

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые любители астрономии! Перед Вами новая книга из серии «Астробиблиотека» (АстроКА). По сути это переиздание книги «Солнечное затмение 29 марта 2006 года и его наблюдение». Но выход в свет данного издания приурочен уже к другому предстоящему полному солнечному затмению, которое произойдет 1 августа 2008 года, и будет также видимо на территории нашей страны. Интерес к данному затмению очень велик. Достаточно сказать, что **в ближайшие полвека (!) с густонаселенной территории России и СНГ нельзя будет наблюдать ни одного полного солнечного затмения.** Последнее полное солнечное затмение, которое можно было наблюдать в России, имело место более двух лет назад. Тогда затмение было видимо на Кавказе, в Прикаспийской низменности, Казахстане и Алтае. Полоса полной фазы этого солнечного затмения проходила по восточной оконечности Южной Америки, Атлантическому океану, Северной Африке, Средиземному морю, территории Турции. В России и СНГ лунная тень прошла через Черное море, вступила на территорию Кавказа, прошла по территории Астраханской области, задев северным краем, саму Астрахань. В полосу полной фазы попали также Казахстан и Алтай. Полоса полного затмения 1 августа 2008 года пройдет по менее населенным областям нашей страны (с севера на юг по Западной Сибири), но зато тень Луны покроет город Новосибирск – научный центр Сибири, и большинство астрономов профессионалов и любителей астрономии, несомненно, будут вести наблюдения именно в этом городе. Продолжительность предстоящего полного затмения в отдельно взятом пункте не превысит двух с половиной минут, что меньше чем при затмении 2006 года. На территории России (как и на всей Земле) максимальная продолжительность полной фазы затмения будет равна 2 минутам 27 секундам в пункте Нижневартовск (Тюменская область). Но поскольку это, практически, последнее затмение на территории России в ближайшие полвека, увидеть его постарается каждый любитель астрономии. По обе стороны от полосы полного затмения солнечное затмение будет частным, т. е. Луна закроет Солнце частично. Полное солнечное затмение характеризуется быстро наступающей темнотой среди бела дня и черным диском Солнца с окружающей его короной на прозрачном небе. При этом на потемневшем небе появляются звезды и планеты, видимые в данный момент над горизонтом. В России есть много любителей астрономии, которые имеют возможность провести наблюдения солнечного затмения самыми современными оптическими средствами и самым простым оборудованием, обычным фотоаппаратом. Для того, чтобы результативно подготовиться к наблюдениям необходимо заранее знать об обстоятельствах затмения, сведения о которых можно получить из этой книги. Необходимо учитывать и то, что затмение в различных пунктах будет происходить в разное время и, чем дальше друг от друга пункты, тем больше эта разница. При подготовке к наблюдениям полного солнечного затмения необходимо ограничиться только теми задачами, которые посильны любителям астрономии, т.к. время полного затмения очень недолго и лучше решить одну задачу наблюдений полностью, чем решить лишь частично несколько задач. Второстепенной, но нужной задачей любителей астрономии является также разъяснение населению причин и времени предстоящего полного или частного солнечного затмения. Надеюсь, что данная книга будет полезна Вам, уважаемые читатели, при подготовке к наблюдениям затмения и при их проведении. Замечания по книге писать составителю на [sev\\_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru](mailto:sev_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru)  
**Ясного неба и успешных наблюдений!**

Козловский А.Н.

АСТРОБИБЛИОТЕКА



# СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ 1 августа 2008 года И ЕГО НАБЛЮДЕНИЕ

(переиздание книги «Солнечное затмение  
29 марта 2006 года и его наблюдение»)

книга из серии «Астробиблиотека» (АстроКА)

Составитель Козловский А.Н.

«АстроКА»  
2008

Серия книг «Астробиблиотека» основана в 2004 году (идея составителя данной книги)

**Солнечное затмение 1 августа 2008 года и его наблюдение,**  
составитель Козловский Александр Николаевич, 2007 год. - 107 стр.  
Серия: «Астробиблиотека»

В книге описывается предстоящее полное солнечное затмение 1 августа 2008 года, которое будет наблюдаться на территории России. В книге рассказывается о физической природе Солнца, Земли и Луны. Так же приводятся подробные сведения о движении Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли и условия наступления солнечных затмений. Даются рекомендации для наблюдения солнечного затмения простейшими средствами, доступными каждому любителю астрономии.

Для членов астрономических кружков, любителей астрономии, школьников, студентов, преподавателей школ и людей, равнодушных к звездному небу.

Набрано и сверстано до 05.01.2008  
Word 2000.

