

Излучение верхней атмосферы Земли и колебания климатической системы «атмосфера–океан»

А.В. Михалев*

Учреждение Российской академии наук Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а, а/я 291

Поступила в редакцию 10.08.2011 г.

Анализируются многолетние вариации излучения верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557,7 нм и колебания системы «атмосфера–океан». Для системы «атмосфера–океан» используются индексы явления Эль-Ниньо–Южное Колебание (ЭНЮК). Выявлено, что когда некоторые индексы ЭНЮК, например индекс ONI (Changes to the Oceanic Niño Index), продолжительное время имеют экстремально низкие значения, отмечается депрессия интенсивности эмиссии 557,7 нм. Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что многолетние и межгодовые вариации интенсивности эмиссии 557,7 нм могут являться следствием совместного влияния солнечной активности и колебаний климатической системы «атмосфера–океан». Рассматриваются возможные механизмы влияния колебаний системы «атмосфера–океан» на излучение верхней атмосферы Земли.

Ключевые слова: излучение атмосферы, эмиссия атомарного кислорода 557,7 нм, Эль-Ниньо–Южное Колебание; airglow, atomic oxygen 557,7 nm emission, El Niño–Southern Oscillation.

Введение

О возможном влиянии динамики нижележащей атмосферы, включая стратосферу и тропосферу, на вариации интенсивности эмиссии 557,7 нм ($I_{557,7}$) неоднократно отмечалось в ряде работ (см., например, [1, 2]). Упоминания о явлении Эль-Ниньо–Южное Колебание (ЭНЮК) в связи с особенностями межгодовых вариаций излучения среднеширотной верхней атмосферы Земли приводятся лишь в отдельных работах. Например, в работе [3] отмечаются аномально низкие значения интенсивностей атмосферных полос молекул гидроксила OH (6–2) и кислорода O₂ (0–1) в период наблюдений в 1997–1998 гг. для Южного полушария. В работе [4] сообщается о нарушении прямой зависимости $I_{557,7}$ от уровня солнечной активности в 1998–2000 гг. для Северного полушария. Отмеченные особенности в вариациях излучения верхней атмосферы совпали с одним из самых сильных проявлений ЭНЮК в 1997–1998 гг. за весь период наблюдения этого явления.

На примере эмиссии 557,7 нм была предпринята попытка исследования многолетних вариаций излучения верхней атмосферы Земли и явления ЭНЮК на более длинных интервалах наблюдений. Основная цель заключалась в выявлении особенностей межгодовых вариаций эмиссии 557,7 нм в различные фазы явления ЭНЮК. Для этого использовались опубликованные данные наблюдений среднеширотных станций (18–23-й солнечные циклы) и данные наблюдений в Геофизической обсерватории (ГО) Института солнечно-земной физики СО РАН (23-й солнечный цикл).

рии (ГО) Института солнечно-земной физики СО РАН (23-й солнечный цикл).

Используемые экспериментальные данные наблюдений

Для анализа были использованы:

– опубликованные данные многолетних наблюдений эмиссии 557,7 нм для среднеширотных станций Северного полушария в 18–22-м солнечных циклах [5] и для среднеширотной станции Южного полушария в 23-м цикле [6];

– данные наблюдений эмиссии 557,7 нм, полученные в ГО ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.) в 1997–2010 гг. (23-й солнечный цикл). Описание аппаратуры и методики наблюдений в ГО ИСЗФ СО РАН можно найти в [4];

– индексы ONI (Changes to the Oceanic Niño Index, http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml) для явления Эль-Ниньо – Южное Колебание;

– данные для потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см ($F_{10,7}$) (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/).

Результаты и обсуждение

Можно найти относительно небольшое количество публикаций, в которых приводятся данные многолетних регулярных наблюдений $I_{557,7}$, которые стали осуществляться начиная с 20–30-х гг. XX в. Например, в работе [7] приводятся данные о $I_{557,7}$ различных среднеширотных станций Северного и Южного полушарий для 1924–1933 и 1948–1962 гг. К этому же периоду (1940–1943 и 1957–1959 гг.)

