

**ПРОЯВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ  
В ВАРИАЦИЯХ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИЙ НОЧНОГО НЕБА  
557.7 И 630.0 нм В 24-м СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ**

**MANIFESTATION OF SOLAR ACTIVITY AND DYNAMICS  
OF THE ATMOSPHERE IN VARIATIONS OF 577.7 AND 630.0 nm ATMOSPHERIC  
EMISSIONS IN SOLAR CYCLE 24**

**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.** В работе выполнен анализ вариаций интенсивности эмиссий атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630 нм в 2011–2019 гг. Использовались данные наблюдений, полученные в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Интенсивности эмиссий сопоставлялись с атмосферными, солнечными и геофизическими параметрами. Получены высокие коэффициенты корреляции между среднемесячными и среднегодовыми значениями интенсивности эмиссии 630.0 нм и индексов солнечной активности  $F_{10.7}$ , что указывает на определяющую роль солнечной активности в вариациях этой эмиссии в анализируемый период. В вариациях эмиссии 557.7 нм в большей степени проявляется корреляция с квазидвухлетними колебаниями зонального ветра в стратосфере (индекс  $QBO.U30$ ). Обсуждаются причины слабой зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм от солнечной активности в текущем 24-м солнечном цикле.

**Ключевые слова:** верхняя атмосфера, эмиссии 557.7 и 630.0 нм, солнечная активность.

**Abstract.** In the paper, variations of the night emission intensities in the 557.7 and 630 nm atomic oxygen lines [OI] in 2011–2019 have been analyzed. The analysis is based on data from the ISTP SB RAS Geophysical Observatory. The emission intensities are compared with atmospheric, solar, and geophysical parameters. High correlation coefficients between monthly average and annual average 630.0 nm emission intensities and solar activity indices  $F_{10.7}$  have been obtained. This suggests a key role of solar activity in variations of this emission in the period of interest. Variations of the 557.7 nm emission demonstrate to a greater extent the correlations of the stratospheric zonal wind ( $QBO.U30$  index) with quasi-biennial oscillations. The causes of the weak dependence of the 557.7 nm emission intensity on solar activity in solar cycle 24 are discussed.

**Keywords:** upper atmosphere, 557.7 and 630.0 nm emissions, solar activity.

**ВВЕДЕНИЕ**

Первые исследования межгодовых и многолетних вариаций среднеширотных эмиссий ночного неба относятся к 20–30-м гг. XX в. [Lord Rayleigh, Spencer Jones, 1935]. Наиболее полные данные о многолетних вариациях эмиссий верхней атмосферы, охватывающие по времени около шести солнечных циклов (18–23-й солнечные циклы), получены во второй половине XX — начале XXI в. (см., например, [Fukuяama, 1977]). В настоящее время можно считать установленным фактом, что многолетние вариации интенсивностей эмиссий ночного неба в линиях атомарного кислорода 557.7 и 630 нм (высоты высвечивания 85–115 и 180–250 км соответственно) зависят от уровня солнечной активности.

Зависимость интенсивности эмиссий 557.7 и 630 нм от солнечной активности надежно выделяется и в высоких широтах (см., например, результаты многолетних наблюдений на меридиане Якутска [Иевенко и др., 2011, 2019]). При этом следует отметить, что степень проявления эффектов солнечной

активности в указанных эмиссиях в разных солнечных циклах может быть различной [Гивишвили и др., 1996; Михалев, Медведева, 2009].

На область высот высвечивания эмиссии 557.7 нм оказывает влияние как динамика нижележащих слоев атмосферы, так и солнечная активность. Идентификация и разделение эффектов, вызванных динамикой нижележащей атмосферы и солнечной активностью, являются трудными и, как нам представляется, пока не решенными задачами. Вероятно, по этой причине результаты для разных станций и периодов наблюдений показывают различную степень зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня солнечной активности: от очень высокой [Fukuяama, 1977] до умеренной [Фишкова и др., 2000] и слабой — или даже говорят об ее отсутствии [Midya et al., 2002].

Эмиссия 630.0 нм является более чувствительной к влиянию солнечной активности вследствие, во-первых, большей высоты ее высвечивания (F-область ионосферы) и, во-вторых, механизмов формирования. В средних широтах эта эмиссия возбуждается

в результате процессов диссоциативной рекомбинации, фотодиссоциации и столкновений с фотоэлектронами. Соотношение вкладов этих механизмов в общую интенсивность эмиссии 630 нм зависит от широты, долготы, местного времени и сезона года [Шефов и др., 2006], поэтому зависимость интенсивности эмиссии 630.0 нм от уровня солнечной активности может носить сложный характер и иметь свои особенности в различных широтно-долготных зонах.

