

Барнаульский государственный  
педагогический университет  
Физический факультет  
Кафедра теоретической физики

#### **Использованные при подготовке этих рекомендаций материалы**

1. П. И. Попов, Б. А. Воронцов-Вельяминов, Р. В. Куницкий. Астрономия. – М.: Просвещение, 1967. – 406 с.
2. В. П. Цесевич. Что и как наблюдать на небе. – М., 1973. – 384 с.
3. Н. К. Андрианов, А. Д. Марленский. Астрономические наблюдения в школе: Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1987. – 112 с.
4. О. С. Угольников. Небо начала века. 2001-2012. – М.: Сельянов А.Д., 2000. – 320 с.
5. <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>

По вопросам наблюдений солнечного затмения можно  
обращаться по e-mail  
[wmaster@uni-altai.ru](mailto:wmaster@uni-altai.ru)  
с пометкой “затмение”  
или по телефонам  
8-(3852)-36-69-21  
+7-903-957-3596  
(Вольф Александр Владимирович)

### **Методические рекомендации по наблюдению полного солнечного затмения 29 марта 2006 года на территории Алтайского края**

Составитель А.В. Вольф,  
заведующий лабораторией информатики

17 февраля 2006 года  
г. Барнаул

## Солнечные затмения

Если Луна при своем движении вокруг Земли окажется между Землей и Солнцем, она может закрыть собой Солнце и наступит *солнечное затмение*

(рис. 1). С другой стороны, когда Земля оказывается между Луной и Солнцем, Луна может попасть в тень Земли, и наступит *лунное затмение*. Если бы Луна двигалась по орбите, плоскость которой совпадала бы с плоскостью эклиптики, то солнечные и лунные затмения случались бы каждый синодический месяц. Но плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости земной орбиты под углом  $5^{\circ}8'$ ; вследствие этого затмения не происходят ежемесячно. Затмение может произойти только тогда, когда Луна во время новолуния или полнолуния окажется вблизи линии пересечения плоскостей орбит Луны и Земли, которая называется *линией узлов* лунной орбиты.



Рис. 1. Схема солнечного затмения

Пусть  $T_1, T_2, T_3$  и  $T_4$  – четыре последовательных положения Земли в течение года (рис. 2);  $L_1, L_2, L_3$  и  $L_4$  – положения Луны на ее орбите. Когда Земля находится в  $T_1$ , линия узлов перпендикулярна к радиус-вектору земной орбиты и Луна в новолуние не может находиться на нем. Точно так же Луна не может быть во время новолуния на радиус-векторе земной орбиты и тогда, когда положение Земли диаметрально противоположно  $T_1$ , т. е. в  $T_3$ . В положениях же  $T_2$  и  $T_4$  линия узлов лунной орбиты проходит через Солнце и потому совпадает с радиус-вектором Земли. Если Луна будет находиться при этом в новолунии, то произойдут солнечные затмения.

Солнечное затмение может быть трех видов: частное, полное и кольцеобразное. Если Луна только частично закроет собой диск Солнца, то затмение носит название *частного*. Видимые с Земли угловые размеры дисков Луны и Солнца почти одинаковы (действительный диаметр Солнца почти в 400 раз больше диаметра Луны, но Луна почти в 400 раз ближе к нам, чем Солнце). Вследствие изменения расстояний Земли от Солнца и Луны от Земли лунный диск будет казаться то больше солнечного, то меньше. В первом случае может произойти *полное* затмение, т. е. диск

