

**СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ЭМИССИИ
[OI] 630 НМ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В РЕГИОНЕ
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В 2011–2017 гг.**

**SEASONAL AND INTERANNUAL VARIATIONS IN THE [OI] 630 nm
ATMOSPHERIC EMISSION AS DERIVED
FROM OBSERVATIONS OVER EASTERN SIBERIA IN 2011–2017**

А.В. Михалев

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, mikhalev@iszf.irk.ru*

A.V. Mikhalev

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

Аннотация. По результатам наблюдений собственного излучения верхней атмосферы Земли в регионе Восточной Сибири исследован сезонный ход и межгодовые вариации атмосферной эмиссии атомарного кислорода [OI] 630 нм. Среди особенностей сезонного хода этой эмиссии отмечены выраженный летний максимум, осенний минимум и сильная межгодовая изменчивость в зимние месяцы, а также увеличение коэффициента корреляции со среднемесячным значением индекса солнечной активности $F_{10.7}$ в периоды, близкие к равноденствиям. Рассмотрены возможные причины и явления, включая солнечную активность, которые формируют сезонный ход и межгодовые вариации атмосферной эмиссии 630 нм. В работе использовались данные наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) в 2011–2017 гг.

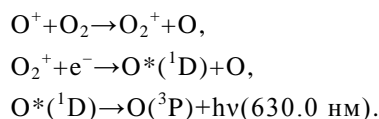
Ключевые слова: собственное свечение атмосферы, эмиссия 630 нм, сезонный ход и межгодовые вариации, солнечная активность.

Abstract Seasonal and interannual variations in the [OI] 630 nm atmospheric emission are studied from observations of airglow in Eastern Siberia. Among features of seasonal variation in this emission are a pronounced summer maximum, an autumn minimum, and a strong interannual variability in winter months, as well as an increase in the correlation coefficient with a monthly mean value of the $F_{10.7}$ solar activity index in periods close to equinoxes. We identify possible causes and phenomena (including solar activity) that form the seasonal and interannual variations in the 630 nm atmospheric emission. In this study, we have used observational data from the Geophysical Observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (ISTP SB RAS, 52° N, 103° E) for 2011–2017.

Keywords: airglow, 630 nm emission, seasonal and interannual variations, solar activity.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее интенсивной эмиссией ионосферной F-области в видимой части спектра является запрещенная линия атомарного кислорода [OI] (1D) 630 нм. Ночью в средних широтах в спокойных геомагнитных условиях основным процессом возбуждения эмиссии 630 нм является реакция диссоциативной рекомбинации ионов молекулярного кислорода O_2^+ и окиси азота NO^+ [Bates, 1978; Фишкова, 1983]. Заселение уровня [OI] (1D) и высвечивание эмиссии 630 нм в реакции с участием иона молекулярного кислорода O_2^+ происходит в цепочке следующих реакций:



Эмиссия 630 нм наблюдается в F-области ионосферы (~200–300 км) и имеет схожий с электронной плотностью N_e высотный профиль на высотах ее высвечивания. В силу приближения $[O^+] \sim N_e$ эта эмиссия часто рассматривается как чувствительный индикатор электронной плотности и динамики верхней атмосферы при гелиогеофизических воз-

мущениях и явлениях различной природы, таких как среднеширотные сияния [Михалев и др., 2004], перемещающиеся ионосферные возмущения в слое F [Adachi et al., 2011].

Первые исследования межгодовых и многолетних вариаций среднеширотных эмиссий верхней атмосферы относятся к 20–30-м гг. прошлого столетия [Lord Rayleigh, Jones, 1935]. Наиболее полные данные о многолетних вариациях атмосферных эмиссий получены во второй половине XX в. (см., например, [Fukuyama, 1977]) и охватывают около пяти солнечных циклов (18–22-й солнечные циклы). В настоящее время можно считать установленным фактом, что многолетние вариации атмосферных эмиссий в линиях атомарного кислорода 557.7 нм (высоты высвечивания 85–115 км) и 630 нм (180–250 км) зависят от уровня солнечной активности. В разных солнечных циклах степень проявления эффектов солнечной активности в указанных атмосферных эмиссиях может быть различной [Гивишвили и др., 1996; Михалев и др., 2008]. В связи с этим особый интерес представляют вариации характеристик верхней атмосферы, включая собственное излучение, в условиях аномальной солнечной активности в 24-м цикле, который отличается крайне низким уров-