В настоящей работе на основе экспериментальных данных, полученных в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) в 2011–2019 гг., проведен предварительный анализ вариаций интенсивностей эмиссий ночного неба в линиях атомарного кислорода 557.7 и 630.0 нм в зависимости от солнечной активности в 24-м солнечном цикле для средних широт Азиатского континента.

## АППАРАТУРА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

В работе использованы данные наблюдений эмиссий атомарного кислорода 577.7 и 630.0 нм, полученные в ГФО ИСЗФ СО РАН с помощью патрульного спектрометра САТИ-1М, основным назначением которого является исследование вариаций интенсивностей основных эмиссий излучения ночного неба (OI 557.7 и 630.0 нм, NaI 589.0–589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы. 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 относительные интенсивности эмиссий приводились к абсолютным зенитным значениям (подробнее см. в работе [Михалев, 2018]).

Известно, что интенсивность эмиссии 630.0 нм в течение ночи падает от ~200–300 Рл в период вечерних сумерек до ~30–50 Рл около полуночи, затем меняется незначительно до момента, когда начинаются местные утренние сумерки, либо до момента предсумеречного усиления, связанного с началом сумерек в магнитно-сопряженной ионосфере [Фишкова, 1983]. Это обусловлено наличием нескольких механизмов возбуждения эмиссии 630.0 нм, вклад которых, в зависимости от времени суток и гелиогеофизических условий, может быть различным [Торошелидзе, 1991]. В связи с этим в настоящей работе вариации эмиссии 630 нм анализировались по окологлобульным значениям (23–01 LT). Для анализа вариаций эмиссии 557.7 нм использовались средние ночные значения.

В работе используются данные за период с сентября 2011 г. по декабрь 2019 г., охватывающий фазы роста, максимума и спада 24-го солнечного цикла. Наблюдения в 2011 г. проводились в ночное время в течение одной-двух недель, близких к новолунию, с апреля 2012 г. — ежедневно в автоматическом режиме. Методика выделения спектральных линий в патрульном спектрометре САТИ-1М предусмат-

ривает учет изменяющегося фонового излучения вблизи исследуемой спектральной линии. В связи с этим для анализа использовались данные наблюдений, полученные в ясные и относительно ясные ночи в основном в безлунные интервалы времени. Из рассмотрения исключались ночи в периоды больших геомагнитных бурь.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Эмиссия 630.0 нм

На рис. 1 представлены вариации среднемесячных значений индекса  $F10.7$ , характеризующего поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см, по которому оценивался уровень солнечной активности, индекса геомагнитной активности  $A_p$  и интенсивности эмиссии атомарного кислорода в линии 630 нм  $I_{630}$ . Для сглаживания краткосрочных колебаний и выделения основных тенденций или циклов использовались скользящие средние.

Для данных, представленных на рис. 1, коэффициенты корреляции составили: между  $F10.7$  и  $I_{630}$  ~0.81 ( $N=87$ ), между  $A_p$  и  $I_{630}$  ~0.195 ( $N=87$ );  $N$  — количество значений в выборках. Здесь и далее используются одномерные коэффициенты корреляции с доверительными вероятностями 0.95 и одномерная линейная регрессия. На рис. 2 представлены вариации среднегодовых значений интенсивности эмиссии 630.0 нм и индекса  $F10.7$ , а также зависимость среднегодовых значений  $I_{630}$  от уровня солнечной активности (по индексу  $F10.7$ ) в 2012–2019 гг. Рассматриваемый период охватывает фазы роста, максимума и спада 24-го солнечного цикла.

Для данных, представленных на рис. 2, коэффициент корреляции между  $F10.7$  и  $I_{630}$  составил ~0.85. Для годовых значений  $F10.7$  и  $I_{630}$  коэффициент детерминации составил ~0.72, что указывает на определяющую роль солнечной активности в межгодовых вариациях этой эмиссии в 24-м солнечном цикле.

