

Долговременные вариации атмосферного ореола по данным наблюдений солнечной короны на Горной станции ГАО РАН в период 1957–2010 гг.

А.Х. Алиев, А.Г. Тлатов*

*Кисловодская Горная астрономическая станция
Главной астрономической обсерватории РАН (ГАС ГАО РАН)*

Поступила в редакцию 27.02.2011 г.

Выполнен анализ данных уровня рассеянного света, полученных в результате ежедневных наблюдений атмосферной кроны на солнечном коронографе Горной станции в период 1957–2010 гг. около корональных спектральных линий 5303 и 6374 Å. Наблюдения выполнялись вблизи солнечного лимба и нормировались к интенсивности в центре диска Солнца. Выявлены вариации различной длительности, в частности, сезонные вариации, локальные максимумы длительностью несколько лет и долговременные тренды. Установлено, что локальные изменения уровня рассеянного света могут быть вызваны вулканическими извержениями. В результате анализа установлена тенденция к росту величины рассеянного света примерно на 40% в течение последних 50 лет. Проведено сравнение вариаций уровня рассеянного света с концентрацией атмосферного аэрозоля. Долговременный рост уровня рассеянного света близок к изменениям приповерхностной температуры Земли и, возможно, связан с глобальным изменением климата.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, солнечная корона, сезонные вариации, вулканы; atmospheric aerosol, solar corona, seasonal variations, volcanoes.

Введение

Ежедневные наблюдения спектральной короны в линиях FeXIV 5303 Å и FeX 6374 Å проводятся на Кисловодской Горной астрономической станции (ГАС) с Лио-коронографом с 1952 г. по настоящее время [1], а с 1957 г. наблюдения ведутся в одной фотометрической системе, через 5° вокруг солнечного лимба с помощью спектрографа. Интенсивность измеряется на высоте 40", или ~ 30 000 км над солнечной фотосферой.

Методика определения абсолютной интенсивности солнечной короны в спектральных линиях 5303 и 6374 Å, используемая на ГАС, предполагает определение уровня рассеянного света, возникающего в результате атмосферных и инструментальных эффектов. Получаемые значения калибруются при сравнении с интенсивностью в центре солнечного диска в выбранных спектральных диапазонах, что обеспечивает стабильность полученных рядов данных.

В настоящей статье дан анализ вариаций уровня рассеянного света атмосферы вблизи солнечного лимба по данным наблюдений на солнечном коронографе ГАС в период 1957–2010 гг. и выполнены сопоставления с изменением содержания атмосферного аэрозоля и других долговременных факторов.

Данные и методика обработки

Для получения абсолютных интенсивностей солнечной короны используется калибровочная система с фотометрической шкалой и набором темных фильтров в виде ступеней ослабителя. Большое количество дней наблюдений и высокая стабильность фотометрической системы наблюдений являются отличительной чертой Кисловодской Горной станции в создании непрерывных рядов короны [1]. При получении длительных рядов наблюдений короны особо важным является вопрос стабильности фотометрической системы и точности измерений, при которой яркость корональных линий сравнивается с яркостью спектра центра диска Солнца шириной 1 Å. Согласно рекомендации МАС интенсивность корональных линий выражается в абсолютных единицах («uci» — единица интенсивности короны) в миллионных долях энергии, излученной центральной частью диска Солнца, внутри полосы непрерывного спектра шириной 1 Å вблизи линии.

В настоящей статье мы использовали ежедневные данные относительной интенсивности (по отношению к яркости в центре солнечного диска) свечения ореола в континууме, вблизи выбранных спектральных линий. Наблюдения начинаются с фотометрической стандартизации, для чего на щель спектрографа помещается имеющий 9 ступеней ослабитель с дополнительным темным фильтром и на него проецируется центральная часть солнечного диска. Темный фильтр подбирается таким образом, чтобы при

* Амыр Хызырович Алиев; Андрей Георгиевич Тлатов (tlatov@mail.ru).

той же экспозиции, что и для снимков корональных линий, получались отпечатки ступеней ослабителя с необходимой плотностью при освещении щели спектрографа лучами центра солнечного диска. После стандартизации производится съемка солнечной короны, при обработке которой и выявляется атмосферный ореол [1]. За интенсивность ореола принимается наименьшая интенсивность, измеренная в данной серии. Особенностью съемки также является то, что она производится в ясную безоблачную погоду. Среднее число наблюдательных дней солнечной короны на ГАС составляет около 110–150 в году.