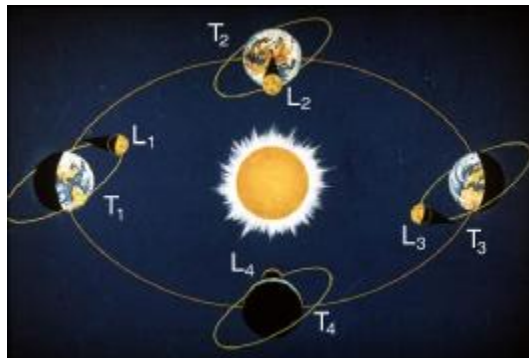
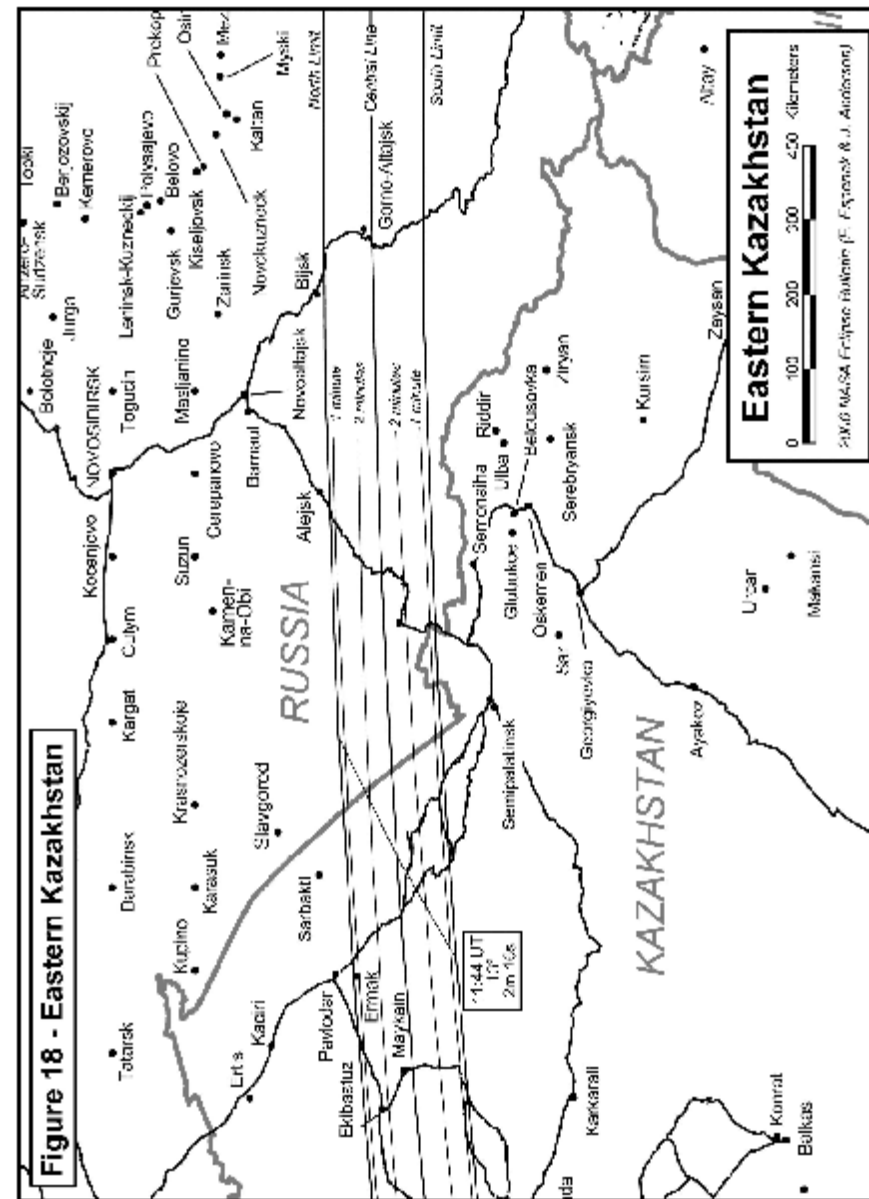
