

УДК 520.16+523.31-852+523.9:520.86

А. Л. АКИМОВ, Л. А. АКИМОВ

НИИ Астрономии Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
61022 г. Харьков, ул. Сумская, 35

Об особенностях конвективной деятельности атмосферы в день затмения Солнца 31 мая 2003 г.

Приводятся результаты измерений средней квадратичной величины амплитуды дрожания солнечного края в утренние часы при различных фазах частного солнечного затмения. Показано, что процесс активного разрушения инверсионного слоя восходящими конвективными потоками наступает при освещенностях $E > 0.2E_0$, где E_0 — освещенность от Солнца в зените. До этого момента зависимость амплитуды дрожания σ от зенитного расстояния z Солнца следует теоретическому закону $\sigma(z) = \sigma(0)\sqrt{\sec(z)}$.

ПРО ОСОБЛИВОСТІ КОНВЕКТИВНОЇ АКТИВНОСТІ АТМОСФЕРИ В ДЕНЬ ЗАТЕМНЕННЯ СОНЦЯ 31 ТРАВНЯ 2003 Р., Акімов О. Л., Акімов Л. О. — Наведено результати вимірювань середньої квадратичної амплітуди дрижань сонячного краю у ранковій годині при різних фазах часткового сонячного затемнення. Показано, що процес активного руйнування інверсійного шару атмосфери конвективними потоками наступає при освітленостях $E > 0.2E_0$, де E_0 — освітленість від Сонця в зеніті. До цього моменту залежність амплітуди дрижань σ від зенітної відстані z Сонця відповідає теоретичному закону $\sigma(z) = \sigma(0)\sqrt{\sec(z)}$.

ON PECULIARITIES OF CONVECTIVE ACTIVITY OF THE ATMOSPHERE DURING THE SOLAR ECLIPSE ON 31 MAY 2003, by Akimov A. L., Akimov L. A. — We give some results of measurements of the r. m. s. value of the solar limb motion amplitude for different phases of the partial solar eclipse in morning hours. It is found that the process of active destruction of the inversion layer by uprise convective flows occurs at the illuminance $E > 0.2E_0$, where E_0 is the illuminance from the Sun in zenith. Before this moment, the relationship between the motion amplitude σ and zenith distance of the Sun z corresponds to the theoretical law $\sigma(z) = \sigma(0)\sqrt{\sec(z)}$.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] сообщались результаты исследования турбулентной активности атмосферы в день солнечного затмения 11 августа 1999 г. на загородной

наблюдательной станции Астрономической обсерватории ХНУ. Там подробно описана методика измерений амплитуды дрожания солнечного края, методика обработки результатов наблюдений и метеорологическая обстановка в день затмения. Тогда затмение наблюдалось в разгар летнего дня при развитой турбулентной активности атмосферы. Средняя квадратичная величина амплитуды дрожания, максимальная перед началом затмения, уменьшилась втрое при максимальной фазе (0.8) частного затмения и достигала $0.38''$. По результатам измерений оценено время релаксации турбулентной активности атмосферы при «выключении» светила. Оно составляет около 16 мин. В день затмения 11 августа 1999 г. мы имели возможность проследить реакцию атмосферы на короткую ночь среди белого дня. В мае 2003 г. мы изучали реакцию атмосферы на затянувшееся утро. Это явление имеет свои особенности, изучение которых представляет интерес как для метеорологии, так и для понимания процессов формирования дневного астроклимата.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Напомним кратко методику измерений и обработки, описанную в работе [1]. Измерялся поток излучения в зеленой области спектра, прошедший через прямоугольную диафрагму размером $20'' \times 50''$, установленную в фокальной плоскости фотосферной трубы телескопа АФР-2. Диаметр входного отверстия телескопа равен 5 см. Край Солнца располагался на среднем расстоянии $30''$ от края диафрагмы. Дрожание изображения приводило к смещению края относительно среднего положения, что, в свою очередь, приводило к изменению величины регистрируемого потока относительно среднего значения. Расчет величины изменения потока с учетом распределения яркости по диску Солнца в зеленой области спектра показал, что смещение края на одну секунду дуги приводит к изменению потока на 4 %. Сигнал с ФЭУ, на катод которого падает поток, усиливается широкополосным операционным усилителем, интегрируется 10 мсд, а результат после цифрового преобразования записывается в память ЭВМ. Запись сигнала производится с частотой 50 Гц. Одна реализация составляет 512 отсчетов (около 10 с). Одна серия измерений состоит из 18 реализаций (около 3 мин).

Заметим, что такое же входное отверстие телескопа и ширина диафрагмы в фокусе использовались в работе Каллистратовой [5] при измерениях амплитуды дрожания солнечного края в степи под Цимлянском, предпринятых для подтверждения теоретических разработок Татарского [7].