нем солнечной активности по сравнению с предыдущими циклами [<http://spaceweathernews.com>]. Регулярные аппаратные наблюдения собственного излучения верхней атмосферы охватывают всего пять-шесть последних солнечных циклов, и данных о поведении эмиссии 630 нм в пределах солнечного цикла с такими характеристиками до сих пор не было. Вероятно, важными являются и наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения, которые коснулись и параметров верхней атмосферы, включая собственное излучение [Шефов и др., 2006а]. Последнее обстоятельство предполагает выяснение вопроса стабильности (или изменчивости) основных характеристик эмиссии 630 нм в разные фазы наблюдаемых климатических изменений.

В настоящей работе представлены результаты исследования сезонного хода и межгодовых вариаций атмосферной эмиссии [OI] 630 нм за период 2011–2017 гг., охватывающий фазы роста, максимумов и спада 24-го солнечного цикла. Исследования основаны на данных наблюдений в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (52° N; 103° E), расположенной в регионе Восточной Сибири (Тункинская долина, с. Торы).

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

В работе использованы данные наблюдений эмиссии атомарного кислорода 630 нм, полученные в ГФО ИСЗФ СО РАН с помощью патрульного спектрометра САТИ-1М, созданного на базе спектрографа ИСП-51 и цветной ПЗС-матрицы Sony ICX285AQ. Основное назначение спектрографа — исследование возмущений в основных эмиссионных линиях и полосах (OI 557.7 нм, OI 630 нм, NaI 589.0–589.6 нм и др.) во время гелиогеофизических возмущений. Спектрограф позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм. Спектрометр ориентирован в северном направлении с возвышением оптической оси над горизонтом ~23°. Вертикальное угловое поле зрения составляет около 25°, время экспозиции 260 с. Основные характеристики спектрометра САТИ-1М доступны по адресу [<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr>]. Полученные с северного направления относительные значения эмиссии 630 нм приводились к зенитным абсолютным значениям эмиссии 630 нм (Рл) с учетом данных наблюдений, полученных в 1997–2010 гг. (предыдущий, 23-й солнечный цикл) с помощью зенитных фотометров с качающимися интерференционными светофильтрами. Абсолютная калибровка измерительных трактов зенитных фотометров в 1997–2010 гг. осуществлялась в отдельные периоды по эталонным звездам, в частности по α Возничего, и впоследствии контролировалась с помощью калибраторов — стабилизированных источников света [Михалев и др., 2008; Михалев, 2017]. В 2010–2011 гг. направление визирования зенитных фотометров в течение ночи периодически менялось, в отдельные интервалы времени совпадая с направлением визирования

спектрометра САТИ-1М. Это позволило, используя абсолютную калибровку зенитных фотометров, определить коэффициент пересчета абсолютных значений для эмиссий [OI] 557.7 и 630 нм, полученных с помощью зенитных фотометров, применительно к спектрометру САТИ-1М. Ошибка абсолютных измерений интенсивности эмиссии 630 нм составляет $\leq 15\%$. Известно, что интенсивность эмиссии 630 нм в течение ночи падает от вечерних сумеречных значений ~200–300 Рл до ~30–50 Рл около полуночи, затем меняется незначительно до момента, когда начинаются местные сумерки, либо до момента предсумеречного усиления, связанного с началом сумерек в магнитосопреженной ионосфере [Фишкова, 1983]. Это обусловлено наличием нескольких механизмов возбуждения эмиссии 630 нм, вклад которых, в зависимости от времени суток и гелиогеофизических условий, может быть различным [Торошелидзе, 1991]. В связи с этим в настоящей работе анализ сезонного хода и межгодовых вариаций эмиссии 630 нм проводился для околополуночных часов (23–01 LT).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице представлены используемые в настоящей работе среднемесячные значения интенсивности эмиссии [OI] 630 нм I_{630}^m , Рл, полученные в ГФО ИСЗФ СО РАН (Торы) в 2011–2017 гг.