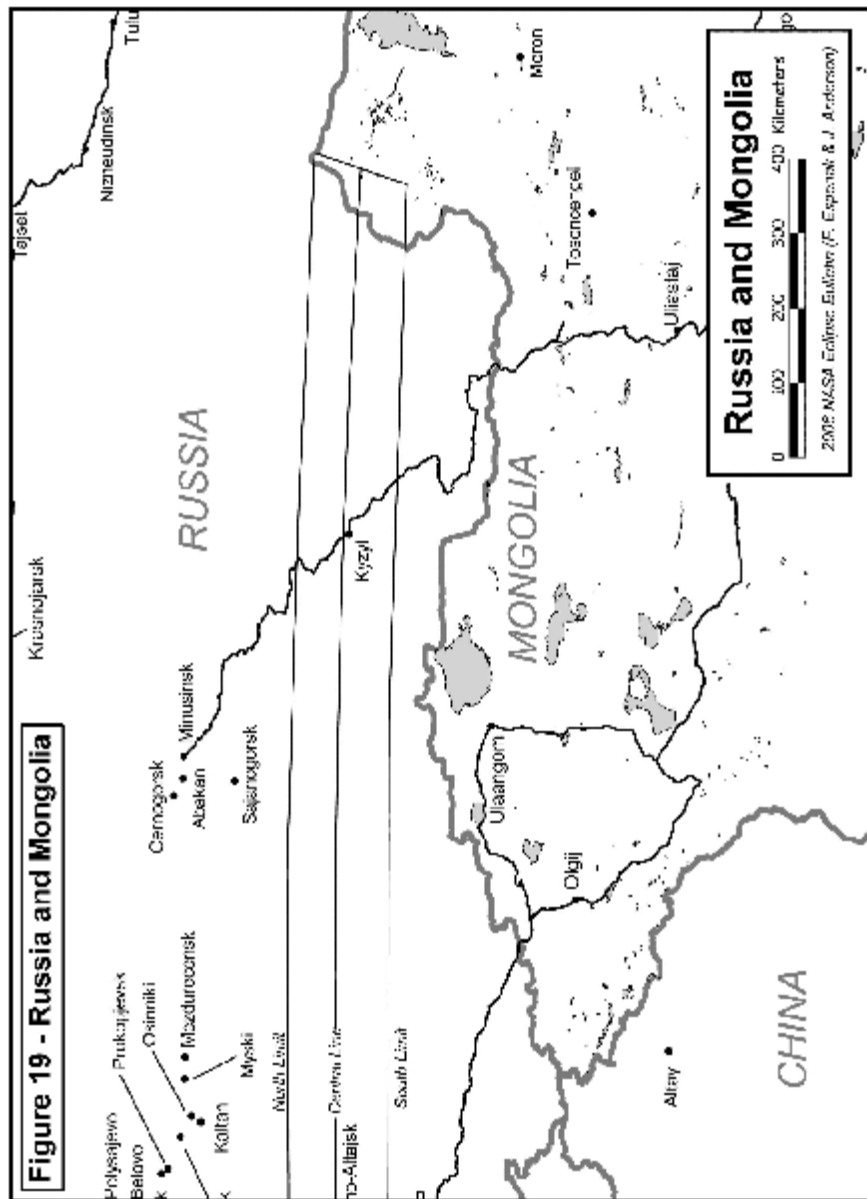