Всего нами были оцифрованы в период 1957–2010 гг. 6302 значения интенсивности ореола вблизи линии 5303 Å и 5962 значения вблизи линии 6373 Å. На рис. 1 представлены ежедневные данные ореола в спектральных линиях 5303 и 6374 Å.

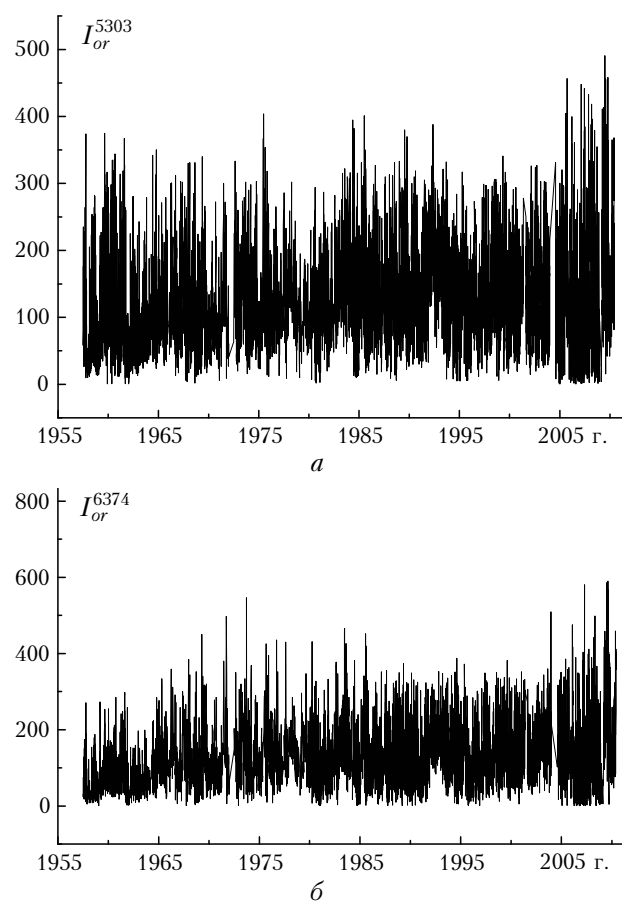


Рис. 1. Ежедневные значения интенсивности измеренного ореола по данным наблюдений на внезатменном солнечном коронографе в спектральных линиях 5303 Å (а) и 6374 Å (б) в относительных фотометрических единицах

Основной период изменений уровня рассеянного света связан с сезонными вариациями с периодом 1 год. Однако в результате анализа установлена тенденция к росту величины рассеянного света примерно на 40% в течение последних 50 лет. Также существуют периоды быстрого роста уровня рассеянного света, не связанные с сезонным ходом.

Таким образом, на наш взгляд, ряды данных о величине рассеянного света, полученные на коронографе Горной станции более чем за 50 лет, дают ценную информацию о долговременных изменениях прозрачности атмосферы.

Результаты анализа

В настоящее время с усилением антропогенного воздействия на нашу газовую оболочку и вообще с климатическими изменениями исследования всех слоев атмосферы стали особенно важными. И одна из ведущих ролей в этом отведена оптическим исследованиям, так как взаимодействие атмосферы с излучением Солнца весьма разнообразно и информация, которую могут дать оптические измерения, очень велика [1]. Наблюдения солнечной короны на Кисловодской Горной астрономической станции дают информацию о состоянии атмосферного ореола в силу применяемой методики съемки солнечной короны.

На рис. 2 сглаженный ход ореола (со скользящим «окном» шириной 120 дней) сравнивается с концентрациями аэрозоля в атмосфере в период 1970–2003 гг. по данным [6, 7].