Сезонный ход эмиссии 630 нм и его особенности

Согласно [Фишкова, 1983; Шефов и др., 2006б], сезонный ход эмиссии 630 нм имеет различный вид для интенсивностей, полученных в разные периоды ночи, в зависимости от времени, прошедшего после захода Солнца. В средних широтах в сумеречные и ночные часы эта эмиссия формируется в результате процессов фотодиссоциации молекулярного кислорода в континууме Шумана—Рунге [Торошелидзе, 1991], диссоциативной рекомбинации [Bates, 1978] и столкновений с фотоэлектронами из магнитосопреженной области [Шефов и др., 2006б], поэтому соотношение вкладов этих механизмов в общую интенсивность эмиссии 630 нм в фиксированный момент времени в общем случае должно зависеть от широты, долготы, местного времени и солнечной активности.

На рис. 1 приведен средний сезонный ход эмиссии [OI] 630 нм за 2011–2017 гг., полученный по данным ГФО (а), коэффициенты вариаций I_{630}^m и корреляции I_{630}^m со среднемесячным значением индекса солнечной активности $F10.7$ (б). В сезонном ходе эмиссии [OI] 630 нм можно выделить некоторые особенности. Во-первых, выделяется выраженный максимум эмиссии 630 нм в летние месяцы. Во-вторых, наибольшая вариабельность этой эмиссии отмечается в зимние месяцы. При этом наблюдается наименьшая вариабельность в июне и небольшой минимум в сентябре. По данным работы [Фишкова, 1983], полученным в обсерватории Абустумани (широта 41.5° N) в 1958–1971 гг., сезонный ход средних за ночь интенсивностей эмиссии 630 нм также харак-

Среднемесячные значения интенсивности эмиссии OI630 нм I_{630}^M , Рл, за 2011–2017 гг.

Год/месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2011	–	–	–	–	–	–	–	–	61	33	16	13
2012	22	30	39	39	57	99	88	73	55	37	37	35
2013	33	37	39	50	66	96	124	111	55	38	56	67
2014	65	67	60	59	63	102	131	122	45	35	37	35
2015	36	50	59	66	59	96	117	88	51	38	39	46
2016	64	66	68	54	62	100	109	69	51	23	26	30
2017	29	27	34	47	78	102	59	58	33	20	22	28

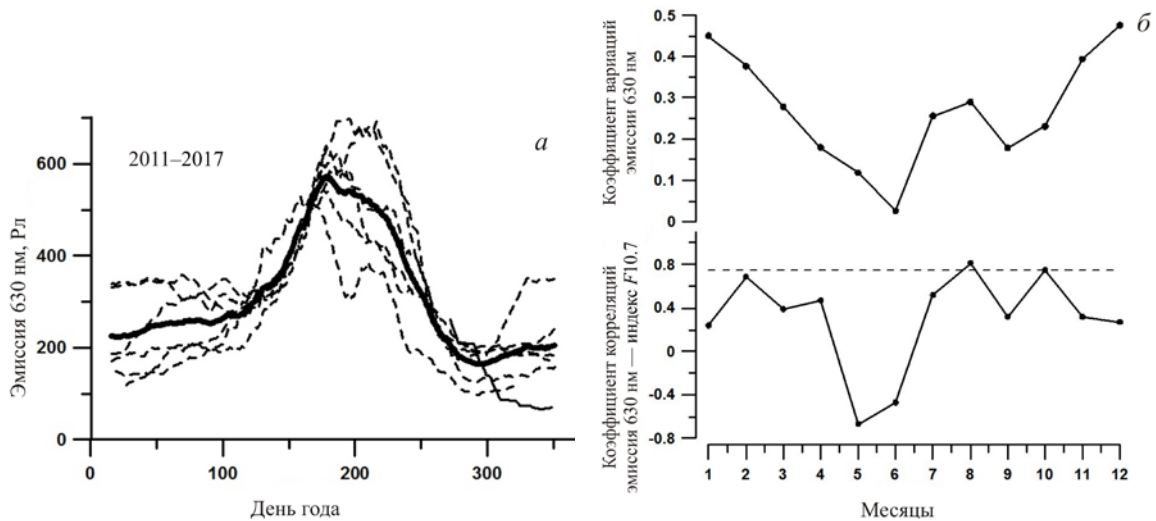


Рис. 1. Сезонный ход интенсивности эмиссии 630 нм (а) и коэффициенты вариаций среднемесячной интенсивности эмиссии [OI] 630 нм I_{630}^M и корреляции I_{630}^M со среднемесячным значением индекса солнечной активности $F10.7$ (б)

