

# Исследование сезонных вариаций эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм на высотах мезопаузы и нижней термосферы по данным наблюдений в Восточно-Сибирском регионе

И.В. Медведева

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, (ИСЗФ СО РАН),  
Иркутск 664033, ул. Лермонтова 126 а, а/я 291  
E-mail: ivmed@iszf.irk.ru.*

В работе представлены результаты исследования сезонных вариаций интенсивности атмосферной эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм (высота излучения 85-115 км) для средних широт Азиатского региона. В основу исследования положены экспериментальные данные наблюдений собственного ночного свечения верхней атмосферы в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52°N, 103°E, Восточная Сибирь). Получены сезонные вариации эмиссии 557.7 нм при разных уровнях солнечной активности.

Показано, что наблюдаемые региональные особенности сезонного хода интенсивности эмиссии 557.7 нм в рассматриваемом районе, связанные со значительным повышением значений интенсивности в зимние месяцы, могут быть обусловлены влиянием географической неравномерности частоты появления стратосферных потеплений в Восточно-Сибирском регионе.

**Ключевые слова:** эмиссии верхней атмосферы, сезонные вариации.

## Введение

Область атмосферы на высотах 80-120 км, мезопауза и нижняя термосфера (МНТ), как и вся верхняя атмосфера в целом, представляет собой сложную неоднородную среду. Одним из важнейших, химически активных газовых компонентов, на высотах МНТ является атомарный кислород. Зеленая эмиссия атомарного кислорода [OI] 557.7 нм, соответствующая запрещенному переходу ( $^1S - ^1D$ ), является самой яркой дискретной эмиссией в видимой области спектра в ночном свечении среднеширотной верхней атмосферы. В средних широтах она возбуждается главным образом в высотной области 85-115 км с максимумом интенсивности на ~97 км [1]. Необходимость знания термодинамического состояния МНТ – области средней атмосферы, оказывающей значительное влияние на вышележащие слои, делает эмиссию атомарного кислорода 557.7 нм одним из основных инструментов исследования ее состояния.

Одной из важных характеристик эмиссии 557.7 нм является выраженный сезонный ход, который отображает регулярные динамические процессы в верхней атмосфере и, в частности, вариации распределений температуры и состава мезосферы и нижней термосферы.

В настоящей работе представлены результаты исследования сезонных вариаций атмосферной эмиссии атомарного кислорода с длиной волны излучения 557.7 нм для средних широт Азиатского региона. Для анализа использованы многолетние данные спектрофотометрических наблюдений собственного свечения верхней атмосферы, полученные в Геофизической обсерватории (ГО) ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) за период 1991-1993 и 1997-2007 гг. Аппаратура, методика наблюдений и обработки материала изложены в [2, 3].

## Результаты наблюдений и обсуждение

Известно [4, 5, 6], что в средних широтах интенсивность эмиссии 557.7 нм характеризуется сезонным ходом, при котором отмечаются максимумы около периодов равноденствий, в феврале-марте и октябре-ноябре, и летом, при этом амплитуда осеннего максимума наибольшая. Колебания с гармониками 12, 6 и 4 месяца возникают в результате сезонного изменения температуры и концентраций атмосферных составляющих вследствие сезонных вариаций в солнечном облучении и атмосферной циркуляции. Наблюдаемое соотношение между амплитудами максимумов зависит от географической широты места наблюдения. Представленное описание сезонного хода является характерным для большинства среднеширотных станций в диапазоне широт 35-50°N. Имеющиеся отличия заключаются в значениях средних годовых интенсивностях и величинах максимумов эмиссии 557.7 нм.

В работе [2] представлены результаты исследования сезонного хода эмиссии 557.7 нм по данным Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН для периода 1991-1993 и 1997-2001 гг. (397 дней наблюдения) и его сопоставления с существующими моделями сезонного хода (Рис.1). Для сопоставления привлекались эмпирические модели сезонного хода эмиссии 557.7 нм, представленные в работах [6] (рис. 1а) и [7] (рис. 1б). Было выявлено качественное совпадение анализируемых экспериментальных результатов наблюдений и модельных расчетов. В то же время были обнаружены количественные отличия в сезонном ходе эмиссии 557.7 нм, полученном по данным ГО ИСЗФ СО РАН, заключающиеся в значительном превышении вычисленных по моделям значений интенсивности эмиссии 557.7 нм для зимних месяцев (декабрь-январь).