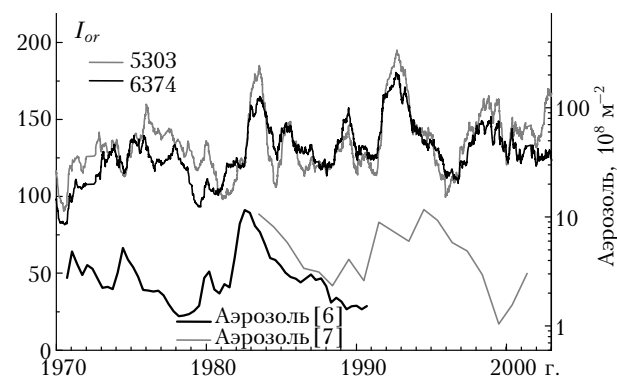


Рис. 2. Сравнение динамики атмосферного ореола, сглаженного скользящим окном 120 дней, с динамикой изменений стратосферного аэрозоля по данным работ [5, 6]

Можно отметить неравномерное изменение ореола в этот период, в частности локальные максимумы в период 1982–1984, 1991–1993 гг. и другие локальные максимумы длительностью 2–7 лет. Сравнение динамики атмосферного ореола с различными параметрами атмосферы выявило заметную взаимосвязь между изменением уровня ореола и уровнем изменения стратосферной аэрозольной составляющей атмосферы (рис. 2). Локальные повышения уровня рассеянного света, по данным коронографа, и концентрации аэрозоля могут быть обусловлены выбросом пыли в результате вулканических извержений.

Днем, при большой высоте Солнца над горизонтом, относительный вклад многократного рассеяния не очень велик. Это связано с тем, что фон неба образуется в основном рассеянием солнечных лучей в нижних плотных слоях атмосферы, которые содержат много аэрозоля. Анализ распределения уровня рассеянного света может дать достаточно

качественную информацию об оптических свойствах атмосферы в ее приземных слоях.

Значение различных компонентов атмосферы в атмосферных процессах не определяется только их относительным содержанием в воздушной массе. Аэрозольные частицы (если не причислять к ним облачные), т.е. частицы пыли, дымов и т.п., представляют собой по массе ничтожную долю атмосферы. В сильно запыленном воздухе доля аэрозольных частиц не превышает 10^{-6} воздушной массы, в которой они содержатся, а для всей атмосферы эта величина не превышает 10^{-9} , иными словами, она на 3–4 порядка меньше массовой доли водяного пара [2].

Присутствие аэрозольных частиц имеет существенное значение и для атмосферных оптических явлений: практически во всем оптическом диапазоне величины коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения приблизительно того же порядка, что и для всех вместе взятых атмосферных газов, но аэрозольные оптические характеристики гораздо более изменчивы как во времени, так и в пространстве. Кроме того, угловые оптические характеристики аэрозолей (например, индикатрисы рассеяния) существенно отличны от этих характеристик для газов [3].

Так как станция расположена на высоте более 2000 м, то тропосферный пылевой слой в значительной степени находится ниже ее и вклад тропосферного аэрозоля в атмосферный ореол незначителен, а долгоживущие стратосферные аэрозоли, определяющие уровень ореола, хорошо коррелируют с динамикой вулканических извержений (рис. 3), продуктом которых они по большей части и являются. Хорошо прослеживается положительная корреляция между трендами увеличения уровня атмосферного ореола и вулканической активности. Получены следующие коэффициенты корреляции между уровнем атмосферного ореола и вулканической активностью: $R = 0,65$ ($\sigma = 4,4$) для линии 6374 Å и $R = 0,46$ ($\sigma = 12,4$) для линии 5303 Å (рис. 3).

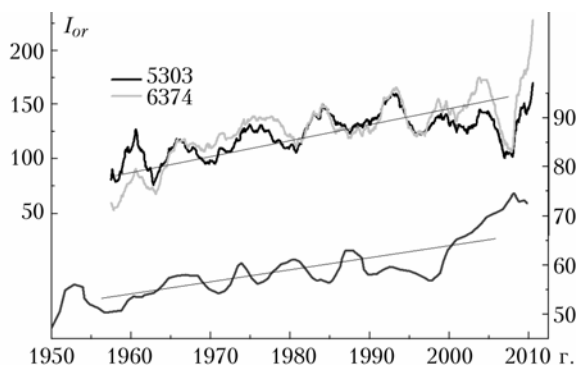


Рис. 3. Сравнение динамики атмосферного ореола, сглаженного скользящим окном 1 год, с числом вулканических извержений в год по данным [8]. Проведены линейные тренды изменений

Некоторое отставание пиков в уровне ореола от пиков вулканической активности обусловлено временем распределения продуктов вулканических

извержений в стратосфере планеты. Следует также отметить, что не все извержения влияют сразу непосредственно на стратосферу, а только сильные эруптивные с выбросами в высокие слои. Это иллюстрирует рис. 4, где динамика атмосферного ореола соотносится с крупнейшими извержениями последних десятилетий. Так, цифрой 6 обозначено извержение влк. Эль-Чичон в июне 1982 г., а цифрой 8 извержения влк. Пинатубо в июне 1991 г.