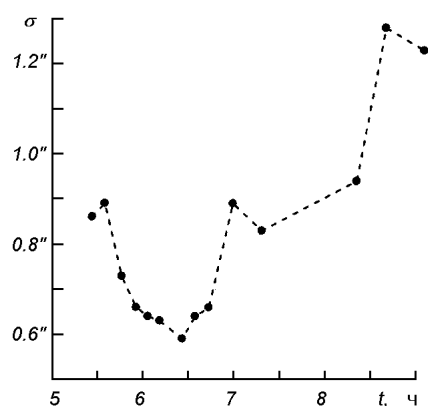
Наши наблюдения проводились при ясном небе. Первые конвективные облака начали появляться после 10 ч киевского времени. Наблюдения по этой методике осуществляются уже несколько лет. Опыт показал, что дрожание телескопа появляются при скорости ветра больше 12 м/с с частотой 8 Гц, что хорошо видно в спектрах мощности фурье-преобразования сигнала. Во время наблюдений скорость ветра не превышала 4 м/с. По результатам измерений вычислялись автокорреляционные функции

$$K(m) = \sum (u(n) - s)(u(n + m) - s) / (Ns^2),$$

где $u(n)$ — величина сигнала, n — номер отсчета, $N = 512$ — полное число отсчетов в измеряемом интервале, s — среднее значение сигнала. Суммирование ведется от 1 до $N - m$. Значение автокорреляционной функции в нуле пропорционально дисперсии амплитуды смещения края Солнца, а значению $K(0) = 0.0001$ соответствует среднее квадратичное смещение на $0.25''$.

Обстоятельства и результаты наблюдений амплитуды дрожаний солнечного края в день затмения 31 мая 2003 г.

Киевское время	σ	z	Освещенность	σ (в зените)
5 ч 26 мин	0.86"	83.2°	0.107	0.296"
5 ч 34 мин	0.89	82.0	0.114	0.331
5 ч 46 мин	0.73	80.2	0.108	0.300
5 ч 55 мин	0.66	78.9	0.097	0.290
6 ч 03 мин	0.64	77.7	0.083	0.296
6 ч 11 мин	0.63	76.4	0.072	0.305
6 ч 26 мин	0.59	74.1	0.110	0.308
6 ч 34 мин	0.64	72.9	0.150	0.347
6 ч 43 мин	0.66	71.5	0.207	0.372
6 ч 59 мин	0.89	68.9	0.272	0.533
7 ч 18 мин	0.83	65.9	0.397	0.530
8 ч 20 мин	0.94	55.9	0.562	0.704
8 ч 38 мин	1.28	52.6	0.607	0.997
9 ч 05 мин	1.23	49.4	0.649	0.990



Изменение со временем средней квадратичной амплитуды дрожания солнечного края

В таблице и на рисунке представлены средние по 18 реализациям средние квадратичные величины амплитуды дрожания солнечного края для каждой серии измерений.

В первой графе — момент начала серии; во второй — средняя квадратичная величина амплитуды дрожания солнечного края, выраженная в секундах дуги; в третьей — зенитное расстояние z Солнца; в четвертой — относительная освещенность (произведение энергии от видимой части диска на косинус зенитного расстояния). При этом энергия от всего Солнца при нулевом зенитном расстоянии принята за единицу. В пятой — приведенная к зениту величина амплитуды дрожания. Максимальной фазы затмение достигло в 6 ч 14 мин при зенитном расстоянии Солнца 76° . Наблюдения начались при зенитном расстоянии 83° , когда было закрыто не более 10 % видимой площади Солнца. На протяжении 1 ч освещенность поверхности практически не изменялась и не превышала 0.11 от освещенности при нулевом зенитном расстоянии. Здесь мы имеем феномен продолженного утра.

При сопоставлении наших результатов наблюдений с другими необходимо принять во внимание следующее обстоятельство. Исследования [4, 5] показали, что для телескопов с диаметром объектива, меньшим характерного размера атмосферных неоднородностей, эффективно воздействующих на амплитуду дрожания изображений, область изопланатичности составляет больше $1'$. В этой области изображение перемещается как целое без деформации. В этом случае наши значения σ близки к среднему квадратичному отклонению распределения плотности вероятности нормального закона

Гаусса, если им описывать распределение энергии изображения звезды в фокусе телескопа большого диаметра.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Представляет интерес последняя графа таблицы, где дана амплитуда дрожания, приведенная к зениту. Для этого наблюдаемые значения разделены на корень квадратный из секанса зенитного расстояния. Теоретически эта приведенная величина должна оставаться неизменной для стационарной атмосферы. Она действительно практически одинакова, если освещенность не превышает 0.2 от величины, имеющей место, когда Солнце в зените. Этот результат подтверждает возможность применения теоретического соотношения для дневной атмосферы для достаточно коротких промежутков времени, на протяжении которых характеристики турбулентности атмосферы остаются неизменными. Другие измерения зависимости амплитуды дрожания солнечного края от зенитного расстояния Солнца практически невозможны, поскольку Солнце, находясь на разных зенитных расстояниях, по-разному воздействует на турбулентную активность атмосферы. При большей освещенности начинают развиваться тепловые конвективные процессы, разрушающие инверсионный слой приземной атмосферы. С дальнейшим увеличением освещенности конвекцией охватываются все более высокие слои, амплитуда дрожания быстро увеличивается.