теризуется летним максимумом. В то же время сезонный ход среднемесячных интенсивностей этой эмиссии для начала ночи (2–3 ч после захода Солнца) характеризуется летним минимумом и осенне-зимним максимумом, а спустя шесть часов после захода Солнца представляет собой полугодовые вариации с максимумами во время равноденствий и минимумами во время солнцестояний. По наблюдениям в Ашхабаде (широта 38° N) [Коробейникова, Насыров, 1974], средняя за ночь интенсивность эмиссии 630 нм имеет максимум летом и минимумы вблизи равноденствий. В эмпирической модели вариаций эмиссии 630 нм для средних широт [Шефов и др., 20066] сезонный ход, полученный на основе данных работы [Фишкова, 1983], представлен в виде полугодовых вариаций с максимумами во время равноденствий и минимумами во время солнцестояний.

Отчетливо выраженный максимум интенсивности эмиссии 630 нм в летние месяцы по данным ГФО может быть объяснен широтным расположением станции, для которой в весенне-летний период (май–июль) максимальное погружение Солнца за горизонт приходится на астрономические сумерки. В таком случае основной вклад в интенсивность этой эмиссии может вносить процесс фотодиссоциации молекулярного кислорода в континууме Шумана — Рунге сумеречным солнечным светом [Торшеллидзе, 1991], в отличие от зимних месяцев, когда основным механизмом возбуждения эмиссии 630 нм является процесс диссоциативной рекомби-

нации [Bates, 1978]. Увеличение коэффициента корреляции I_{630}^M со среднемесячным значением индекса солнечной активности $F10.7$ в периоды, близкие к равноденствиям (рис. 1, б), может указывать на существование сезонной зависимости эмиссии атомарного кислорода 630 нм от солнечной активности, аналогичной выявленной для эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм [Фишкова и др., 2001].

Межгодовые вариации эмиссии 630 нм

На рис. 2 представлены вариации среднемесячных значений индекса радиоизлучения Солнца $F10.7$, интенсивности эмиссии атомарного кислорода 630 нм и планетарного A_p -индекса за анализируемый период. Индекс радиоизлучения Солнца $F10.7$ использовался для оценки уровня солнечной активности; планетарный A_p -индекс — для оценки уровня геомагнитной возмущенности. Рассматриваемый период охватывает фазы роста, максимума и спада 24-го солнечного цикла.

В общем случае (рис. 2) просматривается тенденция изменения интенсивности эмиссии 630 нм в 24-м цикле в фазе с солнечным циклом (по минимальным, максимальным значениям I_{630}^M , интерполяционным кривым) — увеличение интенсивности эмиссии от низкой солнечной активности к высокой солнечной активности. Интерполяционные кривые указывают также на увеличение I_{630}^M на спаде солнечной активности в 2015–2016 гг., возможно связанное с возрастанием геомагнитной активности (индекс A_p) [Шефов и др., 2006a]. При этом следует учитывать,

