосферные потепления, сейсмическую активность, акустико-гравитационные волны, возмущения в периоды весенней и осенней перестройки циркуляции атмосферы [1] и др. Наиболее существенные вариации эмиссии 557,7 нм отмечаются в результате сильных геомагнитных возмущений [2] и стратосферных потеплений [3, 4].

По экспериментальным данным, полученным в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН в 1997–2005 гг., в отдельные годы в зимние месяцы отмечались вариации интенсивности эмиссии 557,7 нм, существенно превышающие по амплитуде характерные вариации для средних широт.

Основная цель данной статьи заключалась в выяснении источников сильных возмущений в поведении эмиссии атомарного кислорода при $\lambda = 557,7$ нм, наблюдавшихся в зимние периоды в регионе Восточной Сибири в спокойных геомагнитных условиях.

Данные наблюдений

В настоящей статье для анализа использованы: – экспериментальные данные наблюдения эмиссии атомарного кислорода для $\lambda = 557,7$ нм, полученные в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.) в 1997–2005 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;

– спутниковые данные вертикальных профилей температуры, полученные прибором TOVS/AVHRR, установленным на борту спутника NOAA. Анализировалась температура на изобарических поверхностях 70 и 10 гПа (соответственно высоты ~18 и 30 км) для периода с ноября 1998 по январь 2001 г. Данные прибора TOVS приняты и обработаны на станции приема Центра космического мониторинга ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск;

– данные Берлинского метеорологического университета (<http://strat-www.met.fu-berlin.de>) по стратосферным потеплениям на уровне 10 гПа.

Результаты и обсуждение

В Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН с 1997 г. ведутся регулярные наблюдения собственного

свечения атмосферы в ночное время суток. Наблюдения проводятся, как правило, в ясные безлунные ночи. Общее число ночей наблюдения за указанный период составило 645. За период наблюдения было зарегистрировано несколько случаев аномального поведения интенсивности эмиссии 557,7 нм в отсутствие сильных геомагнитных возмущений, когда наблюдался резкий рост интенсивности эмиссии 557,7 нм на 100–300%.

На рис. 1 приведен ряд усредненных за ночь интенсивностей эмиссии 557,7 нм за весь период наблюдения. Хорошо просматриваются характерные для сезонного хода эмиссии осенние максимумы, амплитуда которых, по данным [5, 6], должна быть максимальной для всех среднеширотных станций. Однако наряду с этими максимумами, обусловленными характерным сезонным ходом, можно отметить и повышенные значения интенсивности в зимние месяцы, сравнимые по величине или превышающие осенние максимумы.

Для выяснения источников этих возмущений был проведен совместный анализ имеющихся экспериментальных данных интенсивности эмиссии 557,7 нм и данных Берлинского метеорологического университета (<http://strat-www.met.fu-berlin.de>) по стратосферным потеплениям на уровне 10 гПа. Также для анализа привлекались локальные данные стратосферной температуры, полученные в период с ноября 1998 по январь 2001 г. с помощью прибора TOVS/AVHRR на станции спутникового приема ИСЗФ СО РАН в месте проведения оптических измерений. Совместный анализ показал, что случаи аномального повышения интенсивности эмиссии 557,7 нм в зимние месяцы совпадали по времени с сильными стратосферными потеплениями над Восточной Сибирью.

Влияние стратосферных потеплений на вариации собственного свечения атмосферы исследовалось в ряде работ [3, 4]. Авторы отмечали, в частности, увеличение интенсивности эмиссии 557,7 нм на 50–100% во время стратосферных потеплений и объясняли этот эффект активизацией вертикальной циркуляции атмосферы, достигающей в ряде случаев

высот мезосферы и нижней термосферы (область высвечивания атмосферной эмиссии 557,7 нм).

В анализируемом периоде можно выделить несколько наиболее значительных проявлений стратосферных потеплений в поведении эмиссии 557,7 нм.

1) Интенсивное локальное потепление в конце января – феврале 1998 г., когда локализация потепления находилась практически в месте регистрации эмиссии (53° с.ш., 108° в.д.) и температура достигала 248 К. Максимальная температура 267 К была зарегистрирована в начале февраля в очаге с координатами 74° с.ш., 92° в.д. Усредненная за ночь интенсивность эмиссии 557,7 нм увеличилась более чем на 100% при росте температуры на ~17 К. Максимальное значение интенсивности эмиссии 1500 Рл зарегистрировано 1 февраля. Временная задержка относительно роста температуры составила около 4 сут. Это событие было описано ранее в работах [7, 8].