Обложка Козловский Алексей Александрович

Корректор Козловский Алексей Александрович

Авторство не оговариваемых в тексте схем и рисунков указано непосредственно на  
схемах и рисунках

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие _____	4
Солнце (Н.Н. Гомулина) _____	5
Земля и Луна (Н.Н. Гомулина) _____	20
Движение Земли вокруг Солнца (М.М. Дагаев) _____	31
Физическая природа, движение и фазы Луны (М.М. Дагаев) _____	37
Солнечные затмения и условия их наступления (М.М. Дагаев) _____	50
Научные задачи наблюдений солнечных затмений (М.М. Дагаев) _____	60
Простейшие любительские наблюдения солнечного затмения (В.А. Бронштэн и М.М. Дагаев) _____	63
Полоса солнечного затмения 1 августа 2008 года (А.Читайло и А. Козловский) _____	73
Обстоятельства и карта солнечного затмения 1 августа 2008 года (А.Н. Козловский) _____	83
Схемы солнечного затмения 1 августа 2008 года для городов России (А.Н. Козловский) _____	89

### Приложения :

1. Схема полного солнечного затмения
2. Прогноз вероятной облачности в % на день затмения 1 августа 2008 года
- 3 .Список солнечных затмений до конца 21 века

На 1 квадратный метр обращенной к Солнцу поверхности площадки в окрестностях Земли каждую секунду поступает 1400 Дж энергии, переносимой солнечным электромагнитным излучением. Эта величина называется солнечной постоянной. Иными словами, плотность потока энергии солнечного излучения составляет 1,4 кВт/м<sup>2</sup>.

Впервые для определения солнечной энергии был использован метод измерения нагревающего действия солнечных лучей Пулье (1837 год). Такой прибор называется пиргелиометром. В пиргелиометре находилась вода, температуру которой измерял обычный термометр. Под действием солнечных лучей температура воды возрастала.

Спектр Солнца непрерывный, в нем наблюдается множество темных фраунгоферовых линий. Фраунгофер был первым, кто описал темные линии на фоне непрерывного спектра в 1814 году. Эти линии в спектре Солнца образуются в результате поглощения квантов света в более холодных слоях солнечной атмосферы.

Наибольшую интенсивность непрерывный спектр имеет в области длин волн 430–500 нм. В видимой и инфракрасной областях спектр электромагнитного излучения Солнца близок к спектру излучения абсолютно черного тела с температурой 6000 К. Эта температура соответствует температуре видимой поверхности Солнца – фотосферы. В видимой области спектра Солнца наиболее интенсивны линии H и K ионизованного кальция, линии бальмеровской серии водорода H<sub>α</sub>, H<sub>β</sub> и H<sub>γ</sub>.

Около 9 % энергии в солнечном спектре приходится на ультрафиолетовое излучение с длинами волн от 100 до 400 нм. Остальная энергия разделена приблизительно поровну между видимой (400–760 нм) и инфракрасной (760–5000 нм) областями спектра.

Солнце – мощный источник радиоизлучения. В межпланетное пространство проникают радиоволны, которые излучает хромосфера (сантиметровые волны) и корона (дециметровые и метровые волны). Радиоизлучение Солнца имеет две составляющие – постоянную и переменную. Постоянная составляющая характеризует радиоизлучение спокойного Солнца. Солнечная корона излучает радиоволны как абсолютно черное тело с температурой T = 10<sup>6</sup> К. Переменная составляющая радиоизлучения Солнца проявляется в виде всплесков, шумовых бурь. Шумовые бури длятся от нескольких часов до нескольких дней. Через 10 минут после сильной солнечной вспышки радиоизлучение Солнца возрастает в тысячи и даже миллионы раз по сравнению с радиоизлучением спокойного Солнца; это состояние длится от нескольких минут до нескольких часов. Это радиоизлучение имеет нетепловую природу.

Плотность потока излучения Солнца в рентгеновской области (0,1–10 нм) весьма мала (~5·10<sup>-4</sup> Вт/м<sup>2</sup> и сильно меняется с изменением уровня солнечной активности. В ультрафиолетовой области на длинах волн от 200 до 400 нм спектр Солнца также описывается законами излучения абсолютно черного тела.

В ультрафиолетовой области спектра с длинами волн короче 200 нм интенсивность непрерывного спектра резко падает и появляются эмиссионные линии. Наиболее интенсивна из них водородная линия лаймановской серии

## СОЛНЦЕ

(Н.Н. Гомулина)

### Данные о Солнце

Параллакс Солнца при среднем расстоянии Земли от Солнца  $\pi_c = 8.7940976'' + 0.0000147''$  (по радарным измерениям).