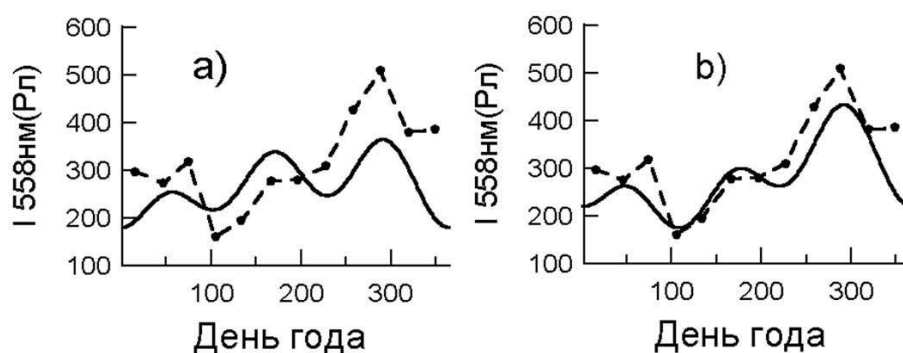


Рис. 1. Сопоставления сезонных ходов эмиссии 557.7 нм по данным измерений в ГО ИСЗФ СО РАН (пунктирные кривые) с сезонными ходами, вычисленными (сплошные линии) по эмпирическим моделям [6] - (а) и [7] - (б). [2]

С момента проведения первоначального исследования в ГО ИСЗФ СО РАН к настоящему времени накоплен большой массив экспериментальных данных, полученных при разных уровнях солнечной активности. Эта база данных позволяет проведение более расширенного анализа особенностей поведения сезонного хода интенсивности эмиссии 557.7 нм с учетом возможного влияния на него вариаций солнечной активности. Для исследования использовались имеющиеся данные ГО ИСЗФ СО РАН за период 1991-1993 и 1997-2007 гг. Общее число дней наблюдения за указанный период составило 936.

Таблица 1. Распределение количества дней наблюдения эмиссии 557.7 нм в по годам за период 1991-1993, 1997-2007 гг.

<i>Год</i>	<i>Количество дней наблюдения</i>
1991	24
1992	11
1993	11
1997	16
1998	60
1999	64
2000	161
2001	88
2002	62
2003	29
2004	89
2005	94
2006	110
2007	117

Таблица 2. Распределение количества дней наблюдения эмиссии 557.7 нм по месяцам за период 1991-1993, 1997-2007 гг.

<i>Месяц</i>	<i>Количество дней наблюдения</i>
Январь	105
Февраль	101
Март	103
Апрель	103
Май	42
Июнь	32
Июль	39
Август	57
Сентябрь	75
Октябрь	74
Ноябрь	112
Декабрь	93

Статистика количества дней наблюдений эмиссии 557.7 нм в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН по годам приведена в Таблице 1, а статистика распределения дней наблюдения по месяцам представлена в Табл. 2.

На Рис. 2а представлен сезонный ход эмиссии 557.7 нм, полученный по данным ГО ИСЗФ СО РАН за период 1991-1993 и 1997-2007 гг. Для сравнения на Рис. 2б приведен график сезонного хода по многолетним данным Абастуманской астрофизической обсерватории, характерный для среднеширотных станций, за период 1958-1970 гг [5].