2) Потепление в январе 2000 г. над Сибирью, Монголией и Маньчжурией, которое продлилось до начала февраля. Максимальная температура 260 К зафиксирована 4 февраля в очаге с координатами 73° с.ш., 120° в.д. С 17 января наблюдалось резкое возрастание интенсивности эмиссии 557,7 нм, продолвшееся до 22 января. А 20 января зарегистрированы аномально высокие значения интенсивности эмиссии 557,7 нм, максимальное за ночь значение достигло 2013 Рл.

На рис. 2 приведены вариации усредненных за ночь значений интенсивности эмиссии 557,7 нм и атмосферной температуры на поверхностях 10 и 70 гПа для стратосферного потепления в январе 2000 г. Хорошо виден резкий рост интенсивности эмиссии после 17 января. Усредненная за ночь интенсивность выросла на ~500 Рл, тогда как температура на уровне 10 гПа выросла на ~15 К.

3) Потепление в начале декабря 2000 г. над Азией в верхней стратосфере. Множественные очаги тепла, локализованные вблизи места наблюдения, максимальная температура 267 К зафиксирована в очаге с координатами 65° с.ш., 93° в.д. Интенсивность эмиссии 557,7 нм возросла за 4 дня в 2,5 раза, максимальное зарегистрированное значение ~650 Рл.