МАС в 1964 г. принял значение 8.79"

Параллакс Солнца меняется в пределах от 8.94" до 8.65"

Среднее расстояние от Земли до Солнца = 149 597 870 км. = 1 а.е. = 107.5 Dc = 4.85·10<sup>-6</sup> пк

Диаметр Солнца Dc = 1 390 600 км = 109.12 Dz = 14·10<sup>10</sup> см

Поверхность Солнца в 11 930 раз больше поверхности Земли = 6087·10<sup>22</sup> см<sup>2</sup> = 608.7·10<sup>10</sup> км<sup>2</sup>

Объем Солнца Vc = 1 303 800 Vz = 1.412·10<sup>33</sup> см<sup>3</sup> = 1.4·10<sup>18</sup> км<sup>3</sup> Наибольший видимый угловой диаметр Солнца = 32'31.4" = 1951.4" (Земля в перигелии)

Наименьший видимый угловой диаметр Солнца = 27.2" = 1887.2" (Земля в афелии)

Видимый угловой диаметр на расстоянии 1 а.е. (средний угловой диаметр) = 1919.26" = 31'59.26"

Одна секунда дуги (1") на поверхности Солнца соответствует 725.3 км, одна минута (1') - 43518 км.

Масса Солнца Mc = 1.989·10<sup>33</sup> г = 333 434 Мз = 328 912 (Мз + Мл)

Средняя плотность ρс = 1.409 г/см<sup>3</sup> = 0.256 рз

Плотность в центре Солнца = 160 г/см<sup>3</sup>

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца = 2.7398·10<sup>4</sup> см/с<sup>2</sup>, т.е. в 27.9 раза больше, чем на поверхности Земли

Критическая скорость (скорость освобождения) на поверхности Солнца = 617.7 км/с

Линейная скорость точки солнечного экватора 2 км/с

Синодический период вращения точки экватора 27.35 суток (13.199° в сутки)

Сидерический период вращения точки экватора 25.380 суток (14.184° в сутки)

Наклон экватора Солнца к эклиптике 7° 15' 00"

Долгота восходящего узла солнечного экватора 75° 04' (Эпоха - 1950.0)

Северный конец оси вращения Солнца пересекает небесную сферу в точке с координатами α=19ч 4м, δ=+64° (между Полярной и Вегой)

Среднее значение солнечной постоянной на высоте 65 км = 1.9 кал/(см<sup>2</sup>\*мин) = 1.3·10<sup>6</sup> эрг/(с\*см<sup>2</sup>) Колеблется не более чем на 1.5% в течение длительных периодов времени и на ± 0,4 % с короткими периодами

Мощность солнечного излучения на высоте 65 км (практически на границе темной атмосферы) соответствует 1.3 кВт/м<sup>2</sup> = 1.3·10<sup>6</sup> эрг/(см<sup>2</sup>\*с)

Светимость Солнца, принимаемая за единицу, или общая радиация, излучаемая Солнцем =  $3.88 \cdot 10^{33}$  эрг/с =  $1.19 \cdot 10^{41}$  эрг/год

Излучение одного см<sup>2</sup> поверхности Солнца  $6.41 \cdot 10^{10}$  эрг/с

Мощность общего излучения Солнца  $51 \cdot 10^{22}$  л.с. =  $374 \cdot 10^{21}$  кВт

Сила света Солнца  $302 \cdot 10^{25}$  кандел

Средняя яркость поверхности солнечного диска (на границе земной атмосферы) = 202 000 стильбов (сб)

Освещенность от Солнца (вне атмосферы) 127 000 люксов (лк) = 548 000 полных лун в зените

Видимая звездная величина Солнца в системе V = -26.78m вне атмосферы и -26.58m в зените

Видимая звездная величина Солнца в системе B = -26.3m системе U = -25.96m

Видимая фотографическая звездная величина Солнца = -26.17m

Видимая болометрическая звездная величина Солнца = -26.77m Спектральный класс Солнца G 2 V

Эффективная температура поверхности Солнца =  $5770 \pm 29$  К

Модуль расстояния Солнца m - M = -31.57m

Абсолютная фотовизуальная звездная величина = +4.96m

Абсолютная фотографическая звездная величина = +5.59m

Абсолютная болометрическая звездная величина = +4.79m

Скорость движения Солнца относительно окружающих его звезд до 6m =

19.5 км/с (по направлению к созвездию Геркулеса) = 4,2 а.е. в год =  $6 \cdot 10^8$  км/год

Апекс движения Солнца:  $\alpha = 270^\circ = 18$  ч 0м,  $\delta = +30^\circ$  (стандартный апекс) Расстояние

Солнца от центра Галактики = 10 000 пк, = 30 000 световых лет Расстояние Солнца от галактической плоскости 15 пк к северу

Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики = 220 км/с

Период обращения Солнца вокруг центра Галактики = 200 млн. лет

Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности =  $22.11 \pm 0.6$  года

Солнце – ближайшая к нам звезда. Расстояние до него по астрономическим меркам невелико: лишь 8 минут идет свет от Солнца до Земли. Но как повезло нам, жителям Земли!

Солнце – это не заурядный желтый карлик, как раньше было принято говорить. Это звезда, около которой есть планеты, содержащие много тяжелых элементов. Это звезда, которая образовалась после взрывов сверхновых, она богата железом и другими элементами. Около которой смогла сформироваться такая планетная система, на третьей планете которой – Земле – возникла жизнь.