* Александр Васильевич Михалев (mikhalev@iszf.irk.ru).

относятся данные наблюдений в обсерватории Верхний Прованс [8]. В работе [9] также приводятся данные наблюдений эмиссии 557,7 нм нескольких среднеширотных станций для 1958–1969 гг. Вероятно, в настоящее время можно считать, что наиболее длительные непрерывные наблюдения эмиссии 557,7 нм были проведены в обсерватории Абастумани АН Грузии в 1957–1992 гг. [10]. Эпизодические наблюдения эмиссии 557,7 нм проводились и в другие годы, включая последние десятилетия (см., например, [11]).

В настоящей статье был использован один из самых длинных рядов наблюдений эмиссии 557,7 нм, представленный в работе [5] и охватывающий период с 1948 по 1992 г. Этот ряд является комбинированием данных наблюдений трех обсерваторий: Кактус Пик (36,1° с.ш., 117,8° з.д.) с 1948 по 1952 г., Верхний Прованс (43,9° с.ш., 5,7° в.д.) с 1954 по 1957 г. и Абастумани (41,8° с.ш., 42,8° в.д.) с 1958 по 1992 г. К указанному ряду были добавлены данные наблюдений ГО ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.) с 1997 по 2006 г. В результате был получен ряд многолетних вариаций $I_{557,7}$ для среднеширотных станций Северного полушария, охватывающий период более пяти солнечных циклов.

На рис. 1 приведены многолетние вариации среднегодовых значений интенсивностей эмиссии 557,7 нм, потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (индекс $F_{10,7}$) и индекса ONI с 1948 по 2006 г.

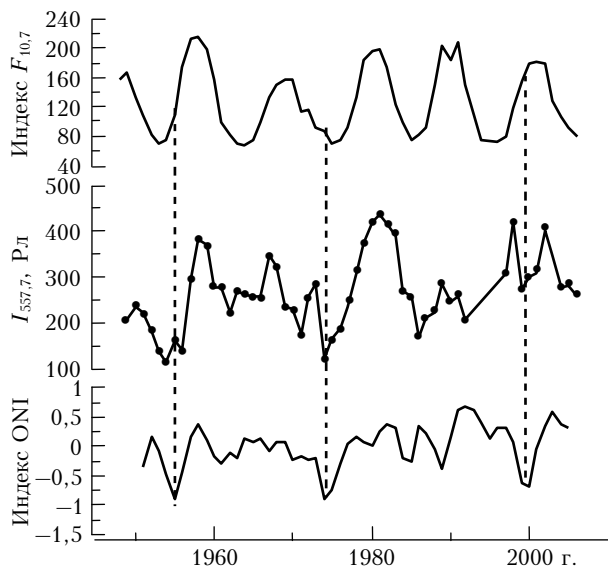


Рис. 1. Многолетние вариации среднегодовых значений потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (индекс $F_{10,7}$), интенсивностей эмиссии 557,7 нм и индекса ONI

Индексы ЭНЮК достаточно часто используют при исследовании межгодовой климатической изменчивости, включая общую циркуляцию атмосферы. Хотя по происхождению термины Эль-Ниньо и Ла-Нинья относятся к аномалиям температуры поверхности океана, в настоящее время в исследованиях ЭНЮК под названием Эль-Ниньо и Ла-Нинья понимают не просто аномалии температуры поверхно-

сти в экваториальном районе Тихого океана, но и соответствующие аномалии циркуляции атмосферы, давления и осадков в данном регионе, т.е. климатические аномалии в системе «океан–атмосфера» (<http://data.oceaninfo.ru/info/index.jsp>). В частности, индекс ONI (Niño 3.4) представляет собой аномалии температуры поверхности океана (°C) в симметричной относительно экватора области в центре Тихого океана (5° с.ш.–5° ю.ш. и 120–170° з.д.).