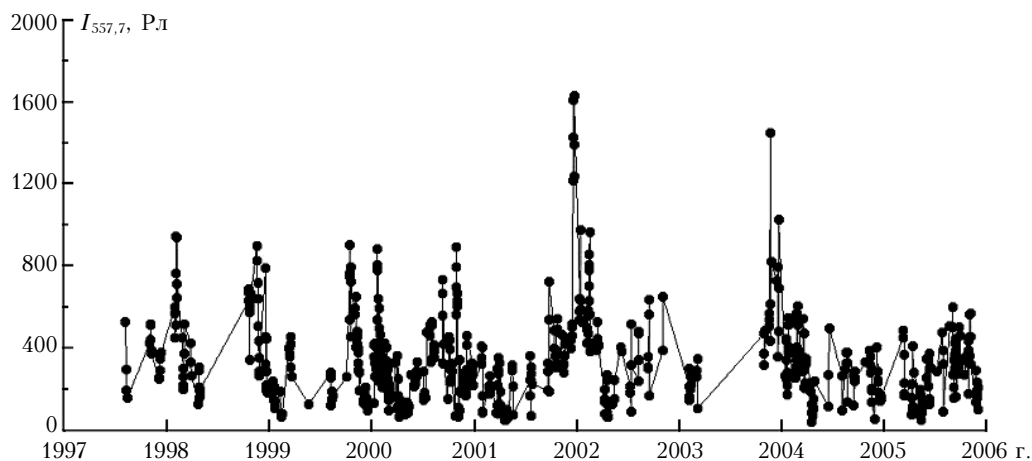


Рис. 1. Усредненные за ночь значения интенсивности эмиссии 557,7 нм

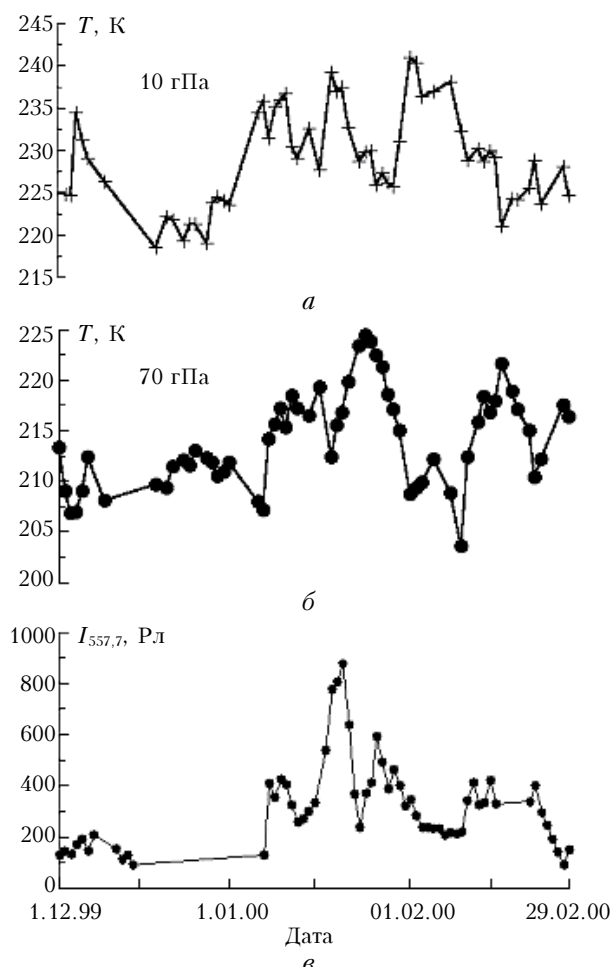


Рис. 2. Температуры на изобарических поверхностях 10 (а) и 70 гПа (б) по данным прибора TOVS/AVHRR в месте проведения оптических наблюдений и усредненная за ночь интенсивность эмиссии 557,7 нм (в) в период с декабря 1999 по февраль 2000 г.

4) Потепление в середине декабря 2001 г. — январе 2002 г. над Сибирью, когда на уровне 10 гПа температура выросла более чем на 30 К. До начала января 2002 г. наблюдалось стратосферное потепление типа «мажор», после чего некоторое время сохранялись возмущения в температурном распределении. Вместе с тем во второй половине января над Сибирью вновь возникла область повышенной температуры. С 17 декабря наблюдалось очень резкое возрастание интенсивности эмиссии 557,7 нм — среднее за ночь значение интенсивности выросло в течение 2 сут с 506 до 1600 Рл, максимальная за ночь интенсивность — с 921 Рл до экстремального значения 2235 Рл (22 декабря).

Следует отметить, что данное экстремальное значение интенсивности, как и значение $I_{557.7} = 2013$ Рл для января 2000 г., являются максимальными за весь период наблюдений для спокойных геомагнитных условий. Сопоставимое по величине значение интенсивности эмиссии 557,7 нм было зарегистрировано только во время сильной геомагнитной бури 20 ноября 2003 г. (см. рис. 1) [2]. В литературе не найдено упоминаний о регистрации таких больших зна-

чений интенсивности эмиссии 557,7 нм во время стратосферных потеплений. Аномально большие значения интенсивности для декабря 2001 г. регистрировались до конца интервала наблюдения — 22 декабря. В январе — феврале 2002 г. также отмечались большие значения интенсивности эмиссии (средняя за ночь интенсивность достигала ~1 кРл, максимальная — более 1600 Рл) (рис. 3).

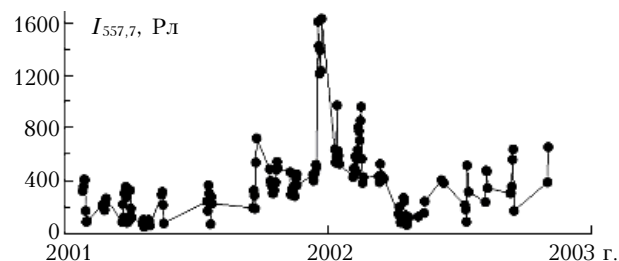


Рис. 3. Вариации усредненных за ночь значений интенсивности эмиссии 557,7 нм в 2001 и 2002 гг.

Для этого события отсутствовали локальные температурные данные. Однако поскольку сильные стратосферные потепления охватывают обширные пространственные регионы в зимний период, для оценки вариаций температуры во время этого потепления использовались данные из работы [9] по локальным температурам для координат 63° с.ш., 129,7° в.д. По этим данным, потепление началось после 11 декабря 2001 г., температура на уровне 10 гПа достигла максимального значения ~257 К 18 декабря. Анализируя температуры стратосферы и нижней термосферы в период с декабря 2001 по февраль 2002 г., авторы [9] пришли к выводу, что потепление началось на высотах максимума интенсивности излучения кислородной линии 557,7 нм и далее распространилось в нижележащие области.

Аналогичные события, связанные с значительным ростом интенсивности эмиссии 557,7 нм, сопровождающим стратосферные потепления, отмечались также в декабре 1998 и феврале 1999 г.