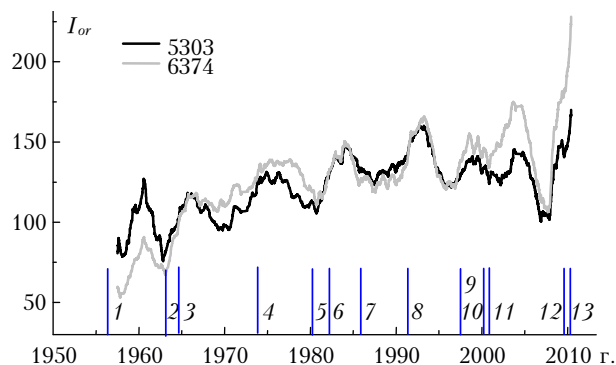


Рис. 4. Сравнение моментов крупнейших вулканических извержений и динамики атмосферного ореола (1 – Безьянный; 2 – Агунг; 4 – Фуэго; 5 – Сент-Хеленс; 6 – Эль-Чичон; 8 – Пинатубо и др.)

Частицы пепла и аэрозоль ослабляют солнечный свет, что приводит к понижению температуры на Земле и в нижних слоях атмосферы. Микроскопические частицы пепла, выброшенные в стратосферу, осаждаются примерно за 3 мес, но аэрозольные капли серной кислоты могут плавать в воздухе в течение нескольких лет. Например, извержение влк. Эль-Чичон привело к абсорбции солнечного света частицами облака и разогреву экваториальной стратосферы на 4° в июне 1982 г., но на уровне земли в Северном полушарии температура упала на $0,4^\circ$. Таким образом, крупное вулканическое извержение нагревает верхние слои атмосферы, где происходит абсорбция, но охлаждает поверхность и нижнюю часть атмосферы. Таким образом, крупные извержения, связанные с мощными выбросами двуокиси серы, вызывают рост концентрации аэрозоля и увеличение рассеянного света в атмосфере.

Источником атмосферной углекислоты, влияющим на изменение климата в современную эпоху, по мнению большинства климатологов, могут быть антропогенные выбросы, учету поступления наземных вулканических извержений в атмосферу уделяется меньшее внимание. Глобальным природным источником парниковых газов может являться как океанический вулканизм, так и вулканизм вообще. Мы можем предположить, что между увеличением вулканической деятельности, ростом концентрации аэрозоля и парниковых газов может быть взаимосвязь. С одной стороны, вулканизм вследствие выброса аэрозолей приводит к блокированию солнечного излучения, с другой – выбрасываемые парниковые газы могут одновременно способствовать росту температуры. На рис. 5 представлена дина-

мики атмосферного ореола в сравнении с изменениями приповерхностной температуры.

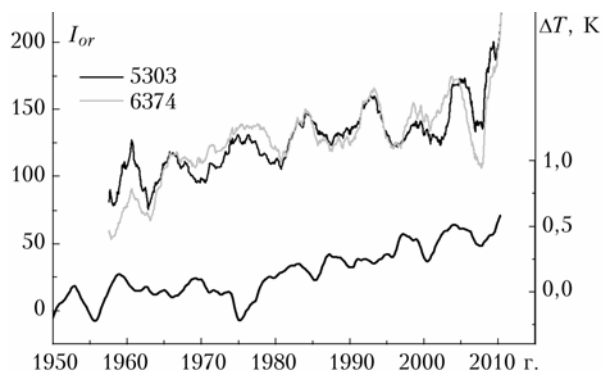


Рис. 5. Сравнение изменений атмосферного ореола и отклонений среднегодовой приземной атмосферной температуры

Получены следующие коэффициенты корреляции: $R = 0,57$ ($\sigma = 0,16$) для линии 6374 Å и $R = 0,52$ ($\sigma = 0,17$) для линии 5303 Å. Также есть положительная корреляция $R = 0,53$ ($\sigma = 0,84$) между изменением прозрачности атмосферы и концентрации CO_2 в атмосфере. При сдвиге по времени рядов ореола в 1 год коэффициент корреляции возрастает до $R = 0,63$ ($\sigma = 0,43$), что можно объяснить временной задержкой распределения продуктов извержений в атмосфере.