В работе [Шефов и др., 2006] на основе данных о многолетних вариациях среднегодовых интенсивностей эмиссии 630 нм в 1958–1992 гг. (19–22-й сол-

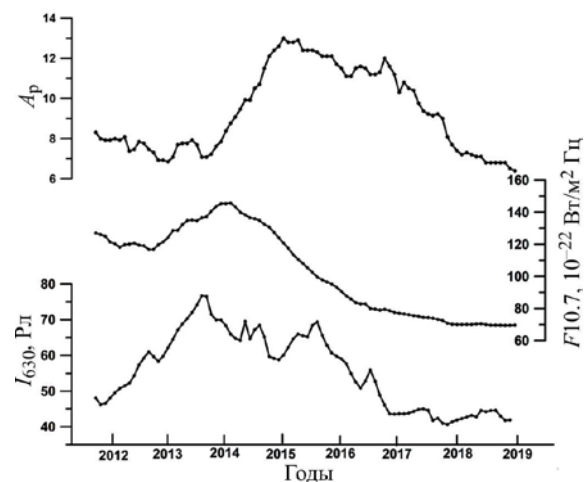


Рис. 1. Вариации среднемесячных значений интенсивности эмиссии 630.0 нм ( $I_{630}$ , нижняя кривая) и индексов  $F10.7$  (средняя кривая) и  $A_p$  (верхняя кривая). Скользящие средние с усреднением по 13 месяцам

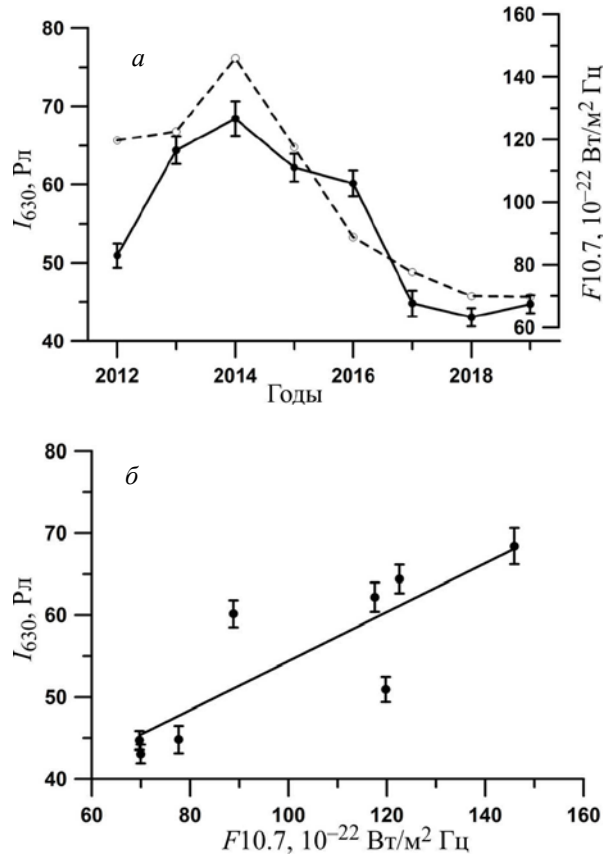


Рис. 2. Вариации среднегодовых значений (а): темные кружки, сплошная линия — интенсивности эмиссии 630.0 нм; светлые кружки, штриховая линия — индекса F10.7. Зависимость среднегодовых значений интенсивности эмиссии 630.0 нм от индекса F10.7 (б). Для  $I_{630}$  указаны стандартные ошибки среднего

нечные циклы) [Гивишвили и др., 1996] была получена корреляционная зависимость для полуночных интенсивностей (эмпирическая модель)

$$\Delta I_F = (0.0060 \pm 0.0015)(F_{10.7} - 130), \quad (1)$$

где  $\Delta I_F$  — изменение интенсивности эмиссии 630 нм относительно среднего значения в зависимости от уровня солнечной активности по индексу F10.7 [в  $10^{-22}$  Вт/м<sup>2</sup> Гц].

Для сопоставления зависимости  $I_{630}$  от F10.7 по эмпирической модели, представленной выражением (1), и данных  $I_{630}$ , приведенных в настоящей работе, удобнее использовать нормированные на средние значения  $I_{630}$ . Это позволяет исключить тренд и зависимость интенсивности эмиссии от широты, долготы и других параметров [Шефов и др., 2006]. В этом случае использование среднегодовых значений F10.7 для 24-го солнечного цикла в (1) дает следующую зависимость интенсивности эмиссии 630.0 нм от уровня солнечной активности по индексу F10.7:

$$I_{630} = (0.0060 \pm 0.0015)F_{10.7} + 0.22. \quad (2)$$

Выражение (2) получается простым преобразованием (1):  $I_{630} = 1 + \Delta I_F$ .