Рис. 2. Условия возможности наступления затмений

Солнечное затмение может быть трех видов: частное, полное и кольцеобразное. Если Луна только частично закроет собой диск Солнца, то затмение носит название *частного*. Видимые с Земли угловые размеры дисков Луны и Солнца почти одинаковы (действительный диаметр Солнца почти в 400 раз больше диаметра Луны, но Луна почти в 400 раз ближе к нам, чем Солнце). Вследствие изменения расстояний Земли от Солнца и Луны от Земли лунный диск будет казаться то больше солнечного, то меньше. В первом случае может произойти *полное* затмение, т. е. диск





**Figure 19 - Russia and Mongolia**

Солнца совершенно будет закрытым диском Луны, во втором – *кольцеобразное* затмение. По этой же причине продолжительность полных солнечных затмений бывает различной.

Затмения могут случаться и тогда, когда Солнце находится не на самой линии узлов, а лишь вблизи нее: в среднем на угловом расстоянии, не превышающем  $16,5^\circ$ . Это показывает, что солнечные затмения должны случаться не менее двух раз в каждом году. Действительно, затмение произойдет и тогда, когда Солнце отстоит на  $16,5^\circ$  от узла. Поэтому область небесной сферы, в которой может произойти затмение, простирается на  $33^\circ$  по эклиптической долготе. Эту область Солнце, двигаясь по небесной сфере, проходит в промежуток времени около 33 дней. Так как за этот промежуток непременно произойдет хоть одно новолуние (а могут произойти и два новолуния), то затмение непременно произойдет по крайней мере по одному разу, а иногда и по два в каждом из положений  $T_2$  и  $T_4$  Земли (см. рис. 2). Оба эти положения отстоят друг от друга по времени почти на полгода.

Надо заметить, что линия узлов не остается в неизменном положении, а медленно перемещается навстречу Солнцу, вследствие чего периоды затмений наступают ежегодно дней на 20 раньше. Поэтому, если первый период затмений попадает на начало года, то на конец года может попасть третий период. Тогда может случиться пять солнечных и два лунных затмения или четыре солнечных и три лунных за один год. Это максимальное число затмений в году, а минимальное – два солнечных затмения в течение года.

Солнечные затмения видимы только в тех местах Земли, на которые падает тень или полутень Луны: если место находится в области лунной тени, то в этом месте затмение Солнца будет полным, для мест, находящихся в области полутени, то же затмение будет частным.

Вследствие движения Луны вокруг Земли и суточного вращения Земли лунная тень движется по поверхности Земли. При этом по обе стороны полосы полного затмения бывает видно частное затмение, и тем большей фазы, чем ближе место наблюдения находится к полосе полного затмения. Продолжительность полной фазы не может превышать 8 мин.

Ширина полосы полного затмения бывает различна, главным образом в зависимости от расстояния Луны от Земли; максимальная ширина полосы составляет около 200 км.

Уже в глубокой древности было установлено, что лунные и солнечные затмения через некоторый промежуток времени повторяются в одном и том же порядке. Промежуток этот, названный *саросом* (с египетского – «повторение»), продолжается 18 лет 10 (или 11) дней (6585 дней). Зная его, оказалось возможным предсказывать затмения. Дело в том, что вследствие уже упоминавшегося движения линии узлов лунной орбиты Солнце проходит через один и тот же узел через 346,62 дня; этот промежуток называется *драконическим годом*. Девятнадцать драконических лет и составляют приблизительно 6585 дней. Но уже древними наблюдателями было обнаружено, что 6585 дней почти в точности равны 223 синодическим месяцам. Таким образом, через этот промежуток времени Солнце снова будет находиться в прежнем положении относительно узла

лунной орбиты, а Луна будет иметь прежнюю фазу. Этим и объясняется периодичность в повторении затмений, т. е. сарос.

Солнечное затмение начинается с первого контакта, когда диск Луны касается диска Солнца. Прикосновение происходит на правом краю солнечного диска. Момент первого контакта очень трудно уловить; следует заранее знать, в каком месте солнечного диска должно произойти касание. Соответствующий позиционный угол точки касания сообщается в астрономических календарях. Позиционный угол  $PA$  отсчитывается от северной точки лимба Солнца (направленной к Северному полюсу мира) против вращения часовой стрелки. Второй контакт – начало полной фазы затмения, третий – ее конец, а четвертый – это окончания частных фаз затмения, когда лунный диск сходит с солнечного.

## Наблюдения солнечных затмений

Солнечные затмения относятся к числу редких небесных явлений, поэтому к их серьезным наблюдениям надо готовиться заблаговременно и очень тщательно. Перед наблюдением полного солнечного затмения, продолжающегося не более 8 минут, совершенно необходимо провести одну или несколько репетиций, отрабатывая до предела слаженность работы коллектива наблюдателей. Не следует забывать и о том, что ценность собранного наблюдательного материала во многом будет зависеть от степени соответствия избранной тематики наблюдений имеющимся инструментальным возможностям и подготовленности наблюдателей.