Анализ рис. 1 позволяет выделить некоторую особенность. Когда индекс ONI продолжительное время имеет экстремально низкие значения (холодная фаза явления – Ла-Нинья), отмечается депрессия $I_{557,7}$. В случаях, когда эти эпизоды приходятся на годы, близкие к минимуму солнечной активности (1954–1956 и 1973–1975 гг.), отмечались аномально низкие среднегодовые значения $I_{557,7}$. Для максимума солнечной активности в 2000–2002 гг. в 23-м солнечном цикле и низких значений индекса ONI также отмечалась депрессия $I_{557,7}$ в 1999–2001 гг., приводящая к нарушению прямой зависимости $I_{557,7}$ от уровня солнечной активности.

Интересным представляется сопоставление данных одновременных наблюдений среднеширотных станций для Северного и Южного полушарий. На рис. 2 для 23-го солнечного цикла представлены среднегодовые значения $I_{557,7}$, по данным ГО ИСЗФ СО РАН, и отклонения минимальных значений $I_{557,7}$ в годовом ходе эмиссии 557,7 нм от среднего за период 1995–2005 гг., по данным работы [6], для ст. Аделаида (Австралия, 35° ю.ш., 135° в.д.).

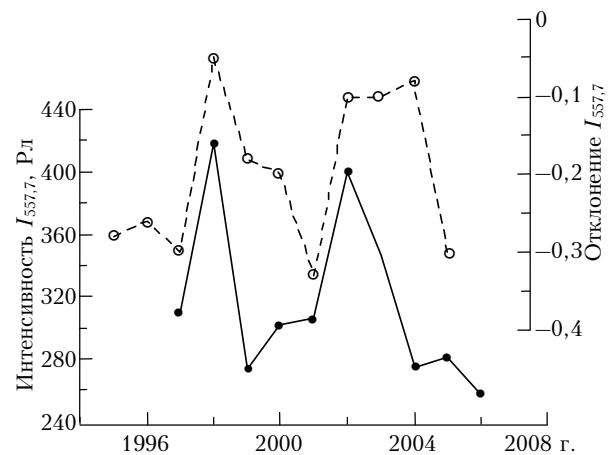


Рис. 2. Вариации межгодовых значений $I_{557,7}$ по данным ГО ИСЗФ СО РАН (сплошная кривая) и отклонения минимальных значений $I_{557,7}$ в годовом ходе эмиссии 557,7 нм от среднего за 1995–2005 гг. по данным [6] (штриховая) в 23-м солнечном цикле

Аналогичный характер межгодовых вариаций отклонений $I_{557,7}$, по данным работы [6], наблюдается при использовании среднегодовых значений отклонения $I_{557,7}$ от среднего за 1995–2005 гг. Для обеих станций можно отметить депрессию $I_{557,7}$ в 1999–2001 гг., что по времени соответствует холодной фазе явления ЭНЮК.

Для уточнения деталей межгодовых вариаций эмиссии 557,7 нм в 23-м солнечном цикле было

проведено сопоставление среднемесячных значений $I_{557,7}$ (данные наблюдений ГО ИСЗФ СО РАН), индексов солнечной активности ($F_{10,7}$) и индексов ONI (рис. 3).