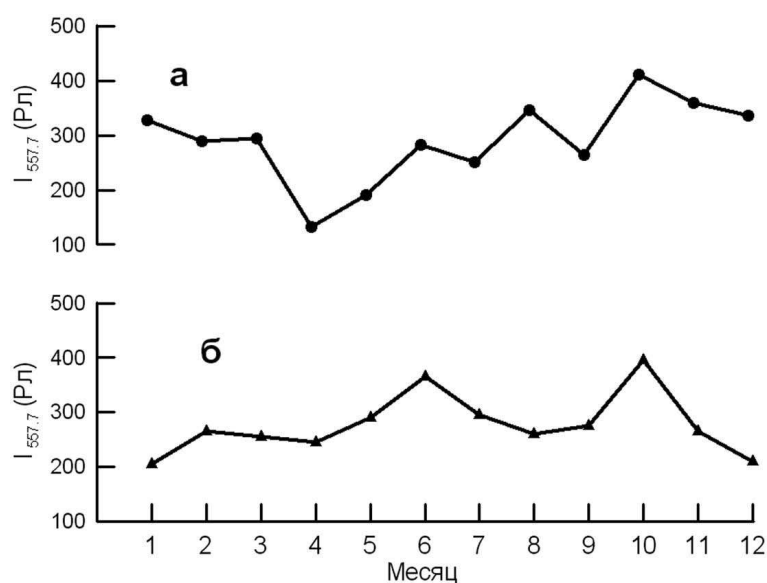


Рис. 2. Сезонный ход интенсивности эмиссии 557.7 нм по данным ГО ИСЗФ СО РАН за период 1991-1993 и 1997-2007 гг. (а) и Абастуманской астрофизической обсерватории за период 1958-1970 гг. (б)

Как и для сезонного хода эмиссии 557.7 нм для меньшего периода наблюдения (1991-1993, 1997-2001 гг) (рис.1), на этом графике присутствуют максимумы, характерные для всех среднеширотных станций [4, 5, 6] в периоды близкие к равноденствиям и в середине года, летом. В зимние месяцы значения интенсивности также повышенные по сравнению с модельными расчетами и сезонным ходом по данным Абастуманской астрофизической обсерватории.

Для всего массива имеющихся экспериментальных данных было проведено исследование сезонного хода эмиссии 557.7 нм от уровня солнечной активности, определяемого по потоку солнечного радиоизлучения  $F_{10.7}$  на длине волны 10.7 см. Для этого весь исследуемый период был условно поделен на годы, соответствующие низкому (2006-2007 гг.,  $F_{10.7}= 60-80$ ), среднему (1997-2000, 2003-2005 гг.,  $F_{10.7}= 80-130$ ) и высокому (1991-1993, 2001- 2002 гг.,  $F_{10.7}= 130-240$ ) уровням солнечной активности.

На рис. 3 приведены графики вариаций среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм для разных уровней солнечной активности.

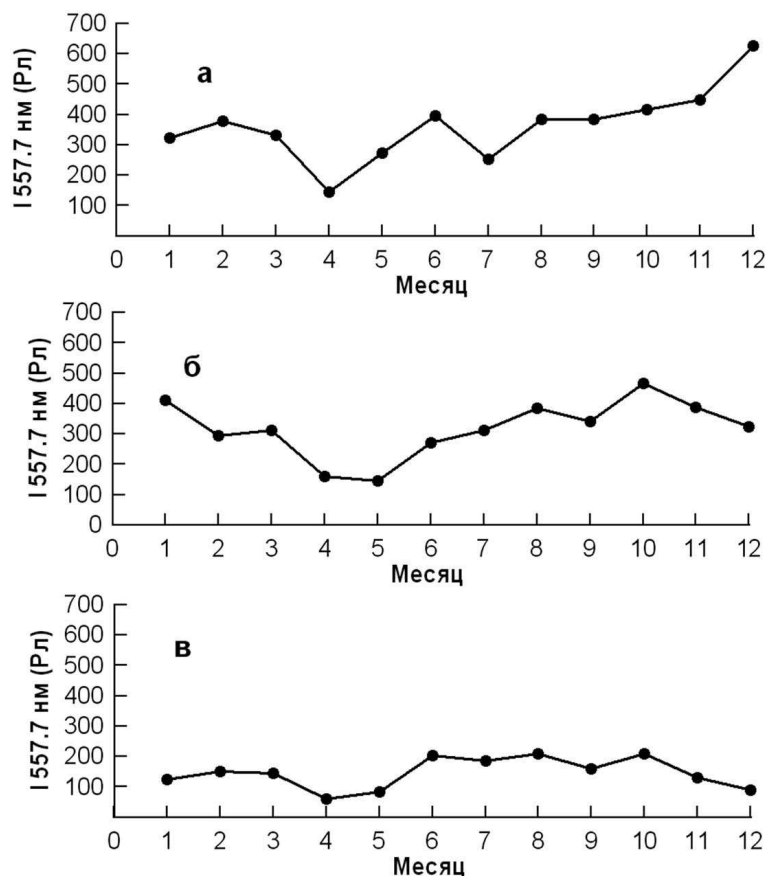


Рис. 3. Вариации среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм по данным измерений в ГО ИСЗФ СО РАН в периоды высокой (1991-1993, 2001-2002 гг.) (а), средней (1997-2000, 2003-2005 гг.) (б) и низкой (2006-2007 гг., 1991-1993, 2001- 2002 гг.) (в) солнечной активности