Таким образом, проведенный анализ аномального повышения интенсивности эмиссии 557,7 нм в зимние месяцы 1998, 2000 и 2001–2002 гг. показал, что эти события можно объяснить проявлением стратосферных потеплений в регионе проведения оптических измерений.

Стратосферные потепления могут вызывать возмущения атмосферных параметров (термобарическое поле, плотность, химический состав) на высотах их локализации. Возмущения, происходящие во время сильных зимних стратосферных потеплений, не ограничиваются стратосферой, а охватывают большой высотный диапазон, простирающийся от тропосферных высот вплоть до высот верхней мезосферы [10] и нижней термосферы [4] (область высвечивания атмосферной эмиссии 557,7 нм). Во время стратосферных потеплений наблюдаются сильные вариации динамического режима в средней атмосфере [11]. Характерной особенностью стратосферных потеплений является резкое уменьшение преобладающих западных зимних зональных ветров и даже смена их на восточные в области стратосферы и мезосферы.

Известно [12], что стабильная система зональных ветров надежно экранирует верхнюю атмосферу от нижней, но в периоды обращения зональных ветров возможно просачивание энергии. Именно такая ситуация возникает в периоды сильных стратосферных потеплений, когда усиливаются генерация и распространение вверх волновых возмущений различного масштаба.

Стратосферные потепления наблюдаются почти каждую зиму. Для них характерна географическая неравномерность распределения. Для Азиатского региона и, в частности, для региона Восточной Сибири характерна большая концентрация очагов стратосферных потеплений. На рис. 4 показано распределение ежедневных данных областей локализации очагов стратосферных потеплений и температур в этих очагах для периода 1997–2002 гг. Хорошо видно, что их концентрация в Азиатском регионе и, в частности, в месте локализации Геофизической обсерватории ИЗСФ СО РАН велика.

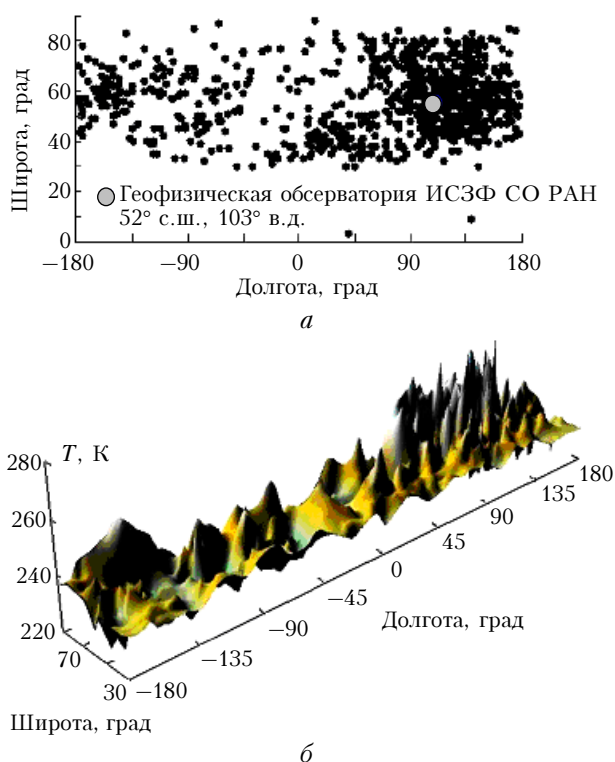


Рис. 4. Распределение локализации очагов стратосферных потеплений (а) и температур в очагах потеплений (б) за период 1997–2002 гг.

Данные, представленные в настоящей статье, подтверждают высказанное ранее [13] предположение о роли стратосферных потеплений в формировании региональных особенностей характеристик зеленой эмиссии атомарного кислорода. Эмиссия 557,7 нм является интегральной характеристикой высотных распределений температуры и атмосферных составляющих (O , O_2), участвующих в процессах возбуждения этой эмиссии на высоте ее высвечивания. В силу этого можно ожидать существование региональных особенностей атмосферных параметров на этих вы-

сотах, связанных с высокой концентрацией очагов стратосферных потеплений. Поэтому влияние стратосферных потеплений на физико-химические и динамические параметры атмосферы и ионосферы в зимний период для этого региона может быть весьма существенным и его нельзя не учитывать.