Пять миллиардов лет – возраст нашего Солнца. За счет чего оно светит? Какова структура и дальнейшая эволюция Солнца? Какое влияние оказывает Солнце на Землю?

Солнце – звезда, вокруг которой обращается наша планета. Среднее расстояние от Земли до Солнца, т.е. большая полуось орбиты Земли, составляет 149,6 млн. км = 1 а.е. (астрономическая единица).

Солнце является центром нашей планетной системы, в которую кроме него входят 9 больших планет, несколько десятков спутников планет, несколько тысяч астероидов (малых планет), кометы, метеорные тела, межпланетная пыль и газ.

Солнце – звезда, которая светит достаточно равномерно на протяжении миллионов лет, что доказано современными биологическими исследованиями остатков сине-зеленых водорослей. Если бы температура поверхности Солнца изменилась всего на 10 %, жизнь на Земле, вероятно, была бы уничтожена. Наша звезда ровно и спокойно излучает энергию, столь необходимую для поддержания жизни на Земле.

Эта роль Солнца была замечена еще в древности. В религиях всех народов мира, мифах и сказках Солнце занимало всегда главное место. У всех народов Солнце – главное божество, например лучезарный бог Гелиос у древних греков, Дажьбог и Ярило у древних славян. От Солнца зависела жизнь человека, его благосостояние. Именно Солнце приносило тепло, давало хороший урожай.

Тысячелетиями Солнце представлялось чем-то неизблемым, совершенным, могущественным и было скорее предметом поклонения, чем исследования. Только с началом наблюдений в телескоп Галилей доказал, что на Солнце есть пятна, что Солнце вращается, установил период вращения нашей звезды.

Русский ученый-энциклопедист Михаил Ломоносов высказал в оде «Рассуждения по случаю полярного сияния» в 1743 году мнения о Солнце, очень близкие к современным научным представлениям:

«Там огненны валы стремятся  
И не находят берегов,  
Там вихри пламенны крутятся,  
Борющиеся множество веков;  
Там камни как вода кипят,  
Горящи там дожди шумят».

Размеры Солнца очень велики. Так, радиус Солнца в 109 раз, а масса – в 330 000 раз больше радиуса и массы Земли. А вот средняя плотность нашего светила невелика – всего в 1,4 раза больше плотности воды.

Впервые вращение Солнца наблюдал Галилей по движению пятен по поверхности. Различные зоны Солнца вращаются вокруг оси с различными периодами. Так точки на экваторе имеют период около 25 суток, на широте  $40^\circ$  период вращения равен 27 суток, а вблизи полюсов – 30 суток. Это доказывает, что Солнце вращается не как твердое тело, скорость вращения точек на поверхности Солнца уменьшается от экватора к полюсам.

Полное количество энергии, излучаемой Солнцем, составляет  $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{33}$  эрг/с =  $3,86 \cdot 10^{26}$  Вт. Это соответствует 6,5 кВт с каждого квадратного сантиметра его поверхности! Лишь одну двухмиллиардную часть этой энергии получает Земля.

Что является источником солнечной энергии? Какова природа процессов, в ходе которых производится огромное количество энергии? Сколько времени будет еще светить Солнце?

Первые попытки ответить на эти вопросы были сделаны астрономами в середине XIX века, после формулирования физиками закона сохранения энергии.

Роберт Майер предположил, что Солнце светит за счет постоянной бомбардировки поверхности метеоритами и метеорными частицами. Эта гипотеза была отвергнута, так как простой расчет показывает, что для поддержания светимости Солнца на современном уровне необходимо, чтобы на него за каждую секунду выпадало  $2 \cdot 10^{15}$  кг метеорного вещества. За год это составит  $6 \cdot 10^{22}$  кг, а за

время существования Солнца, за 5 миллиардов лет –  $3 \cdot 10^{32}$  кг. Масса Солнца  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг, поэтому за пять миллиардов лет на Солнце должно было выпасть вещества в 150 раз больше массы Солнца.

Вторая гипотеза была высказана Гельмгольцем и Кельвином также в середине XIX века. Они предположили, что Солнце излучает за счет сжатия на 60–70 метров ежегодно. Причина сжатия – взаимное притяжение частиц Солнца, именно поэтому данная гипотеза получила название контракционной. Если сделать расчет по данной гипотезе, то возраст Солнца будет не больше 20 миллионов лет, что противоречит современным данным, полученным по анализу радиоактивного распада элементов в геологических образцах земного грунта и грунта Луны.