В периоды, соответствующие минимальному (2006-2007 гг.) и среднему (1997-2000, 2003-2005 гг.) уровням солнечной активности (рис. 3б-в), в сезонных вариациях эмиссии 557.7 нм присутствуют три максимума – в марте, октябре-ноябре и летом. Такая картина соответствует типичному сезонному ходу этой эмиссии для всех среднеширотных станций. В периоды высокой солнечной активности (рис. 3а), в 1991-1993, 2001- 2002 гг,

в сезонных вариациях эмиссии 557.7 нм ярко выраженного осеннего максимума в октябре-ноябре по данным ГО ИСЗФ СО РАН не наблюдается. Возможно, это обусловлено тем, что для указанного периода, соответствующего высокой солнечной активности, в зимние месяцы наблюдались аномально высокие значения интенсивности эмиссии 557.7 нм, которые и могли исказить картину типичного распределения сезонного хода интенсивности.

Согласно работам [8, 9], корреляция среднемесячных интенсивностей с уровнем солнечной активности зависит от времени года и, оставаясь положительной, достигает максимального значения весной в марте-апреле, уменьшается в середине года и снова возрастает ко времени осеннего равноденствия. В период осеннего максимума интенсивности в октябре-ноябре корреляция снова несколько ослабевает. На рис. 4 приведено отношение интенсивности эмиссии 557.7 нм по данным ГО ИСЗФ для периода, соответствующего высокой солнечной активности (1991-1993, 2001-2002) к интенсивности для периода, соответствующего низкой солнечной активности (2006-2007)  $I_{\max}/I_{\min}$  по данным ГО ИСЗФ СО РАН для всех месяцев (рис. 4а). Как видно из графика, максимального значения это отношение достигает в декабре, что объясняется аномально высокими значениями интенсивности эмиссии 557.7 нм в период, соответствующий высокой солнечной активности, в зимние месяцы.

После исключения из рассмотрения значений интенсивности эмиссии 557.7 нм, соответствующих зимним месяцам, была построена аналогичная зависимость  $I_{\max}/I_{\min}$  с февраля по ноябрь (рис. 4б), которая, в общем, соответствует сезонной зависимости корреляции среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня солнечной активности, приведенной в работах [8, 9].

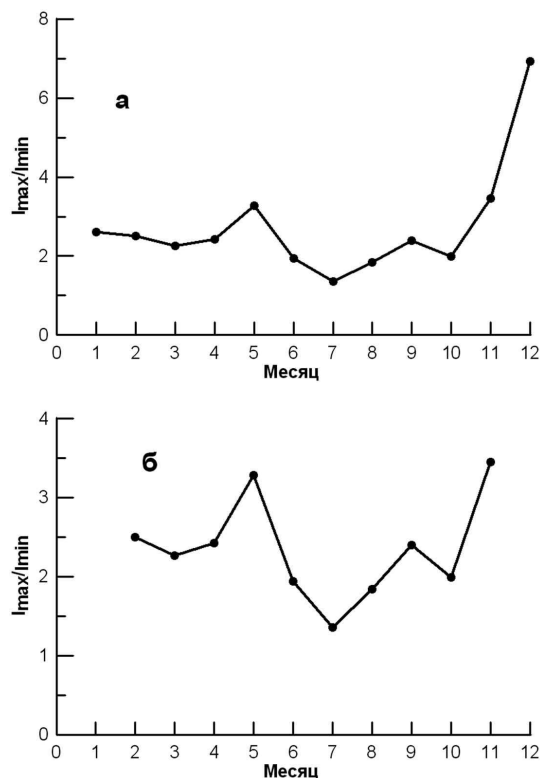


Рис. 4. Отношение интенсивности эмиссии 557.7 нм для периода, соответствующего высокой солнечной активности (1991-1993, 2001-2002) к интенсивности для периода, соответствующего низкой солнечной активности (2006-2007) по данным ГО ИСЗФ СО РАН: а – для всех месяцев, б – с февраля по ноябрь