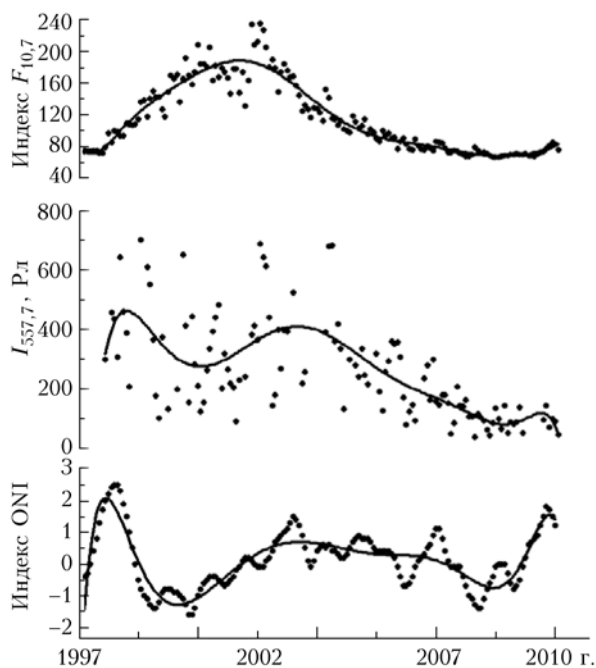


Рис. 3. Вариации среднемесячных значений индекса $F_{10,7}$, интенсивности эмиссии 557,7 нм и индекса ONI в 1997–2010 гг.

Оказалось, что в период с 1998 по 2001 г., когда отмечалось нарушение прямой зависимости интенсивности эмиссии 557,7 нм от уровня солнечной активности [4], коэффициент корреляции между среднемесячными значениями интенсивности эмиссии 557,7 нм и индексом ONI достигал $\sim 0,65$. Этому же периоду соответствует смена типа общей циркуляции атмосферы, полученного для европейской части России, с преобладанием меридиональной циркуляции [http://meteocenter.net/meteolib/_circ.htm].

Среди возможных причин, обуславливающих вариации $I_{557,7}$ на различных временных масштабах, можно отметить полугодовые вариации атмосферной плотности [12, 13] и преобладающих ветров на высотах 85–105 км [14], вариации диссипации приливов и гравитационных волн в контексте глобальной мезосферной циркуляции [15], меридиональный перенос кислорода [16, 17], меридиональную циркуляцию, вертикальные ветры и диффузию [18], реверс зонального ветра [19], вариации температуры мезосферы и нижней термосферы и др.

При этом следует отметить, что глобальное распределение интенсивности эмиссии 557,7 нм имеет выраженные широтно-долготные структуры и зависимости. В широтной зависимости отмечаются существование максимума примерно на 30° с.ш., минимумов на 50° с.ш. и на экваторе, а также рост интенсивности эмиссии к северному полюсу [20]. Вероятно, широтная зависимость определяется суще-

ствованием высотно-широтных особенностей структуры температуры, циркуляции атмосферы (например, наличием циркуляционных ячеек [21]) и других параметров верхней атмосферы. Долготная зависимость интенсивности эмиссии 557,7 нм обнаружена относительно недавно и связывается с существованием квазистационарных планетарных волн [2], проникновение которых в верхнюю атмосферу зависит от условий циркуляции атмосферы. Согласно [20] отношение интенсивностей эмиссии 557,7 нм в максимуме и минимуме широтного распределения может достигать $\sim 1,5$, а изменение интенсивности эмиссии 557,7 нм в долготном распределении ~ 2 [2].

Можно было бы предположить, что изменение локализации широтно-долготных структур в эмиссии 557,7 нм в периоды отдельных фаз ЭНЮК может приводить к изменениям $I_{557,7}$ в конкретных широтно-долготных зонах. Но в таком случае это должно было бы вызывать как увеличение, так и уменьшение $I_{557,7}$ на станциях, расположенных в различных широтно-долготных зонах. Поэтому, вероятно, более предпочтительными представляются механизмы, связанные с изменениями параметров верхней атмосферы на высотах высвечивания эмиссии 557,7 нм (атмосферной плотности, ветров, температур, нисходящих и восходящих потоков и др.) в результате изменения общей циркуляции атмосферы, включая глобальную циркуляцию на высотах тропосферы, стратосферы и мезосферы, или условий возникновения и распространения внутренних гравитационных и планетарных волн в верхнюю атмосферу в результате изменений циркуляционного режима в тропосфере и стратосфере.