Третью гипотезу о возможных источниках энергии Солнца высказал Джеймс Джинс в начале XX века. Он предположил, что в недрах Солнца содержатся тяжелые радиоактивные элементы, которые самопроизвольно распадаются, при этом излучается энергия. Например, превращение урана в торий и затем в свинец, сопровождается выделением энергии. Последующий анализ этой гипотезы также показал ее несостоятельность; звезда, состоящая из одного урана, не выделяла бы достаточно энергии для обеспечения наблюдаемой светимости Солнца. Кроме того, существуют звезды, по светимости во много раз превосходящие светимость нашей звезды. Маловероятно, что в тех звездах запасы радиоактивного вещества будут также больше.

Самой вероятной гипотезой оказалась гипотеза синтеза элементов в результате ядерных реакций в недрах звезд.

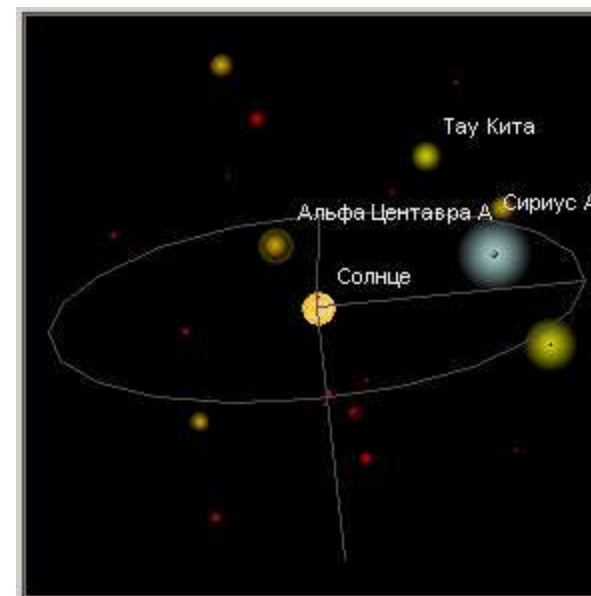
В 1935 году Ханс Бете выдвинул гипотезу, что источником солнечной энергии может быть термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Именно за это Бете получил Нобелевскую премию в 1967 году.

Химический состав Солнца примерно такой же, как и у большинства других звезд. Примерно 75 % – это водород, 25 % – гелий и менее 1 % – все другие химические элементы (в основном, углерод, кислород, азот и т.д.). Сразу после рождения Вселенной «тяжелых» элементов не было совсем. Все они, т.е. элементы тяжелее гелия и даже многие альфа-частицы, образовались в ходе «горения» водорода в звездах при термоядерном синтезе. Характерное время жизни звезды типа Солнца десять миллиардов лет.

( $\lambda = 121,5$  нм). При ширине этой линии около 0,1 нм ей соответствует плотность потока излучения около  $5 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>. Интенсивность излучения в линии приблизительно в 100 раз меньше. Заметны также яркие эмиссионные линии различных атомов, важнейшие линии принадлежат Si I ( $\lambda = 181$  нм), Mg II и Mg I, O II, O III, C III и другие.

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца возникает вблизи фотосферы. Рентгеновское излучение исходит из хромосферы ( $T \sim 10^4$  К), расположенной над фотосферой, и короны ( $T \sim 10^6$  К) – внешней оболочки Солнца. Радиоизлучение на метровых волнах возникает в короне, на сантиметровых – в хромосфере.

Солнце расположено в плоскости Галактики и удалено от ее центра на 8 кпк и от плоскости Галактики примерно на 25 пк. В области Галактики, где расположено наше Солнце, звездная плотность составляет 0,12 звезд на пк<sup>3</sup>.



Первый, кто заметил, что в направлении созвездия Геркулеса звезды как бы расходятся в разные стороны, а с противоположной стороны – как бы сдвигаются, был Вильям Гершель. Он объяснил это движением Солнца в пространстве.

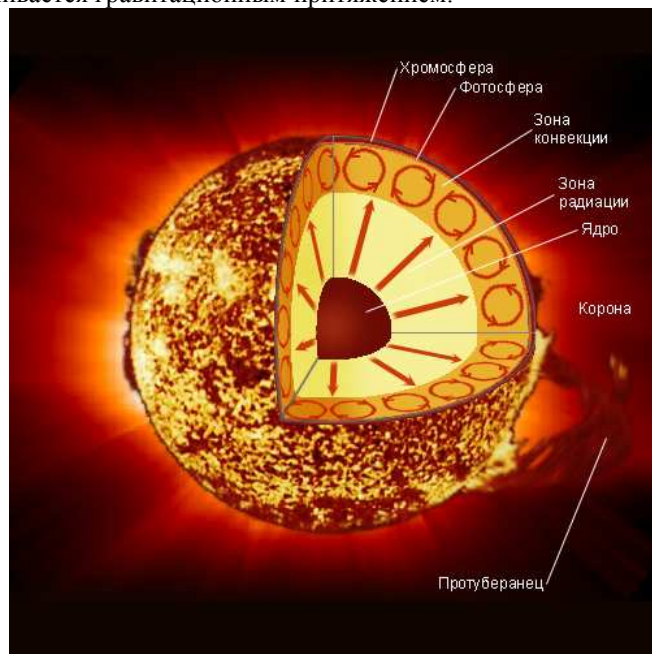
Солнце (и Солнечная система) движется со скоростью 20 км/с в направлении к границе созвездий Лиры и Геркулеса. Это объясняется местным движением внутри ближайших звезд. Эта точка называется апексом движения Солнца, ее координаты  $\alpha \approx 18^h$ ,  $\delta \approx +30^\circ$ . Точка на небесной сфере, противоположная апексу, называется антиапекс. В этой точке пересекаются направления собственных скоростей ближайших к Солнцу звезд. Движения ближайших к Солнцу звезд происходят с