Заключение

По экспериментальным данным, полученным в Геофизической обсерватории ИЗСФ СО РАН в 1997–2005 гг., выделено несколько случаев аномальных повышений интенсивности эмиссии 557,7 нм, вызванных стратосферными потеплениями. Вариации интенсивности эмиссии 557,7 нм, обусловленные стратосферными потеплениями, оказываются сравнимы по величине с вариациями, обусловленными сезонным ходом этой эмиссии, а в отдельных случаях существенно их превышают.

Значения интенсивностей эмиссии 557,7 нм, зарегистрированные в периоды стратосферных потеплений в январе 2000 г. (2013 Рл) и декабре 2001 г. (2235 Рл), могут быть отнесены к экстремально регистрируемым возмущениям интенсивности этой эмиссии в средних широтах.

Географическая неравномерность стратосферных потеплений и их высокая концентрация в Азиатском регионе и, в частности, над Восточной Сибирью могут формировать региональные (а возможно, и широтно-долготные) особенности вариаций эмиссии 557,7 нм.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 16 (часть 3).

1. Семенов А.И., Шефов Н.Н. Эмпирическая модель вариаций эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм в ночное время суток. I. Интенсивность // Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 2. С. 81–90.
2. 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. исслед. 2004. Т. 42. № 6. С. 616–621.
3. Фишкова Л.М. О колебаниях интенсивности ночного излучения верхней атмосферы в периоды стратосферных потеплений // Геомагнетизм и аэрон. 1978. Т. 18. № 3. С. 549–550.
4. Fukuyama K. Airglow variations and dynamics in the lower thermosphere and upper mesosphere – III. Variations during stratospheric warming events // J. Atmos. and Terr. Phys. 1977. V. 39. N 3. P. 317–331.
5. Fukuyama K. Airglow variations and dynamics in the lower upper thermosphere and upper mesosphere – II. Seasonal and long-term variations // J. Atmos. and Terr. Phys. 1977. V. 39. N 1. P. 1–14.
6. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 270 с.
7. Белецкий А.Б., Медведева И.В., Михалев А.В. Об аномальном поведении излучения верхней атмосферы в линии 557,7 нм [OI] зимой 1997–1998 гг. // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. 1998. Вып. 109. Ч. I. С. 114–117.
8. Mikhalev A. V., Medvedeva I. V., Beletsky A. B., Kazimirovsky E. S. An investigation of the upper atmospheric

- optical radiation in the line of atomic oxygen 557,7 nm in East Siberia // *J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys.* 2001. V. 63. N 9. P. 865–868.
9. *Игнатъев В.М., Николашкин С.В.* Температурные возмущения субавроральной нижней термосферы во время зимнего стратосферного потепления // *Геомагнетизм и аэрон.* 2006. Т. 46. № 2. С. 225–228.
10. *Labitzke K.* Temperature changes in the mesosphere and stratosphere connected with circulation changes in winter // *J. Atmos. Sci.* 1972. V. 29. N 4. P. 756–766.
11. *Kokourov V.D., Vergasova G.V., Kazimirovsky E.S., Petrukhin V.F.* Wind in the lower thermosphere and stratospheric warmings // *Proc. SPIE.* 2003. V. 5027. P. 364–371.
12. *Казимировский Э.С., Кокоруов В.Д.* Движения в поносфере. Новосибирск: Наука, 1979. 344 с.
13. *Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Kazimirovsky E.S., Potapov A.S.* Seasonal variation of upper-atmospheric emission in the atomic oxygen 555 nm line over East Siberia // *Adv. Space Res.* 2003. V. 32. N 9. P. 1787–1792.

I.V. Medvedeva, A.B. Beletskii, A.V. Mikhalev, M.A. Chernigovskaya, N.A. Abushenko, S.A. Tashilin.
Behavior of atom oxygen emission in atmosphere at 557.7 nm wavelength during the stratosphere warming over East Siberia.

The influence of stratosphere warming on the atom oxygen emission at a wavelength of 557.7 nm (airglow) was investigated based on data obtained at the ISTP SB RAS Geophysical observatory (52°N, 103°E) in 1997–2005. In this period, several cases of the 557.7 nm emission intensity abnormal behavior in the absence of strong geomagnetic disturbances were observed. It is found that these cases are connected with strong atmosphere warming, when disturbances cover a large range of heights. It is underlined that for the Asian region, in particular, for East Siberia a high concentration of warming centers in the stratosphere is characteristic, which can result in occurring regional features in airglow characteristics.