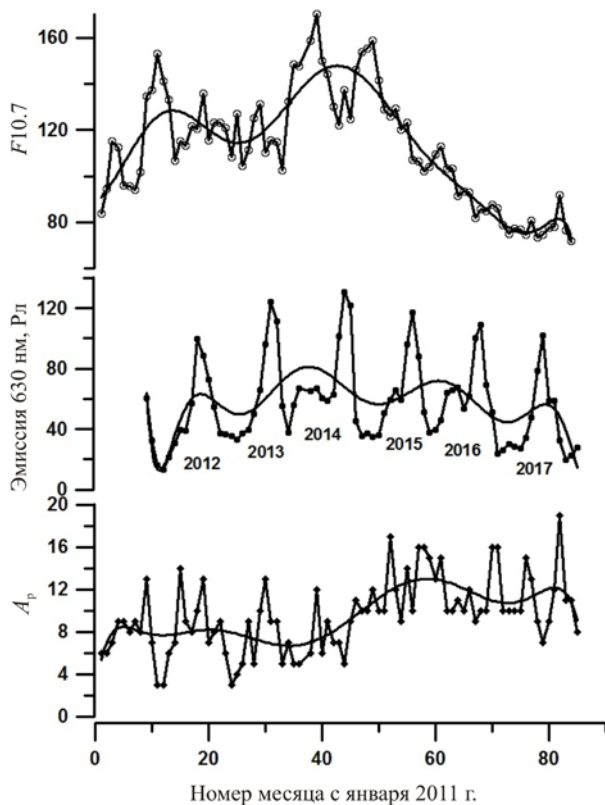


Рис. 2. Вариации среднемесячных значений: индекса радиоизлучения Солнца $F_{10.7}$ (верхняя кривая), интенсивности эмиссии атомарного кислорода 630 нм I_{630}^m (средняя кривая) и планетарного A_p -индекса (нижняя кривая). Сплошными линиями показаны интерполяции данных полиномами 10-й степени

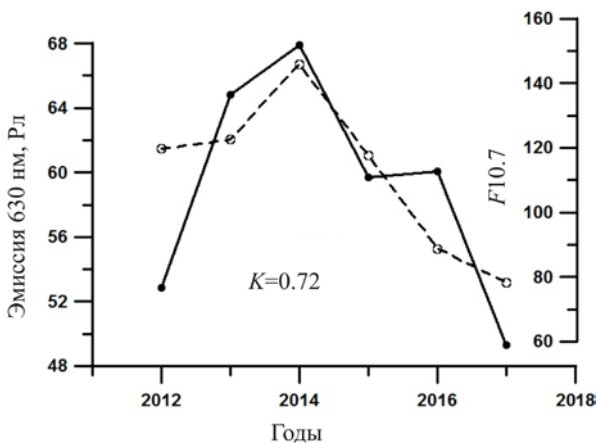


Рис. 3. Среднегодовые значения интенсивности эмиссии 630 нм (сплошная линия) и индекса солнечной активности $F_{10.7}$ (штриховая линия)

что 24-й солнечный цикл характеризуется крайне низким уровнем солнечной активности по сравнению с предыдущими циклами [<http://spaceweathernews.com>]. На рис. 3 приведены среднегодовые значения интенсивности эмиссии 630 нм и индекса солнечной активности $F_{10.7}$ за 2012–2017 гг. Видно, что для среднегодовых значений эмиссии 630 нм зависимость от солнечной активности выражена более явно по сравнению со среднемесячными значениями (коэффициент корреляции ~ 0.72). В работе [Шефов и др., 20066] на основе данных о многолетних вариациях среднегодовых интенсивностей эмиссии 630 нм в 1958–1992 гг.

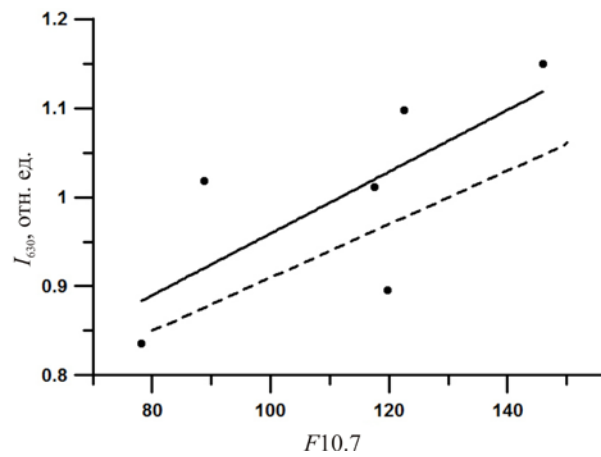


Рис. 4. Зависимость среднегодовых значений интенсивностей эмиссии 630 нм от индекса $F_{10.7}$ по данным настоящей работы (точки, сплошная линия) и эмпирической модели [Шефов и др., 20066] (штриховая линия)