Вариации интенсивности излучения 557.7 нм во многом обусловлены влиянием как солнечной активности, так и обширного класса различных метеорологических процессов в нижней атмосфере, генерирующих внутренние гравитационные волны, распространяющиеся в верхние слои атмосферы. Кроме того, существенное влияние на вариации интенсивности эмиссии атомарного кислорода и ее пространственно-временное распределение оказывают планетарные волны, орографические эффекты и практически ежегодно возникающие на средних широтах зимние стратосферные потепления. Вариации эмиссии 557.7 нм в периоды зимних внезапных стратосферных потеплений представляют большой интерес как наиболее сильные возмущения эмиссии в спокойных геомагнитных условиях. Возмущения, происходящие во время сильных стратосферных потеплений, не ограничиваются стратосферой, а охватывают большой высотный диапазон, простирающийся от тропосферных высот вплоть до высот верхней мезосферы [10] и нижней термосферы [11] (область высвечивания атмосферной эмиссии 557.7 нм).

По данным наблюдений в ГО ИСЗФ СО РАН в зимние месяцы неоднократно регистрировались повышенные значения эмиссии 557.7 нм в спокойных геомагнитных условиях [12]; такие случаи, в основном, приходились на периоды действия стратосферных потеплений в регионе Восточной Сибири.

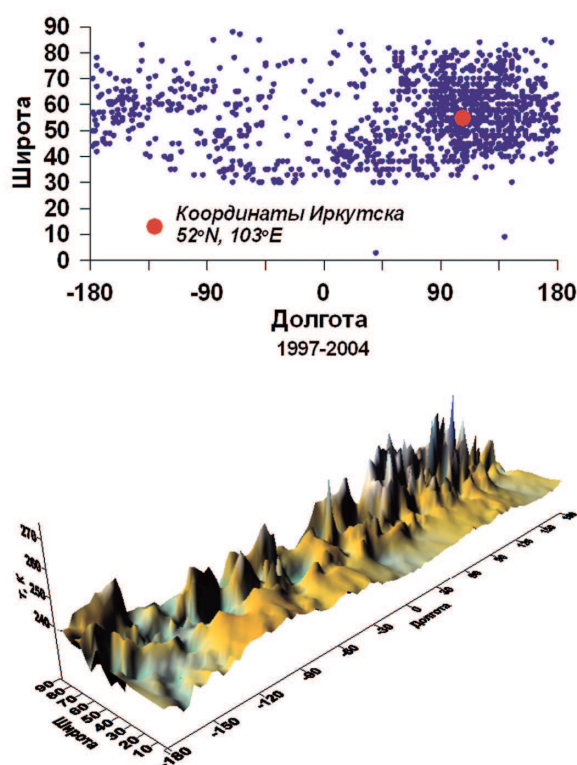


Рис. 5. Распределение локализации очагов максимальных температур в стратосфере на уровне 10 гПа (30 км) (а) и значений температуры в очагах (б) за период 1997–2004 гг.

Стратосферные потепления наблюдаются почти каждую зиму. Но для них прослеживается явная географическая неравномерность распределения их концентрации и частоты возникновения. Азиатский регион и, в частности, регион Восточной Сибири, является местом повышенного сосредоточения очагов стратосферных потеплений. На рис. 4 показано распределение ежедневных данных областей локализации очагов максимальных температур в стратосфере на уровне 10 гПа (~30 км) по данным Института метеорологии

при Берлинском университете (<http://strat-www.met.fu-berlin.de>). Там же представлены температуры в этих очагах для периода 1997–2004 гг. Хорошо видно, что их концентрация в Азиатском регионе и, в частности, в месте локализации Геофизической обсерватории ИЗСФ СО РАН (52°N, 103°E) чрезвычайно велика.

Таким образом, частые стратосферные потепления в регионе Восточной Сибири могут привести к увеличению среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм в зимние месяцы по сравнению с интенсивностями, характерными для других среднеширотных станций.