Для реально наблюдаемых интенсивностей эмиссии 630.0 нм в 24-м солнечном цикле получена следующая зависимость от индекса F10.7:

$$I_{630} = (0.005 \pm 0.0038)F_{10.7} + 0.45. \quad (3)$$

Выражение (3) получено по данным  $I_{630}$ , представленным на рис. 2, нормированным на среднее за анализируемый период значение  $I_{630} \sim 54.8$  Рл.

На рис. 3 представлены зависимости от индекса F10.7 относительных значений интенсивности эмиссии 630.0 нм, полученных из выражений (2) (светлые кружки, штриховая линия) и (3) (темные кружки, сплошная линия). Для большинства наблюдаемых в 24-м солнечном цикле среднегодовых значений  $I_{630}$  (рис. 3) отмечается достаточно хорошее согласие с эмпирической моделью [Шефов и др., 2006], что, вероятно, указывает на сохранение основных механизмов, формирующих связь эмиссии 630.0 нм с солнечной активностью, на протяжении последних нескольких циклов солнечной активности. Наибольшие отклонения (причина которых пока не ясна) наблюдаемых значений  $I_{630}$  от полученных по эмпирической модели отмечаются только для двух лет (2012 и 2016 гг.). Возможно, это связано с влиянием глобальной циркуляции нижележащей атмосферы, рассмотренным более подробно применительно к эмиссии 557.7 нм. В пользу этого говорит относительно высокий статистически значимый коэффициент корреляции  $\sim 0.41$  между скользящими средними месячными (с усреднением по 13 месяцам) значениями  $I_{630}$  и индексом квазидвухлетних колебаний экваториального зонального ветра в стратосфере. Будет уместно заметить, что вариации интенсивности эмиссии 630.0 нм с периодом два-три года отмечались нами и в предыдущем солнечном цикле [Михалев и др., 2008], однако тогда они, по нашему мнению, были связаны с циклическими аperiodическими вариациями солнечной активности [Шефов и др., 2006].

Отношение между среднегодовыми значениями интенсивности эмиссии 630 нм в максимуме и минимуме 24-го солнечного цикла ( $I_{2014}/I_{2018}$ ) составляет  $\sim 1.6$ , что несколько ниже аналогичных значений для среднеширотных станций в предыдущих солнечных циклах:  $\sim 2$  — Верхний Прованс [Barbier, 1965],  $\sim 2.5$  — Звенигород [Трутце, Белявская, 1975],  $\sim 2.3$  —

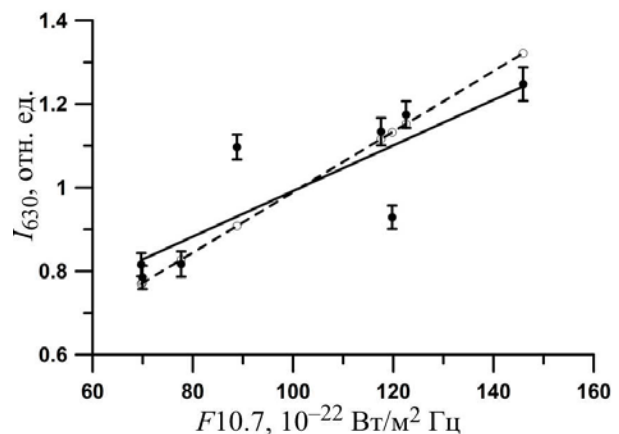


Рис. 3. Зависимости среднегодовых значений интенсивности эмиссии 630.0 нм от индекса F10.7 для 24-го солнечного цикла, полученные согласно эмпирической модели [Шефов и др., 2006] (выражение (2), светлые кружки, штриховая линия) и по данным наблюдений в ГФО (выражение (3), темные кружки, сплошная линия). Для значений  $I_{630}$ , полученных по данным ГФО, указаны стандартные ошибки среднего



Иркутск [Михалев и др., 2008]. Однако полученное значение достаточно хорошо совпадает с величиной  $\sim 1.7$ , определенной по формуле (1) эмпирической модели [Шефов и др., 2006] с учетом текущих среднегодовых значений индекса  $F10.7$  за 2012–2019 гг. Вероятно, полученное низкое значение вариаций среднегодовых интенсивностей эмиссии 630 нм отражает такую особенность 24-го солнечного цикла, как незначительные вариации уровня солнечной активности от максимума к минимуму по сравнению с предыдущими циклами.