(19–22-й солнечные циклы) [Гвишвили и др., 1996] была получена корреляционная зависимость от индекса $F_{10.7}$ (коэффициент корреляции $K=0.73$):

$$\Delta I_F = (0.0030 \pm 0.0010)(F_{10.7} - 130). \quad (1)$$

Для полуночных интенсивностей приводится зависимость

$$\Delta I_F = (0.0060 \pm 0.0015)(F_{10.7} - 130), \quad (2)$$

где ΔI_F — относительное изменение интенсивности эмиссии 630 нм.

Заметим, что, согласно работе [Михалев и др., 2008], для 23-го солнечного цикла по данным ГФО коэффициент корреляции между среднегодовыми значениями эмиссии 630 нм и индексом $F_{10.7}$ составлял 0.68.

Оценка отношения среднегодовых значений эмиссии 630 нм в 24-м солнечном цикле в максимуме и в минимуме I_{\max}/I_{\min} дает ~ 1.36 , что несколько ниже соответствующих значений, полученных для среднеширотных станций «Верхний Прованс» (~ 2) [Barbier, 1965], «Звенигород» (~ 2.5) [Трутце, Белявская, 1975] в предыдущие солнечные циклы. Однако эта величина достаточно хорошо совпадает с полученным по формуле (1) в эмпирической модели [Шефов и др., 20066] значением ~ 1.32 , с учетом текущих среднегодовых значений индекса солнечной активности $F_{10.7}$ в 24-м солнечном цикле за 2012–2017 гг. Вероятно, полученное низкое значение I_{\max}/I_{\min} для эмиссии 630 нм отражает особенность 24-го солнечного цикла, характеризующегося незначительными вариациями уровня солнечной активности по сравнению с предыдущими циклами. Зависимости среднегодовых значений интенсивности эмиссии 630 нм от индекса $F_{10.7}$ по данным настоящей работы и согласно выражению (1) эмпирической модели [Шефов и др., 20066] представлены на рис. 4. Среднегодовые значения интенсивностей получены по экспериментальным данным с учетом всех месяцев. Однако если исключить летние месяцы в экспериментальных данных при получении среднегодовых значений интенсивностей, то наилучшее согласие с зависимостью от солнечной активности, построенной по данным измерений, дает зависимость, основанная на выражении

(2) эмпирической модели [Шефов и др., 2006б]. Это может быть связано с тем, что для места расположения ГФО вклад летних месяцев в среднегодовые значения интенсивностей достаточно существенен (см. рис. 1, а). В летние месяцы в ГФО, в силу ее географического положения, ночи непродолжительны — не более 3–4 ч. В этом случае эмиссия 630.0 нм, с учетом особенностей ее ночного хода [Шефов и др., 2006б], в околополночные часы не успевает выйти на режим возбуждения только за счет механизма диссоциативной рекомбинации, как это происходит на более низкоширотных станциях, данные которых использовались для построения эмпирической модели вариаций эмиссии 630 нм [Шефов и др., 2006а, б].