Если к наблюдению затмения привлекается небольшой коллектив наблюдателей, то целесообразно, не распыляя его сил, выбрать ограниченное количество тем, чтобы иметь возможность провести по ним разносторонние наблюдения.

Примерная тематика наблюдений солнечных затмений, соответствующая возможностям школ, приведена ниже.

### Тематика наблюдений солнечного затмения

- Визуальные наблюдения и зарисовки солнечной короны** с целью изучения ее формы и строения. Наблюдения выполняются невооруженным глазом, в бинокль или телескоп с малым увеличением (на окуляр должна быть надета бленда с темным стеклом слабой плотности). Рисунок короны должен иметь ориентировку. Очень полезны рисунки короны в красках или цветными карандашами.
- Фотографирование солнечной короны.** Так как яркость короны постепенно убывает от центра к периферии, то необходимо сделать несколько снимков короны со все возрастающими экспозициями (при светосиле телескопа 1:15 от 1 до 10-15 с на высокочувствительные фотоэмульсии)<sup>1</sup>. Очень желательны, в частности, снимки, сделанные с разными светофильтрами. При выдержке свыше 0,4 с

<sup>1</sup> Для цифровых фотоаппаратов выставляется большая чувствительность матрицы в ISO.

## Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29

Geocentric Conjunction = 05:11:21.8 UT JD = 2453823.924566  
 Greatest Eclipse = 10:11:22.1 UT JD = 2453823.924566  
 Eclipse Magnitude = 1.0505 Gamma = 0.8541

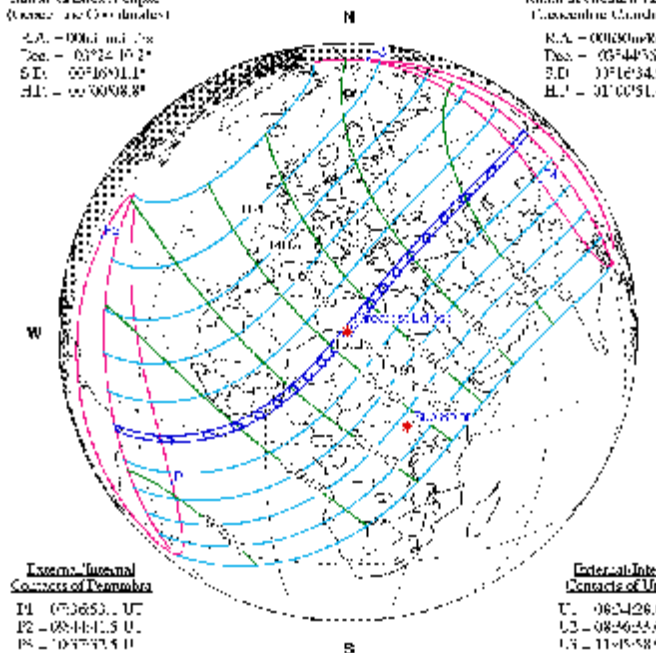
Saros Series = 139 Member = 29 of 71

Sun at Greatest Eclipse  
 (Assume use G + standard)

RA = 09h 01m 07.8s  
 Dec = 03° 22' 19.2"  
 S.D. = 00° 16' 01.1"  
 D.D. = 00 00 08.8"

Mean J2000.0 Eclipse  
 Geocentric Coordinates

RA = 09h 00m 06.6s  
 Dec = 03° 44' 53.2"  
 S.D. = 00° 16' 34.5"  
 D.D. = 01' 00" 51.4"