### Эмиссия 557.7 нм

Во многих работах, посвященных исследованиям зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм ( $I_{557.7}$ ) от солнечной активности, указывается на положительную корреляцию  $I_{557.7}$  с индексом  $F10.7$  [Fukuyama, 1977; Гивишвили и др., 1996; Фишкова и др., 2000]. В отдельных работах для некоторых интервалов наблюдений и солнечных циклов отмечена отрицательная или переменная корреляция этих параметров [Midya et al., 2002; Михалев и др., 2008; Mikhalev et al., 2008; Михалев, Медведева, 2009]. Как уже упоминалось во введении, на поведение эмиссии 557.7 нм может оказывать влияние нижележащая атмосфера, в частности, квазидвухлетние колебания экваториального зонального ветра в стратосфере (Quasi-Biennial Oscillation, QBO) [Fukuyama, 1977; Uma Das et al., 2011]. На возможное влияние глобальной циркуляции атмосферы на  $I_{557.7}$  во время явлений Эль-Ниньо/Ла-Ниньо указывалось в работе [Михалев, 2017].

На рис. 4 представлены вариации среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм, индексов  $F10.7$  и квазидвухлетних колебаний зонального ветра в стратосфере  $QBO.U30$  [<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index>], а также индекса  $ONI$ , относящегося к явлению Эль-Ниньо/Ла-Ниньо [[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso-stuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso-stuff/ONI_v5.php)]. По данным, представленным на рис. 4, статистически значимой корреляции между  $I_{557.7}$  и  $F10.7$ ,  $I_{557.7}$  и  $ONI$  получено не было. Коэффициенты корреляции между  $QBO.U30$  и  $I_{557.7}$  составили  $\sim 0.26$  ( $N=88$ , весь период наблюдений) и  $\sim 0.6$  ( $N=78$ , 2013–2019 гг.). Указанные коэффициенты корреляции являются статистически значимыми.

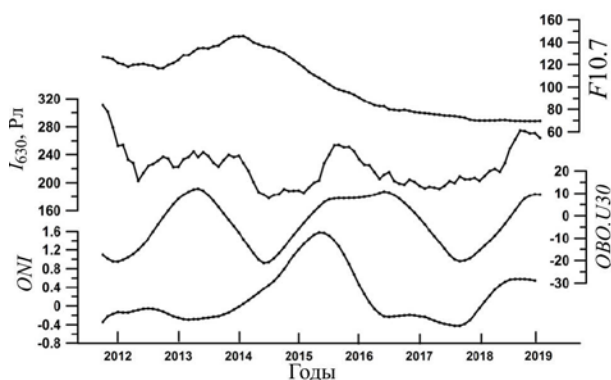


Рис. 4. Вариации среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм и индексов  $F10.7$ ,  $QBO.U30$  и  $ONI$ . Скользящие средние с усреднением по 13 месяцам

Анализ рис. 4 и оценка коэффициентов корреляций между анализируемыми величинами показывают, что наибольшее влияние на вариации эмиссии 557.7 нм в 24-м солнечном цикле могли оказывать особенности динамики и глобальной циркуляции атмосферы, связанные, в частности, с квазидвухлетними колебаниями зонального ветра в стратосфере. Однако не следует исключать и влияние явления Эль-Ниньо/Ла-Ниньо. Это предположение подтверждается работой [Sun et al., 2018], в которой показывается долгосрочное влияние Эль-Ниньо/Ла-Ниньо на приливные квазидвухлетние колебания в мезосфере и нижней термосфере. В связи с этим требуются дополнительные исследования возможных проявлений Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в вариациях характеристик эмиссий верхней атмосферы.

О возможном влиянии динамики нижележащей атмосферы, включая стратосферу и тропосферу, на вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм говорится в ряде работ (см., например, [Fukuyama, 1977; Wang et al., 2002]). Следует отметить, что глобальное распределение  $I_{557.7}$  имеет выраженные широтно-долготные структуры и зависимости. Долготная зависимость  $I_{557.7}$  обнаружена относительно недавно и связывается с квазистационарными планетарными волнами [Wang et al., 2002], проникновение которых в верхнюю атмосферу обуславливается особенностями циркуляции атмосферы. В этом случае можно предположить, что изменения широтно-долготных структур эмиссии 557.7 нм, вызванные особенностями глобальной циркуляции, могут приводить к изменениям  $I_{557.7}$  в конкретных широтно-долготных зонах. Интересными являются результаты работы [Шефов, 1985], в которой применительно к эмиссиям верхней атмосферы проведена сравнительная оценка средней планетарной энергии Солнца, поглощенной на высоте  $\sim 100$  км, и энергии орографических возмущений, генерируемых в тропосфере в виде внутренних гравитационных волн и распространяющихся в верхнюю атмосферу. Согласно [Шефов, 1985] эти величины оказываются сопоставимыми, а следовательно, влияние циркуляции нижней атмосферы может быть сопоставимо с влиянием солнечной активности.