Результаты проведенного анализа подтверждают высказанное ранее в работе [13] предположение о роли стратосферных потеплений в формировании региональных особенностей сезонного хода интенсивности эмиссии 557.7 нм. А поскольку эмиссия 557.7 нм является интегральной характеристикой высотных распределений температуры и атмосферных составляющих, участвующих в процессах возбуждения этой эмиссии, на высоте ее высвечивания, можно ожидать существование региональных особенностей атмосферных параметров на этих высотах, связанных с высокой концентрацией очагов стратосферных потеплений.

### Заключение

По результатам наблюдений в регионе Восточной Сибири в 1991-1993 и 1997-2007 гг. получены сезонные вариации интенсивности атмосферной эмиссии 557.7 нм, качественно совпадающие с полученными в предшествующие десятилетия на других среднеширотных станциях и модельными аппроксимациями. Отличия в сезонном ходе в регионе наблюдения заключаются в повышенных значениях интенсивности эмиссии 557.7 нм для зимних месяцев.

Подтверждено высказанное ранее в работе [13] предположение о роли стратосферных потеплений в формировании региональных особенностей сезонного хода интенсивности эмиссии 557.7 нм и атмосферных параметров на высоте ее излучения, связанных с высокой концентрацией очагов стратосферных потеплений.

Исследованы сезонные вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм при разных уровнях солнечной активности.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 09-05-00243 и 09-05-00757.

### Литература

1. *Bates D.R.* Forbidden oxygen and oxygen lines in the nightglow // *Planet. Space Sci.* 1978. V. 26. N 10. P. 897–912.
2. *Михалев А.В., Медведева И.В.* Сезонный ход эмиссии верхней атмосферы в линии атомарного кислорода 558 нм. // *Оптика атмосферы и океана.* 2002, 15, N11, 993-997.
3. *Mikhalev A.V., Stoeva P., Medvedeva I.V., Benev B., and Medvedev A.V.* Behavior of the atomic oxygen 557.7 nm atmospheric emission in the current solar cycle 23 // *Advances in Space Research.*, 41, 2008, p. 655-659
4. *Fukuyama K.* Airglow variations and dynamics in the lower thermosphere and upper mesosphere – II. Seasonal and long-term variations // *Journal of atmospheric and Terrestrial Physics.* 1977b. V.39. N 1. P.1-14

5. *Фишкова Л.М.* Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли // Тбилиси: Мецниереба. 1983. 272 с.
6. *Семенов А.И., Шефов Н.Н.* Эмпирическая модель вариаций эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм в ночное время. 1. Интенсивность // Геомагнетизм и аэрономия. 1997 а. Т. 37. № 2. С. 81–90.
7. *Фишкова Л.М., Марцваладзе Н.М., Шефов Н.Н.* Закономерности вариаций эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм. // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т. 40. № 6. С. 107-111.
8. *Фишкова Л.М., Марцваладзе Н.М., Шефов Н.Н.* Сезонные вариации зависимости эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм от солнечной активности и многолетнего тренда // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т.41, №4. С. 557-562.
9. *Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю.* Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики // Москва. ГЕОС. 2006. 740 с.
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. *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.
12. *Медведева И.В., Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Абушенко Н.А., Таццилин С.А.* Поведение атмосферной эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм в периоды стратосферных потеплений в регионе Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т.20. №2. С. 143-147.
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 // Advances in Space Research. Special Issue. Long-Term Trends: Thermosphere, Mesosphere, Stratosphere, and Lower Ionosphere. 2003. Vol.32. No.9. P. 1787-1792.

## **Study of seasonal variations of the 557.7 nm atomic oxygen emission at the mesopause and low thermosphere heights according to observation in the East - Siberian region**

**I.V. Medvedeva**

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia  
ivmed@iszf.irk.ru*

This work presents the results of study of the seasonal variations of the 557.7 nm airglow intensity (emitting height is ~85-115 km) for middle latitudes of the Asian region. Experimental data of the nightglow observation obtained at the ISTP SB RAS Geophysical observatory (52N, 103E, Eastern Siberia) were analyzed. Seasonal variations of the 557.7 nm emission at different levels of solar activity were obtained.

It is shown, that regional features of the 557.7 nm nightglow seasonal variations can be result of influence of geographical irregularity of frequency of occurrence of stratospheric warmings in the East - Siberian region.

**Keywords:** upper atmospheric emission, nightglow, seasonal variations