### Extreme Internal Contacts of Penumbra

P1 = 07:36:53.1 UT  
 P2 = 08:44:11.5 UT  
 P3 = 10:47:57.4 UT  
 P4 = 21:11:18.0 UT

### Extreme Internal Contacts of Umbra

U1 = 08:24:26.6 UT  
 U2 = 08:46:23.0 UT  
 U3 = 11:05:58.9 UT  
 U4 = 11:48:00.8 UT

### Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 23° 09' 22.8" S  
 Long. = 016° 27' E  
 Path Width = 182.5 km  
 Duration = 02:22:02.5

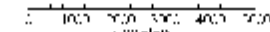
### Elements & Constants

Eqh. = Sawtooth/4 Lib  
 A1 = 1419 s  
 k = 0.27248881  
 k2 = 0.2722810  
 dr = 0.0" Δ = 0.0"

### Geometric Libration (Orbital + Physical)

l = 2.19°  
 b = 0.52°  
 n = -21.71"

Mean Sun Pos. = 1350



© 2006 IAU, IAGG & IAGLR  
[www.iau.org/public/info/eclipse/eclimf](http://www.iau.org/public/info/eclipse/eclimf)

Вокруг темного диска Луны будет видно несколько ярких красных пятен – протуберанцев. Они еще ярче внутренней короны, и для их съемки нужны еще меньшие экспозиции и обязательно цветная фотопленка.

При подготовке к фотосъемкам во время солнечного затмения не забудьте о том, что времени на перефокусировку и, тем более, замену фотопленки и вас не будет – полная фаза длится всего 2-3 минуты!

Во время полной фазы солнечного затмения станет темно, как во время сумерек, при этом небо приобретет насыщенно синий цвет, и только вдоль горизонта оно будет ярко-красным: это «заревое кольцо» создается удаленными участками атмосферы Земли, находящимися вне конуса лунной тени.

Для запечатления появления «бриллиантового кольца» и «четок Бейли», а также бегущих теней на поверхности Земли и «заревого кольца», лучше всего подойдет видеокамера. В первом случае ее необходимо укрепить на штативе и установить максимальный масштаб изображения, а во втором случае масштаб должен быть, наоборот, минимальным.

При наблюдении полной фазы солнечного затмения помните, что снимать темные светофильтры со всей оптики можно только в последнюю минуту перед началом полного затмения, и их нужно будет установить обратно практически сразу после ее окончания! Это в равной степени относится к телескопам, телеобъективам и видеокамерам.

### Обстоятельства солнечного затмения 29 марта 2006 года

В таблице ниже приводятся обстоятельства солнечного затмения 29 марта 2006 года (время летнее местное). В таблице использованы следующие обозначения:

$T_1$ - $T_4$  – момент времени четырех контактов;

$PA_1$ - $PA_2$  – позиционные углы четырех контактов;

$h_1$  и  $h_2$  – высота Солнца над горизонтом в момент начала и конца явления;

$T_m$  – время наступления максимальной фазы;

$H_m$  – высота Солнца над горизонтом в момент наступления максимальной фазы затмения;

$\Phi_m$  – значение наибольшей линейной фазы затмения;

$\Delta T$  – продолжительность полной фазы затмения.