Обычно влияние солнечной активности на вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм на больших временных масштабах (около года и более) оценивается в пределах 20–30 % [Фишкова, 1983; Uma Das et al., 2011]. Коэффициент корреляции между среднегодовыми значениями  $I_{557.7}$  и  $F10.7$  по многолетним данным (1957–1992 гг.) в работе [Фишкова и др., 2001] является положительным и составляет  $\sim 0.36 \pm 0.16$ . В пределах солнечного цикла для среднегодовых значений  $I_{557.7}$  эти вариации обычно являются доминирующими. В настоящей работе в 24-м солнечном цикле значимого влияния солнечной активности на вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм выявлено не было, а доминирующие вариации  $I_{557.7}$  в большей степени коррелируют с индексами  $QBO.U30$  и  $ONI$ . В связи с этим следует упомянуть работу [Midya et al., 2002], в которой для 1984–1985 гг. (минимум солнечной активности между 21-м и 22-м циклами) отмечалась отрицательная корреляция между среднемесячными значениями  $I_{557.7}$

и  $F10.7$  (коэффициенты корреляции  $-0.46$  и  $-0.15$  соответственно не являются статистически значимыми), а для 1987 г. — положительная корреляция. Интервалы времени с отрицательной и положительной корреляциями между среднемесячными значениями  $I_{557.7}$  и индексов  $F10.7$  были получены и нами по данным наблюдений в ГФО в 23-м солнечном цикле [Михалев и др., 2008].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для 24-го солнечного цикла получены относительно высокие коэффициенты корреляции между среднемесячными и среднегодовыми значениями интенсивности эмиссии  $630.0$  нм и индекса солнечной активности  $F10.7$  ( $\sim 0.77$  и  $\sim 0.81$  соответственно). Это показывает определяющую роль солнечной активности в вариациях этой эмиссии в 24-м солнечном цикле на рассматриваемых временных масштабах. Полученная корреляционная зависимость интенсивности эмиссии  $630.0$  нм от индекса  $F10.7$  достаточно хорошо согласуется с эмпирической моделью [Шефов и др., 2006], построенной по данным наблюдений в 19–22-м солнечных циклах (1958–1992 гг.), что может указывать на сохранение основных физических механизмов, формирующих связь эмиссии  $630.0$  нм с солнечной активностью, на протяжении последних нескольких циклов солнечной активности. Отмечается низкое отношение экстремальных среднегодовых значений эмиссии  $630$  нм, соответствующих максимуму и минимуму солнечной активности, что обусловлено низким уровнем солнечной активности в 24-м цикле.

Для интенсивности эмиссии  $557.7$  нм статистически значимой корреляции между  $F10.7$  и  $I_{557.7}$  на анализируемом временном интервале не обнаружено. Вариации эмиссии  $557.7$  нм в большей степени коррелируют с квазидвухлетними колебаниями зонального ветра в стратосфере (индекс  $QBO.U30$ ). Вероятно, это обусловлено сочетанием более низкого высотного расположения эмиссионного слоя  $557.7$  нм (по отношению к эмиссионному слою  $630.0$  нм) и аномально низким уровнем солнечной активности в текущем 24-м солнечном цикле, что могло привести к преобладанию эффектов воздействия нижележащей атмосферы над эффектами солнечной активности.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16. В работе использовались данные оптического комплекса, входящего в состав ЦКП «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056>, <http://ckp-angara.iszf.irk.ru>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гивишвили Г.В., Лещенко Л.Н., Лысенко Е.В. и др. Многолетние тренды некоторых характеристик земной атмосферы. Результаты измерений // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 32, № 3. С. 329–339.

Иевенко И.Б., Алексеев В.Н., Парников С.Г. Влияние солнечного ультрафиолета на возбуждение эмиссии  $630$  нм в свечении ночного неба // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 17. С. 161–165.

Иевенко И.Б., Парников С.Г., Алексеев В.Н. Вариации интенсивности эмиссии ночного неба  $557.7$  нм в течение

23-го цикла солнечной активности // Геомагнетизм и аэронаука. 2019. Т. 59, № 6. С. 786–790. DOI: [10.1134/S0016794019050055](https://doi.org/10.1134/S0016794019050055).