небольшой скоростью, это не мешает им участвовать в обращении вокруг галактического центра.

Солнечная система участвует во вращении вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Это движение происходит в направлении созвездия Лебедя. Период обращения Солнца вокруг галактического центра около 220 млн. лет.

Солнце – раскаленный газовый шар, температура в центре которого очень высока, настолько, что там могут происходить ядерные реакции. В центре Солнца температура достигает 15 миллионов градусов, а давление в 200 миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Газ сжат здесь до плотности около  $1,5 \cdot 10^5$  кг/м<sup>3</sup> (тяжелее железа).

Солнце – сферически симметричное тело, находящееся в равновесии. Плотность и давление быстро нарастают вглубь; рост давления объясняется весом всех вышележащих слоев. В каждой внутренней точке Солнца выполняется условие гидростатического равновесия. Это означает, что давление на любом расстоянии от центра уравнивается гравитационным притяжением.



В центральной области с радиусом примерно в треть солнечного – ядре – происходят ядерные реакции. Затем через зону лучистого переноса энергия излучением переносится из внутренних областей Солнца к поверхности. И фотоны, и нейтрино рождаются в зоне ядерных реакций в центре Солнца. Но если нейтрино очень слабо взаимодействуют с веществом и мгновенно свободно покидают Солнце, то фотоны многократно поглощаются и рассеиваются до тех пор, пока не достигнут внешних, более прозрачных слоев атмосферы Солнца, которую называют фотосферой. Пока температура высока – больше 2 миллионов градусов, – энергия

переносится лучистой теплопроводностью, то есть фотонами. Зона непрозрачности, обусловленная рассеянием фотонов на электронах, простирается примерно до

расстояния  $2/3 R_{\odot}$  радиуса Солнца. При понижении температуры непрозрачность сильно возрастает, и диффузия фотонов длится около миллиона лет.

Примерно с расстояния  $2/3 R_{\odot}$  находится конвективная зона. В этих слоях непрозрачность вещества становится настолько большой, что возникают крупномасштабные конвективные движения. Здесь начинается конвекция, то есть перемешивание горячих и холодных слоев вещества. Аналогичный процесс происходит в кипящей воде. Время подъема конвективной ячейки сравнительно невелико – несколько десятков лет.

Исследование глубинных слоев Солнца в последнее время продвинулось вперед за счет гелиосейсмологии.

Гелиосейсмология – наука, которая изучает колебания Солнца.

В шестидесятых годах XX века астрономы обнаружили, что верхний слой солнечной атмосферы раз в пять минут поднимается и опускается. Благодаря этим «солнцетрясениям» астрофизики научились прослушивать Солнце, как врач слушает удары сердца человека.

В солнечной атмосфере распространяются акустические волны, подобные звуковым волнам в воздухе. В верхних слоях солнечной атмосферы волны, возникшие в конвективной зоне и в фотосфере, передают солнечному веществу часть механической энергии конвективных движений и производят нагревание газов последующих слоев атмосферы – хромосферы и короны. В результате верхние слои фотосферы с температурой около 4500 К оказываются самыми «холодными» на Солнце. Как вглубь, так и вверх от них температура газов быстро растет.

Всякая солнечная атмосфера постоянно колеблется. В ней распространяются как вертикальные, так и горизонтальные волны с длинами в несколько тысяч километров. Колебания носят резонансный характер и происходят с периодом около 5 минут.

Но самое интересное – регистрация скорости колебания солнечной поверхности. Эти скорости очень малы – десятки сантиметров в секунду, но спектральными приборами (используя эффект Доплера) измеряется изменение скорости во времени, а не само значение скорости. Удалось построить зависимость скорости от глубины, что привело к уточнению внутреннего строения Солнца.

Стало ясно, что внутренние части Солнца вращаются быстрее; особенно быстро вращается ядро. Именно особенности такого вращения могут приводить к возникновению магнитного поля Солнца.