В работе [Шефов и др., 2006б] указывается на циклические аperiodические вариации эмиссии 630 нм, обусловленные солнечной активностью, с приблизительным периодом два–три года. Кривые интерполяции среднемесячных значений I_{630}^m , представленные на рис. 2, также позволяют выделить вариации с таким периодом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе данных наблюдений в средних широтах Азиатского континента интенсивности эмиссии атомарного кислорода 630 нм в околополночные часы получены особенности сезонных и межгодовых вариаций этой эмиссии в 24-м солнечном цикле, который характеризовался крайне низкой солнечной активностью. Впервые определен сезонный ход интенсивности эмиссии атомарного кислорода 630 нм для места расположения Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН, в которой наблюдения за свечением верхней атмосферы ведутся уже более 20 лет. Среди особенностей сезонного хода этой эмиссии можно отметить выраженный летний максимум, осенний минимум и сильную межгодовую изменчивость в зимние месяцы, а также увеличение коэффициента корреляции I_{630}^m со среднемесячным значением индекса солнечной активности $F10.7$ в периоды, близкие к равноденствиям. Отмечено, что для интенсивности эмиссии 630 нм в 24-м солнечном цикле сохраняется известная зависимость от солнечной активности (индекса $F10.7$). При этом полученное отношение среднегодовых значений эмиссии 630 нм в 24-м солнечном цикле в максимуме солнечной активности оказалось ниже соответствующих значений, полученных для среднеширотных станций в предыдущие солнечные циклы. Это может быть связано с аномальностью 24-го солнечного цикла. Коэффициенты корреляции между интенсивностью эмиссии атомарного кислорода 630 нм и индексом солнечной активности $F10.7$, полученные для различных солнечных циклов по экспериментальным данным и эмпирической модели [Шефов и др., 2006б], имеют близкие значения. Последнее обстоятельство может указывать на сохранение основных механизмов, формирующих связь эмиссии 630 нм с солнечной активностью, на протяжении последних нескольких циклов солнечной активности.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16 (проект П.16.1.1, регистрационный номер АААА-А16-116120610099-0). Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гивишвили Г.В., Лещенко Л.Н., Лысенко Е.В. и др. Многолетние тренды некоторых характеристик земной атмосферы. Результаты измерений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 32, № 3. С. 329–339.
- Коробейникова М.Л., Насыров Г.А. Структурные особенности эмиссии λ 6300 Å // Геофизический бюллетень. М.: Наука, 1974. № 27. С. 35–39.
- Михалев А.В. Особенности сезонного хода атмосферной эмиссии [OI] 557.7 нм // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 4. С. 296–300.
- 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. С. 616–621.
- Михалев А.В., Медведева И.В., Костылева Н.В., Стоева П. Проявление солнечной активности в вариациях атмосферных эмиссий 557.7 нм и 630 нм в 23 солнечном цикле // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 5. С. 425–431.
- Торошелидзе Т.И. Анализ проблем аэрономии по излучению верхней атмосферы. Тбилиси: Мецниереба, 1991. 216 с.
- Трутце Ю.Л., Белявская В.Д. Красная кислородная эмиссия 6300 Å и плотность верхней атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15, № 1. С. 101–104.
- Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 271 с.
- 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.
- Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы — индикатор ее структуры и динамики. Москва: ГЕОС, 2006а. 741 с.
- Шефов Н.Н., Семенов А.И., Юрченко О.Т. Эмпирическая модель вариаций эмиссии атомарного кислорода 630 нм. 1. Интенсивность // Геомагнетизм и аэрономия. 2006б. Т. 46, № 2. С. 250–260.
- Adachi T., Otsuka Y., Yamaoka M., et al. First satellite-imaging observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances by FORMOSAT-2/ISUAL // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. L04101. DOI: [10.1029/2010GL046268](https://doi.org/10.1029/2010GL046268).
- Barbier D. Variations de l'intensité des principales radiations de la luminescence atmosphérique nocturne avec le cycle solaire // Ann. Geophys. 1965. V. 21. P. 265–274.
- Bates D.R. Forbidden oxygen and nitrogen lines in the nightglow // Planet. Space Sci. 1978. V. 26, N 10. P. 897–912.
- Lord Rayleigh, Jones S.H. The light of the night sky: analysis of the intensity variations at three stations // Proc. Roy. Soc. 1935. V. 151, N A872. P. 22–55.
- Fukuyama K. Airglow variations and dynamics in the lower thermosphere and upper mesosphere II. Seasonal and long-term variations // J. Atmos. Terr. Phys. 1977. V. 39, N 1. P. 1–14.
- URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr> (дата обращения 15 марта 2018 г.).
- URL: <http://spaceweathernews.com> (дата обращения 15 марта 2018 г.).

REFERENCES

- Adachi T., Otsuka Y., Yamaoka M., Yamamoto M., Shikawa K., Chen A.B., Hsu R.R. First satellite-imaging obser-

vation of medium-scale traveling ionospheric disturbances by FORMOSAT-2/ISUAL. *Geophys. Res. Lett.* 2011, vol. 38, L04101. DOI: [10.1029/2010GL046268](https://doi.org/10.1029/2010GL046268).