В связи с этим интересными являются результаты работы [22], в которой применительно к эмиссиям верхней атмосферы проведена сравнительная оценка средней планетарной энергии Солнца, поглощенной на высоте ~ 100 км, и энергии орографических возмущений, генерируемых в тропосфере в виде внутренних гравитационных волн и распространяющихся в верхнюю атмосферу. По результатам работы [22] эти величины оказываются сопоставимы, и роль циркуляции нижней атмосферы может быть сопоставима с непосредственным влиянием солнечной активности.

В настоящее время не представляется возможным однозначно указать основные атмосферные параметры или процессы, определяющие предполагаемую связь вариаций эмиссий верхней атмосферы с явлением ЭНЮК. Полученные предварительные результаты требуют дополнительного подтверждения влияния ЭНЮК на эмиссии верхней атмосферы, выявления механизмов и возможных особенностей в различные фазы явления ЭНЮК.

Учитывая, что эмиссия 557,7 нм возникает в результате цепи реакций с участием нейтральных (E-область) и заряженных (F-область) компонентов атмосферы на высотах ее высвечивания, можно ожидать проявления особенностей и в вариациях других характеристик верхней атмосферы в указанные периоды.

Заключение

В результате совместного анализа многолетних данных вариаций излучения верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557,7 нм и колебаний системы «атмосфера–океан» выявлено, что в периоды экстремально холодных фаз явления ЭНЮК (по индексу ONI) отмечается депрессия интенсивности эмиссии 557,7 нм. В случаях, когда эти эпизоды приходятся на годы, близкие к минимуму солнечной активности (1954–1956 и 1973–1975), отмечались аномально низкие среднегодовые значения интенсивности эмиссии 557,7 нм. Для максимума солнечной активности в 2000–2002 гг. и низких значений индекса ONI также отмечалась депрессия интенсивности эмиссии 557,7 нм, приводящая к нарушению прямой зависимости интенсивности эмиссии 557,7 нм от уровня солнечной активности. Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что многолетние и межгодовые вариации интенсивности эмиссии 557,7 нм могут являться следствием совместного влияния солнечной активности и колебаний климатической системы «атмосфера–океан».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-05-00243-а и в рамках проекта «АТМОС» Соглашения между Российской и Болгарской академиями наук в области фундаментальных космических исследований.