Одна из нерешенных пока проблем – причины самих колебаний. Возможно, одной из причин может быть грануляция: выходящие на поверхность потоки плазмы вызывают разбегающиеся во все стороны волны. Однако, эта модель не может удовлетворительно ответить на все вопросы: в частности, почему волны столь устойчивы, что могут обегать все Солнце, не затухая.



удалена от поверхности Солнца на расстояние не более одного радиуса. Внешняя корона Солнца имеет протяженные границы.

Важной особенностью короны является ее лучистая структура. Корональные лучи имеют самую разнообразную форму. С одиннадцатилетним циклом Солнца меняется общий вид солнечной короны. В эпоху минимума корона имеет округлую форму, она как бы «причесана». В эпоху максимума корональные лучи раскинуты во все стороны.

Часто, особенно когда на Солнце имеются большие группы пятен, в хромосфере возникают вспышки. Они похожи на огромные взрывы, длящиеся всего лишь несколько минут. За несколько минут в маленькой области высвобождается энергия порядка 100 000 миллиардов кВт/час: столько же тепла поступает от Солнца на Землю в год! Причины вспышек пока еще плохо изучены; по-видимому, они вызываются резким изменением магнитного поля в хромосфере. Энергия вспышки выделяется в вершине корональной петли, затем распространяется в сторону фотосферы, вызывая нагрев и испарение более холодных слоев. При этом излучение резко возрастает не только в видимой области спектра, но и в ультрафиолете, и в рентгеновской области спектра, увеличивается поток космических лучей. Вспышки вызывают изменения в магнитном поле Земли и могут даже повредить системы электроснабжения.

Другим проявлением солнечной активности является появление плазменных образований в магнитном поле солнечной атмосферы – волокон. Если эти волокна видны на краю Солнца, то они наблюдаются как протуберанцы.

Протуберанцами называются огромные образования в короне Солнца. Плотность и температура протуберанцев такая же, как и вещества хромосферы, но на фоне горячей короны протуберанцы – холодные и плотные образования. Температура протуберанцев около 20 000 К. Некоторые из них существуют в короне несколько месяцев, другие, появляющиеся рядом с пятнами, быстро движутся со скоростями около 100 км/с и существуют несколько недель. Отдельные протуберанцы движутся с еще большими скоростями и внезапно взрываются; они называются эруптивными.

Размеры протуберанцев могут быть разными. Типичный протуберанец имеет высоту около 40 000 км и ширину около 200 000 км. Дугообразные протуберанцы достигают размеров 800 000 км. Зарегистрированы и рекордсмены среди протуберанцев, их размеры превышали 3 000 000 км. Корональные петли и арки высотой в сотни тысяч километров состоят из отдельных тонких петелек, скрученных друг с другом, как нити в веревке. Выбросы плазмы из глубинных слоев Солнца, согласно последним исследованиям, являются основной причиной разогрева солнечной короны.

Впервые пятна на Солнце в телескоп наблюдал Галилей в 1610 году. Но и до него астрономы уже наблюдали невооруженным глазом наиболее крупные группы пятен. Так, в Никоновской летописи в 1365 и 1371 годах наблюдались «бысть знамение в Солнце, места черны по Солнцу аки гвозди...»

Пятна на Солнце – очевидный признак его активности. Это более холодные области фотосферы. Температура пятен около 3500 К, поэтому на ярком фоне фотосферы (с температурой около 6000 К) они кажутся темнее. Образование пятен

Основной источник энергии – протон-протонный цикл – очень медленная реакция (характерное время  $7,9 \cdot 10^9$  лет), так как обусловлена слабым взаимодействием. Ее суть состоит в том, что из четырех протонов получается ядро гелия. При этом выделяются пара позитронов и пара нейтрино, а также 26,7 МэВ энергии. Количество нейтрино, излучаемое Солнцем за секунду, определяется только светимостью Солнца. Поскольку при выделении 26,7 МэВ рождается 2 нейтрино, то скорость излучения нейтрино:  $1,8 \cdot 10^{38}$  нейтрино/с.

Прямая проверка этой теории – наблюдение солнечных нейтрино. Нейтрино высоких энергий (борные) регистрируются в хлор-аргонных экспериментах (эксперименты Дэвиса) и устойчиво показывают недостаток нейтрино по сравнению с теоретическим значением для стандартной модели Солнца. Нейтрино низких энергий, возникающие непосредственно в pp-реакции, регистрируются в галлий-германиевых экспериментах (GALLEX в Гран Сассо (Италия – Германия) и SAGE на Бакасане (Россия – США)); их также «не хватает».

По некоторым предположениям, если нейтрино имеют отличную от нуля массу покоя, возможны осцилляции (превращения) различных сортов нейтрино (эффект Михеева – Смирнова – Вольфенштейна) (существует три сорта нейтрино: электронное, мюонное и тауонное нейтрино). Т.к. другие нейтрино имеют гораздо меньшие сечения взаимодействия с веществом, чем электронное, наблюдаемый дефицит может быть объяснен, не меняя стандартной модели Солнца, построенной на основе всей совокупности астрономических данных.