Barbier D. *Variations de l'intensité des principales radiations de la luminescence atmosphérique nocturne avec le cycle solaire*. [Intensity variations of the mean radiation of the night airglow of atmospheric emission in the solar cycle]. *Ann. Geophys.* 1965, vol. 21, pp. 265–274. (In French).

Bates D.R. Forbidden oxygen and nitrogen lines in the nightglow. *Planet. Space Sci.* 1978, vol. 26, no. 10, pp. 897–912.

Fishkova L.M. *Nochoye izlucheniye verkhei atmosfery Zemli* [Nighttime airglow of the mid-latitude Earth upper atmosphere]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1983, 271 p. (In Russian).

Fishkova L.M., Martsvaladze N.M., Shefov N.N. Seasonal variations in the 557.7 nm atomic oxygen emission dependence on solar activity and long-term trend. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2001, vol. 41, no. 4, pp. 557–562. (In Russian).

Fukuyama K. Airglow variations and dynamics in the lower thermosphere and upper mesosphere II. Seasonal and long-term variations. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1977, vol. 39, no. 1, pp. 1–14.

Givishvili G.V., Leshchenko L.N., Lysenko E.V., Perov S.P., Semenova A.I., Sergeyenko N.P., Fishkova L.M., Shefov N.N. Long-term trends of some characteristics of the Earth atmosphere. Measurement results. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics]. 1996, vol. 32, no. 3, pp. 329–339. (In Russian).

Korobeinikova M.L., Nasyrov G.A. Structural features of the λ 6300 Å emission. *Geofizichesky Byulleten'* [Geophysical Bulletin]. Moscow, Nauka Publ., 1974, no. 27, pp. 35–39. (In Russian).

Lord Rayleigh, Jones S.H. The light of the night sky: analysis of the intensity variations at three stations. *Proc. Roy. Soc.* 1935, vol. 151, no. A872, pp. 22–55.

Mikhalev A.V. Features of the [OI] 557.7 nm atmospheric emission variation. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2017, vol. 30, no. 4, pp. 296–300. (In Russian).

Mikhalev A.V., Beletsky A.B., Kostyleva N.V., Chernigovskaya M.A. Midlatitude airglow at the south of East Siberia during strong geomagnetic storms on October 29–31 and November 20–21, 2003. *Kosmicheskie issledovaniya* [Cosmic Res.]. 2004, vol. 42, no. 6, pp. 616–621. (In Russian).

Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Kostyleva N.V., Stoeva P. Manifestation of solar activity in the 557.7 nm and 630 nm atmospheric emission variations in solar cycle 23. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2008, vol. 21, no. 5, pp. 425–431. (In Russian).

Shefov N.N., Semenov A.I., Khomich V.Yu. Upper Atmosphere Airglow as an Indicator of Its Structure and Dynamics. Moscow, GEOS Publ., 2006a, 741 p. (In Russian).

Shefov N.N., Semenov A.I., Yurchenko O.T. Empirical model for variations in the 630 nm atomic oxygen emission. 1. Intensity. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2006b, vol. 46, no. 2, pp. 250–260. (In Russian).

Toroshelidze T.I. *Analiz problem aeronomii po izlucheniye verkhei atmosfery* [Analys of Aeronomy Problems by the Upper Atmosphere Airglow]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1991, 216 p. (In Russian).

Truttse Yu.L., Belyavskiy V.D. 6300 Å red oxygen emission and upper atmosphere density. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1975, vol. 15, no. 1, pp. 101–104. (In Russian).

URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr> (accessed March 15, 2018).

URL: <http://spaceweathernews.com> (accessed March 15, 2018).

Как цитировать эту статью

Михалев А.В. Сезонные и межгодовые вариации атмосферной эмиссии [OI] 630.0 нм по данным наблюдений в регионе Восточной Сибири в 2011–2017 гг. 2018. *Солнечно-земная физика*. Т. 4, № 2. С. 96–101. DOI: [10.12737/szf-42201809](https://doi.org/10.12737/szf-42201809).