Михалев А.В. Атмосферная эмиссия [OI]  $557.7$  нм в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23-м и 24-м солнечных циклах // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 986–989. DOI: [10.15372/AOO20171112](https://doi.org/10.15372/AOO20171112).

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

Михалев А.В., Медведева И.В. Солнечные циклы в вариациях атмосферной эмиссии  $557.7$  нм // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 09. С. 896–900.

Михалев А.В., Медведева И.В., Костылева Н.В., Стоева П. Проявление солнечной активности в вариациях атмосферных эмиссий  $557.7$  и  $630$  нм в 23 солнечном цикле // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 5. С. 425–431.

Торшелидзе Т.И. Анализ проблем аэронауки по излучению верхней атмосферы. Тбилиси: Мецниереба, 1991. 216 с.

Трутце Ю.Л., Белявская В.Д. Красная кислородная эмиссия  $6300\text{Å}$  и плотность верхней атмосферы // Геомагнетизм и аэронаука. 1975. Т. XV, № 1. С. 101–104.

Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 271 с.

Фишкова Л.М., Марцвалдзе Н.М., Шефов Н.Н. Закономерности вариаций эмиссии атомарного кислорода  $557.7$  нм // Геомагнетизм и аэронаука. 2000. Т. 40, № 6. С. 107–111.

Фишкова Л.М., Марцвалдзе Н.М., Шефов Н.Н. Сезонные вариации зависимости эмиссии атомарного кислорода  $557.7$  нм от солнечной активности и многолетнего тренда // Геомагнетизм и аэронаука. 2001. Т. 41, № 4. С. 557–562.

Шефов Н.Н. Солнечная активность и приземная циркуляция как соизмеримые источники вариаций теплового режима нижней термосферы // Геомагнетизм и аэронаука. 1985. Т. 25, № 5. С. 848–849.

Шефов Н.Н., Семенов А.И., Юрченко О.Т. Эмпирическая модель вариаций эмиссии атомарного кислорода  $630$  нм. 1. Интенсивность // Геомагнетизм и аэронаука. 2006. Т. 46, № 2. С. 250–260.

Barbier D. Variations de l'intensite des principales radiations de la luminescence atmospherique nocturne avec le cycle solaire // Ann. Geophys. 1965. V. 21. P. 265–274.

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.

Lord Rayleigh, Spencer Jones 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.

Midya S.K., Manna A., Tarafdar G. Variation of seasonal values of  $5893\text{Å}$  and  $5577\text{Å}$  night airglow intensities and ozone concentration at Calcutta with solar quantities // Czechoslovak Journal of Physics. 2002. V. 52, N 7. P. 883–891.

Mikhalev A.V., Stoeva P., Medvedeva I.V., et al. Behavior of the atomic oxygen  $557.7$  nm atmospheric emission in the current solar cycle 23 // Adv. Space Res. 2008. V. 41, iss. 4. P. 655–659. DOI: [10.1016/j.asr.2007.07.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.017).

Sun Y.Y., Liu H., Miyoshi Y., et al. El Niño–Southern Oscillation effect on quasi-biennial oscillations of temperature diurnal tides in the mesosphere and lower thermosphere // Earth, Planets and Space. 2018. V. 70, 85. 10 p. DOI: [10.1186/s40623-018-0832-6](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0832-6).

Uma Das, Pan C.J., Sinha H.S.S. Effects of solar cycle variations on oxygen green line emission rate over Kiso, Japan //

Earth, Planets and Space. 2011. V. 63. P. 941–948. DOI: [10.5047/eps.2011.04.006](https://doi.org/10.5047/eps.2011.04.006).

Wang D.Y., Ward W.E., Solheim B.H., Shepherd G.G. Longitudinal variations of green line emission rates emission rates observed by WINDII at altitudes 90–120 km during 1991–1996 // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2002. V. 64, iss. 8–11. P. 1273–1286. DOI: [10.1016/S1364-6826\(02\)00041-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00041-X).

URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr> (дата обращения 10 мая 2020 г.).

URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index20> (дата обращения 10 мая 2020 г.).

URL: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) (дата обращения 10 мая 2020 г.).

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (дата обращения 10 мая 2020 г.).

URL: <http://ckp-angara.iszf.irk.ru> (дата обращения 10 мая 2020 г.).

## REFERENCES

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).