1. *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.
2. *Wang D.Y., Ward W.E., Solheim B.H., Shepherd G.G.* Longitudinal variations of green line emission rates observed by WINDII at altitudes 90–120 km during 1991–1996 // *J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys.* 2002. V. 64, iss. 8–11. P. 1273–1286.
3. *Scheer J., Reisin E.R.* Unusually low airglow intensities in the Southern Hemisphere midlatitude mesopause region // *Earth Planets Space*. 2000. V. 52, N 4. P. 261–266.
4. *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. in Space Res.* 2008. V. 41, iss. 4. P. 655–659.
5. *Гившицки Г.В., Лещенко Л.Н., Лысенко Е.В., Перов С.П., Семенов А.И., Сергеев Н.П., Фишкова Л.М., Шефов Н.Н.* Многолетние тренды некоторых характеристик земной атмосферы. Результаты измерений // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 1996. Т. 32, № 3. С. 329–339.
6. *Reid I., McIntosh D., Woithe J., Younger J., Sivjee A.* Airglow and Meteor Radar observations at Adelaide, Australia // 35th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods. Maynooth, Ireland, 24–29 August 2008. Programme. Session Title: Mesopause Region. <http://physics.nuim.ie/35AM/>
7. *Hernandez G.J., Silverman S.V.* A reexamination of Lord Rayleigh's data on the airglow 5577 Å (OI) emission // *Planet. Space Sci.* 1964. V. 12, N 2. P. 97–112.
8. *Christophe-Glaume J.* Etude de la raie 5577 Å de l'oxygene dans la luminescence atmospherique nocturne // *Ann. Geophys.* 1965. V. 21, N 1. P. 1–57.
9. *Fukuyama K.* Airglow variations and dynamics in the lower thermosphere and upper mesosphere II. Seasonal and long-term variations // *J. Atmos. and Terr. Phys.* 1977. V. 39, N 1. P. 1–14.
10. *Фишкова Л.М., Марцваладзе Н.М., Шефов Н.Н.* Закономерности вариаций эмиссии атомарного кислорода 557,7 нм // *Геоманг. и аэроном.* 2000. Т. 40, № 6. С. 107–111.
11. *Buriti R.A., Takahashi H., Gobbi D., de Medeiros A.F., Nepomuceno A.A., Lima L.M.* Semiannual oscillation of the mesospheric airglow at 7.4°S during the PSMOS observation period of 1998–2001 // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2004. V. 66, iss. 6–9. P. 567–572.
12. *Cook G.E.* The semi-annual variation in the upper atmosphere // *Ann. Geophys.* 1969. V. 25, N 2. P. 415–469.
13. *Groves G.V.* Annual and semiannual zonal wind components and corresponding temperature and density variations, 60–130 km // *Planet. and Space Sci.* 1972. V. 20, N 12. P. 2099–2112.
14. *Kochanski A.* Semiannual variation at the base of the thermosphere // *Mon. Weather Rev.* 1972. V. 100, N 3. P. 222–234.
15. *Shepherd G.G., Cho Y.-M., Liu G., Shepherd M.G., Roble R.G.* Airglow variability in the context of the global mesospheric circulation // *J. Atmosph. and Sol.-Terr. Phys.* 2006. V. 68, iss. 17. P. 2000–2011.
16. *Johnson F.S., Gottlieb B.* Atomic oxygen transport in the thermosphere // *Planet. and Space Sci.* 1973. V. 21, N 6. P. 1001–1009.
17. *Donahue T.M., Guenther B., Thomas R.J.* Spatial and temporal behavior of atomic oxygen determined by Ogo 6 airglow observations // *J. Geophys. Res.* 1974. V. 79, N 13. P. 1959–1964.
18. *Angelats C.M., Forbes J.M.* Dynamical influences on atomic oxygen and 5577 Å emission rates in the lower thermosphere // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25, N 4. P. 461–464.
19. *Shiokawa K., Kiyama Y.* A search for the springtime transition of lower thermospheric atomic oxygen using long-term midlatitude airglow data // *J. Atmos. and Sol.-Terr. Phys.* 2000. V. 62, N 13. P. 1215–1219.
20. *Шефов Н.Н., Семенов А.И., Холмиц В.Ю.* Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики. М.: ГЕОС, 2006. 741 с.
21. *Liu H., Roble R.* A study of a self-generated stratospheric sudden warming and its mesospheric-lower thermospheric impacts using the coupled TIME-GCM/CCM3 // *J. Geophys. Res.* D. 2002. V. 107, N 23. 4695, doi:10.1029/2001JD001533.
22. *Шефов Н.Н.* Солнечная активность и приземная циркуляция как соизмеримые источники вариаций теплового режима нижней термосферы // *Геоманг. и аэроном.* 1985. Т. 25, № 5. С. 848–849.

A.V. Mikhalev. Airglow and variations in the atmosphere-ocean climate system.

We analyze long-term airglow variations in the atomic oxygen 557.7 nm line and variations in the atmosphere–ocean climate system. For the atmosphere–ocean system, indices of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) were used. It has been found that depression of the 557.7 nm emission intensity is observed at extremely low long-term values of some ENSO indices (e.g., the ONI index (Changes in the Oceanic Niño Index)). The findings enable us to draw a preliminary conclusion that long-term and year-to-year variability in the 557.7 nm intensity may result from the combined effect of solar activity and variations in the atmosphere–ocean climate system. We also consider possible mechanisms of effect of the atmosphere–ocean system on the airglow.