Заключение

Создание моделей глобального климата и динамики его изменения на многие годы вперед возможно на основе наблюдений состояния атмосферы, в частности данных о концентрации атмосферного аэрозоля. В настоящее время мало длительных надежных данных по оптической толщине атмосферного аэрозоля. Спутниковые измерения дают приближенные значения, а наземных атмосферных станций мало, и они используют разнотипные приборы и методики измерений. Только с 1993 г. начала создаваться единая мировая сеть атмосферных станций AERONET, позволяющая получать информацию об атмосферном аэрозоле по унифицированной методике [4].

Использование наблюдений солнечных корональных обсерваторий может помочь заполнить недостающие данные. Имеющийся архив наблюдений солнечной короны более чем за 50 лет дает ценную информацию об атмосферном ореоле. На основе измерений атмосферного ореола на высоте

2100 м мы можем сделать вывод о тенденции уменьшения прозрачности атмосферы в период с 1957 по 2010 г. в ~1,4 раза (см. рис. 3). Основные локальные максимумы увеличения ореола связаны с периодами роста вулканической активности (см. рис. 4) и могут длиться от 2 до 7 лет, что, по-видимому, связано со временем накопления и распределения, а затем разрушения аэрозольных частиц в стратосфере.

Существуют близкие тренды между ростом приповерхностной температуры Земли и ростом атмосферного ореола, несмотря на антикорреляцию локальных максимумов. По-видимому, это связано с тем, что при вулканических выбросах вместе с аэрозольными частицами, блокирующими солнечную радиацию, в атмосферу выбрасываются и парниковые газы, приводящие к долговременному росту температуры. Возможно также, что вулканическая активность связана с циклами солнечной активности [8]. В этом случае мы можем предположить, что солнечная, а затем и вулканическая активность изменяют оптические свойства земной атмосферы, а через нее влияют на климат.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Программ РАН.

1. Гневьев М.Н., Гневьева Р.С., Шпитальная А.А. Метод внеатмосферных наблюдений солнечной короны, применяемый на Горной астрономической станции ГАО // Солнечные данные. Бюл. № 1–2. 1958. С. 101–102.
2. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 194 с.
3. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной оптики: Учебно-методич. пособие. СПб.: СПбГУ, 2007. 152 с.
4. Терез Э.И. Устойчивое развитие и проблемы изменения глобального климата Земли // Учен. зап. Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. Симферополь, 2004. Т. 17(56), № 1. С. 181–205.
5. Hofmann D.J. Twenty Years of balloon-born tropospheric aerosol measurements at Laramie, Wyoming // J. Geophys. Res. 1993. V. 98, N 7. P. 12,753–12,766.
6. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотноков А.П., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13, № 6–7. С. 627–630.
7. Алексеев В.А. Вулканическая активность и климатические изменения на земле // Электронный научно-информ. ж. «Вестник Отделения наук о Земле РАН» (ГЕОХИ РАН). 2007. № 1(25).
8. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. Burgas: SWB, 2008. 303 с.

A.Kh. Aliev, A.G. Tlatov. Long-term variations of the atmospheric aureole according to observation of the solar corona at Kislovodsk mountain astronomical station in 1957–2010.

The analysis was performed of the data level of the scattered light according to the daily observations on the solar corona at Kislovodsk mountain astronomical station in the period 1957–2010 yrs. near the coronal spectral lines 5303 Å and 6374 Å. The observations were made near the solar limb and normalized to the intensity at the center of the solar disk. Revealed variations are of different durations: in particular, seasonal variations, local maxima of the last several years, and long-term trends. It was established that local changes in the level of scattered light can be caused by volcanic eruptions. The analysis established a tendency to increase the value of the scattered light by about 40% over the past 50 years. Variations in the level of scattered light were compared with the concentration of atmospheric aerosol. Long-term increase in the level of scattered light is close to changes of surface temperature of the Earth, and possibly is linked to the global climate change.