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

Fishkova L.M., Martsvladze N.M., Shefov N.N. Patterns of variations in the emission of atomic oxygen 557.7 nm. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2000, vol. 40, no. 6, pp. 107–111. (In Russian).

Fishkova L.M., Martsvladze 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., Sergeenko 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).

Ivenko I.B., Alekseev V.N., Parnikov S.G. Effect of solar ultraviolet radiation on excitation of 630 nm nightglow emissions. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2011, iss. 17, pp. 161–165. (In Russian).

Ivenko I.B., Parnikov S.G., Alekseev V.N. Variations in the intensity of night sky emission of 557.7 nm during the 23rd solar activity cycle. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2019, vol. 46, no. 2, pp. 786–790. (In Russian). DOI: [10.1134/S0016794019050055](https://doi.org/10.1134/S0016794019050055).

Lord Rayleigh, Spencer Jones 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.

Midya S.K., Manna A., Tarafdar G. Variation of seasonal values of 5893 Å and 5577 Å night airglow intensities and ozone concentration at Calcutta with solar quantities. *Czechoslovak Journal of Physics.* 2002, vol. 52, no. 7, pp. 883–891.

Mikhalev A.V. The [OI] 557.7-nm airglow emission during El Niño/La Niña extreme events in solar cycles 23–24. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2017, vol. 30, no. 11, pp. 986–989. (In Russian). DOI: [10.15372/AOO20171112](https://doi.org/10.15372/AOO20171112).

Mikhalev A.V. Seasonal and interannual variations in the [OI] 630 nm atmospheric emission as derived from observations over Eastern Siberia in 2011–2017. *Solar-Terr. Phys.* 2018, vol. 4, iss. 2, pp. 58–62. DOI: [10.12737/stp-42201809](https://doi.org/10.12737/stp-42201809).

Mikhalev A.V., Medvedeva I.V. Solar cycles in variations of the 557.7 nm emission. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics]. 2009, vol. 22, no. 09, pp. 896–900. (In Russian).

Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Kostyleva N.V., Stoeva P. Manifestation of solar activity in variations of atmospheric emissions at 557.7 and 630 nm in the 23rd solar cycle. *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2008, vol. 21, no. 5, pp. 369–374.

Mikhalev A.V., Stoeva P., Medvedeva I.V., Benev B., Medvedev A.V. Behavior of the atomic oxygen 557.7 nm atmospheric emission in the current solar cycle 23. *Adv. Space Res.* 2008, vol. 41, no. 4, pp. 655–659. DOI: [10.1016/j.asr.2007.07.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.017).

Shefov N.N. Solar activity and surface circulation as comparable sources of variations in the thermal regime of the lower thermosphere. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 1985, vol. 25, no. 5, pp. 848–849. (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]. 2006, vol. 46, no. 2, pp. 250–260. (In Russian).

Sun Y.Y., Liu H., Miyoshi Y., Liu L., Chang L.C. El Niño–Southern Oscillation effect on quasi-biennial oscillations of temperature diurnal tides in the mesosphere and lower thermosphere. *Earth, Planets and Space.* 2018, vol. 70, 85, 10 p. DOI: [10.1186/s40623-018-0832-6](https://doi.org/10.1186/s40623-018-0832-6).

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).

Uma Das, Pan C.J., Sinha H.S.S. Effects of solar cycle variations on oxygen green line emission rate over Kiso, Japan. *Earth, Planets and Space.* 2011, vol. 63, pp. 941–948. DOI: [10.5047/eps.2011.04.006](https://doi.org/10.5047/eps.2011.04.006).

Wang D.Y., Ward W.E., Solheim B.H., Shepherd G.G. Longitudinal variations of green line emission rates emission rates observed by WINDII at altitudes 90–120 km during 1991–1996. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2002, vol. 64, iss. 8–11, pp. 1273–1286. DOI: [10.1016/S1364-6826\(02\)00041-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00041-X).

URL: <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr> (accessed May 10, 2020).

URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/qbo.u30.index> (accessed May 10, 2020)

URL: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) (accessed May 10, 2020)

URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056> (accessed May 10, 2020)

URL: <http://ckp-angara.iszf.irk.ru> (accessed May 10, 2020)

### Как цитировать эту статью

Михалев А.В. Проявление солнечной активности и динамики атмосферы в вариациях интенсивности эмиссий ночного неба 557.7 и 630.0 нм в 24-м солнечном цикле *Солнечно-земная физика.* 2020. Т. 6, № 3. С. 99–104. DOI: [10.12737/szf-63202011](https://doi.org/10.12737/szf-63202011).