Необходимо отметить, что этот результат получен для ровной степной зоны Украины. Перепад высот окружающей поверхности не превышает 3 м в окрестности радиусом 2 км и 5 м на расстоянии до 4 км. Для обсерваторий, расположенных в горах, он может быть другим [6].

Порог освещенности, при котором начинается всплывание пузырей теплого воздуха, зависит от окружающего ландшафта, от альбедо окружающей поверхности, от влажности, от температуры. Для нашей наблюдательной станции, где в окрестности 2 км на юге и востоке ровная поверхность, покрытая травой, при метеорологических условиях, имеющих место в день затмения, он составляет 0.2. При других метеорологических условиях для поверхности, покрытой снегом, для распаханного чернозема, для городской, горной или лесистой местности он может быть другим.

Происхождение этого порога связано с тепловым излучением поверхности. При ясной погоде черная поверхность излучает в инфракрасном диапазоне в космос с единичной площадки в секунду энергию

$$E = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{град}^4),$$

где T — абсолютная температура. Около трети этого излучения поверхности возвращается обратно при рассеянии и переизлучении атмосферой [3]. Окончательно потери составляют около $0.7E$. В результате этого процесса охлаждается поверхность, охлаждается приземный слой атмосферы, формируется инверсный слой, в котором температура увеличивается с высотой. В утренние часы, когда упавшая на поверхность энергия Солнца не больше, чем излучаемая поверхностью, полного разрушения инверсного слоя не происходит. Небольшие пузыри нагретого у поверхности воздуха, всплывая, адиабатически охлаждаются до температур ниже температуры окружающего воздуха. Их подъем прекращается, а энергия отдается приземному слою атмосферы.

Для оценки отношения энергии, излучаемой поверхностью, к энергии, упавшей на поверхность, полагаем, что поверхность абсолютно черная, а поток излучения Солнца через единичную площадку на расстоянии Земли в секунду [2] равен $1360 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Полагаем, что при ясной погоде до

поверхности доходит 0.9 этой величины при нулевом зенитном расстоянии Солнца, а мощность излучения, падающего на один квадратный метр горизонтальной поверхности пропорциональна косинусу зенитного расстояния. В этом случае получим, что отношение P энергии, излучаемой единичной площадкой поверхности, к максимальной энергии, получаемой от Солнца, составляет: $P = 0.152$ при $T = 260$ К (зима), $P = 0.177$ при $T = 270$ К, $P = 0.205$ при $T = 280$ К и $P = 0.236$ при $T = 290$ К (лето). Конечно, эта оценка грубая, поскольку не учитывает поглощательную и излучательную способность поверхности, теплоемкость материала поверхности, и следовательно, скорости отдачи поглощенного излучения.

Температура 31 мая 2003 г. с 5 ч до 6 ч 30 мин оставалась почти неизменной и составляла 281° в абсолютной шкале. Значение порога $P = 0.21$ для такой температуры можно считать достаточно близким к значению 0.2, полученному из эксперимента, учитывая точность оценки. Для температуры в момент максимальной фазы затмения 11 августа 1999 г. величина порога составляла 0.27, а освещенность поверхности составляла 0.19 от максимальной. Эта разница привела к быстрому переходу турбулентных свойств атмосферы, характерных для дневного времени, к свойствам, характерным для ночи.

1. Акимов А. Л., Акимов Л. А. Исследование турбулентной активности атмосферы в день солнечного затмения 11 августа 1999 г. // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 2.—С. 182—188.
2. Аллен К. У. Астрофизические величины. — М.: Мир, 1977.—446 с.
3. Атмосфера. Справочник. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991.—509 с.
4. Иванов В. И., Ковадло П. Г., Дарчия Ш. П. О некоторых особенностях деформации изображения Солнца // Атмосферная оптика. — М.: Наука, 1974.—С. 55—58.
5. Каллистратова М. А. Измерения дрожания края солнечного изображения // Атмосферная оптика. — М.: Наука, 1968.—С. 12—22.
6. Колчинский И. Г. К вопросу о зависимости дрожания изображений звезд в телескопах от зенитного расстояния // Атмосферная оптика. — М.: Наука, 1968.—С. 23—30.
7. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. — М.: Наука, 1967.—548 с.

Поступила в редакцию 02.03.04