Населенный пункт	$T_1$	$PA_1$	$h_1$	$T_2$	$PA_2$	$T_m$	$h_m$	$T_3$	$PA_3$	$T_4$	$PA_4$	$h_4$	$\Phi_m$	$\Delta T$
	ч м с	°	°	ч м с	°	ч м с	°	ч м с	°	ч м с	°	°		м с
Алтайский	17 45 09	239	18	18 44 29	52	18 45 32	9	18 46 32	249	19 42 21	62	0	1.016	2 06
Белокуриха	17 44 57	239	18	18 44 24	45	18 45 25	9	18 46 35	256	19 42 21	62	0	1.014	2 03
Волчиха	17 42 29	238	21	18 43 19	26	18 44 14	12	18 45 09	274	19 42 17	62	3	1.008	1 50
Горно-Алтайск	17 45 26	239	17	18 44 36	52	18 45 39	8	18 45 41	250	19 42 19	62	0	1.016	2 05
Змеино-горск	17 43 59	240	20	18 45 09	141	18 45 20	11	18 45 31	160	19 42 56	60	2	1.000	0 22
Михайловский	17 42 12	238	21	18 43 06	41	18 44 10	12	18 45 13	259	19 42 23	61	3	1.013	2 07
Поспелиха	17 43 19	239	20	18 43 40	36	18 44 40	11	18 45 40	264	19 42 21	62	2	1.011	2 01
Рубцовск	17 43 13	239	20	18 43 46	78	18 44 46	11	18 45 48	222	19 42 40	61	2	1.013	2 06
Барнаул	17 43 35	237	18			18 44 10	10			19 41 17	64	1	0.972	
Бийск	17 44 44	238	18			18 45 04	9			19 41 55	63	0	0.997	

уже необходимо плавное ведение телескопа вдоль суточной параллели.

3. **Наблюдения, связанные с проверкой теории движения Луны:** наблюдение контактов, определение положения контуров полосы полной фазы на местности, фотографирование частных фаз с точной регистрацией соответствующих моментов времени.
4. **Метеорологические наблюдения:** измерение температуры воздуха в течение хода затмения; наблюдения за облачностью, атмосферным давлением, влажностью воздуха с скоростью ветра.
5. **Биологические наблюдения** над животными и растениями во время затмения.
6. **Прочие наблюдения:** четки Бейли, бегущие тени, видимость звезд и планет, видимость комет и т. д.

Остановимся на астрономической части тематики наблюдений более подробно. Солнечное затмение отличается от почти всех других астрономических явлений тем, что оно наблюдается только днем и происходит с участием нашего дневного светила. Этим и определяется вся специфика наблюдений подобного явления. Солнце – очень яркий объект, и проводить его визуальные наблюдения невооруженным глазом или в телескоп без использования специальных солнечных светофильтров *категорически запрещается* во избежание потери зрения!

Солнечные плотные нейтральные светофильтры, как правило, входят в комплект аксессуаров к телескопам. Они устанавливаются на окулярную часть телескопа, и через них можно проводить визуальные наблюдения поверхности Солнца. Этим же методом можно проводить и фотографические наблюдения, однако для фотографирования Солнца в главном фокусе фильтр должен находиться перед фокальной плоскостью, что зачастую довольно трудно осуществить на практике.

Поэтому при фотографировании Солнца темный светофильтр часто устанавливается перед объективом телескопа. Для этого он должен быть достаточно большого размера. Такой фильтр может быть заменен или дополнен диафрагмой, сильно уменьшающей эффективную площадь объектива и, следовательно, количество солнечного света. Диафрагма должна быть установлена непосредственно перед объективом телескопа или фотокамеры. Если у вас нет возможности диафрагмировать объектив и отсутствует темный светофильтр большого размера, то не отчаивайтесь – вы можете проводить фотографические наблюдения с окулярным увеличением (как показывает практика, фотографирование частных фаз солнечного затмения возможно проводить «с рук»).

Однако самым удобным и безопасным методом визуального наблюдения поверхности Солнца является проецирование его изображения на экран, устанавливаемый за окуляром телескопа (см. рис 3-5). Меняя положение окуляра и расстояние от окуляра до экрана, можно регулировать масштаб изображения Солнца. При наблюдениях Солнца с экраном нужно помнить, что смотреть в окуляр при наведении телескопа категорически запрещается!



Рис. 3-5. Проекционное наблюдение частного солнечного затмения 31 мая 2003 года

Наблюдая Солнце с помощью экрана, удобно фиксировать моменты начала и конца его частного затмения, а также следить за изменением его фазы. Во время частного затмения Солнца можно также определять моменты покрытий Луной отдельных солнечных пятен.

Главная сложность наблюдения полных солнечных затмений состоит в их скоротечности. Если вы собираетесь фотографировать солнечную корону, необходимо составить расписание экспозиций с точностью до одной секунды. С той же точностью необходимо выставить все часы. Место для проведения наблюдений должно быть также выбрано заранее, причем если высота Солнца над горизонтом в момент затмения не очень велика, а именно такая ситуация реализуется 29 марта этого года и 1 августа 2008 года, необходимо прийти в точку наблюдения ровно за сутки или двое до затмения, чтобы убедиться, что Солнце не будет закрыто никакими земными объектами.

Самым интересным и захватывающим этапом будет начало полного затмения. В это время происходит сразу несколько красивых явлений, и увидеть их все одновременно бывает очень сложно. Освещенность местности будет падать прямо на глазах, и в последние секунды перед вторым контактом на небе и поверхности Земли появится лунная тень, надвигающаяся с западной стороны горизонта. В это же время на поверхности Земли можно будет увидеть чередующиеся светлые и темные полосы. Лучшее место для этого эффекта заметен, если земля покрыта снегом, что вероятно будет иметь место 29 марта этого года в нашем крае и республике Тыва. В случае, когда затмение происходит низко над горизонтом (что также случится в этот день и в этом же районе), можно заметить быстрое изменение цвета фона неба перед началом полной фазы.

Однако самые интересные и красивые эффекты будут происходить на небе, конечно, там, где находится Солнце и затмевающая его Луна. Перед самым началом полной фазы тонкий серпик, оставшийся от Солнца, разорвется на несколько ярких пятен, просвечивающих через неровности рельефа Луны. Это явление носит название «четок Бейли». Одновременно вспыхнет солнечная корона, которая вместе с исчезающими яркими пятнами создаст подобие «бриллиантового кольца». Разумеется, все эти явления будут видны и в момент конца полной фазы, только уже в обратном порядке. Так что если вам не удалось увидеть какой-то из этих эффектов, через пару минут у вас появится еще один шанс.

Главным объектом наблюдения во время полной фазы станет солнечная корона. Она выглядит очень эффектно при визуальных наблюдениях невооруженным глазом и при использовании небольшой оптики (биноклей, подзорных труб). Достичь подобной эффектности на фотографии значительно труднее. Связано это с тем, что внутренние области короны во много раз ярче внешних, и, в зависимости от используемого фотоматериала и времени экспозиции, либо мы получим только изображение внутренней короны, либо же на фотографии будет хорошо видна внешняя корона, а ее внутренние области окажутся сильно передержанными. По этой причине съемку солнечной короны часто делают с радиальным фильтром – пластинкой, сильно затемненной в центре и более прозрачной по краям, что выравнивает освещенность фотоэмульсии внутренней и внешней короной. В последнее время широкое распространение получил метод компьютерного наложения короны, полученных с разными экспозициями.

#### Выдержки, рекомендуемые для фотографирования полного солнечного затмения (пленка ISO200)

Относительное отверстие	1:22	1:16	1:11	1:8	1:5,6	1:4	1:2,8	1:2
Четки Бейли	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000			
Бриллиантовое кольцо, протуберанцы	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	
Внутренняя корона	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000
Внешняя корона	1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125
Заревое кольцо	2	1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60

Оптимальное значение выдержки при фотографировании полного солнечного затмения вы можете найти с помощью приводимой здесь таблицы, рассчитанной на фотопленку чувствительностью 200 единиц ISO. При использовании других фотопленок нужно соответствующим образом скорректировать выдержки. В любом случае, при фотографировании солнечной короны диапазон используемых значений диафрагмы и времени экспозиции следует максимально расширить. Кадры с короткой выдержкой лучше делать в самом начале и самом конце полного затмения, а внешнюю корону лучше снимать вблизи момента наибольшей фазы затмения. Для приблизительной оценки времени экспозиции можно также учесть, что внутренняя корона по яркости близка к полной Луне, а внешняя – значительно слабее.