Каждую секунду Солнце перерабатывает около 600 миллионов тонн водорода. Запасов ядерного топлива хватит еще на пять миллиардов лет, после чего оно постепенно превратится в белый карлик.

Центральные части Солнца будут сжиматься, разогреваясь, а тепло, передаваемое при этом внешней оболочке, приведет к ее расширению до размеров, чудовищных по сравнению с современными: Солнце расширится настолько, что поглотит Меркурий, Венеру и будет тратить «горючее» в сто раз быстрее, чем в настоящее время. Это приведет к увеличению размеров Солнца; наша звезда станет красным гигантом, размеры которого сравнимы с расстоянием от Земли до Солнца! Жизнь на Земле исчезнет или найдет пристанище на внешних планетах.

Мы, конечно, будем заранее поставлены в известность о таком событии, поскольку переход к новой стадии займет примерно 100–200 миллионов лет. Когда температура центральной части Солнца достигнет 100 000 000 К, начнет сгорать и гелий, превращаясь в тяжелые элементы, и Солнце вступит в стадию сложных циклов сжатия и расширения. На последней стадии наша звезда потеряет внешнюю оболочку, центральное ядро будет иметь невероятно большую плотность и размеры, как у Земли. Пройдет еще несколько миллиардов лет, и Солнце остынет, превратившись в белый карлик.

Наблюдаемое излучение Солнца возникает в его тонком внешнем слое,

который называется фотосферой. Толщина этого слоя  $0,001R_{\odot} = 700$  км.

В фотосфере образуется видимое излучение Солнца, имеющее непрерывный спектр. Плотность вещества на нижней границе фотосферы  $5 \cdot 10^{-7}$  г/см<sup>3</sup>, тогда как на

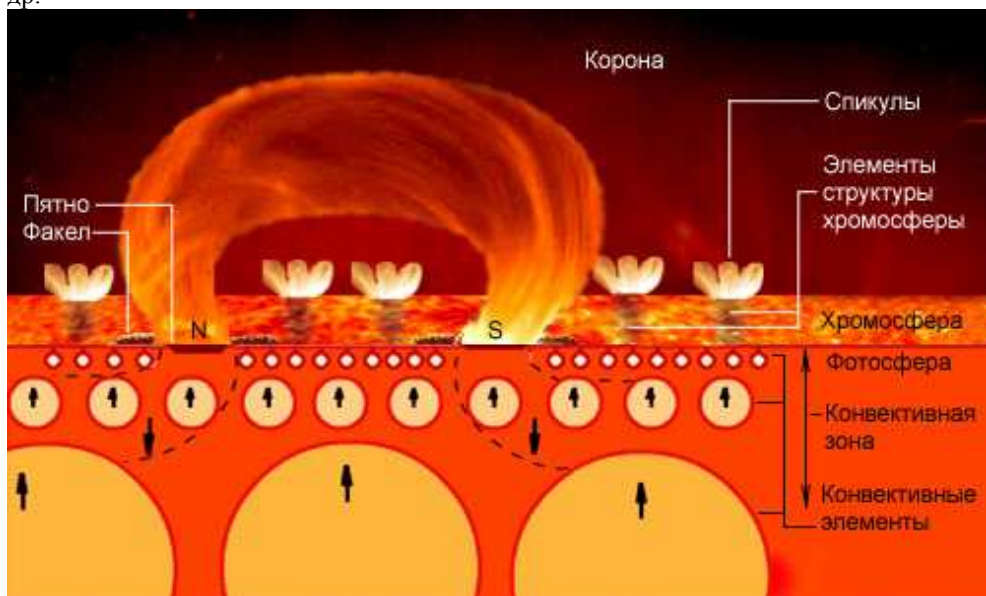
верхней границе она в тысячу раз меньше (атмосфера Земли у поверхности более плотна).

«Видимая» поверхность Солнца определяется той глубиной в атмосфере, ниже которой она практически непрозрачна. За эту поверхность условно принимают уровень, на котором при наблюдении сверху оптическая толщина на длине волны  $\lambda = 500$  нм достигает единицы. Он не отсчитывают высоту  $h$  в атмосфере.

Видимый нами свет излучается отрицательными ионами водорода. Они же его и поглощают, поэтому с глубиной фотосфера быстро теряет прозрачность. Вот почему видимый край Солнца кажется нам очень резким.

На поверхности Солнца можно разглядеть много деталей. Вся фотосфера Солнца состоит из светлых зернышек, пузырьков. Эти зернышки называются гранулами. Размеры гранул невелики, 1000–2000 км (около 1" дуги), расстояние между ними – 300–600 км. На Солнце наблюдается одновременно около миллиона гранул. Каждая гранула существует несколько минут. Гранулы окружены темными промежутками, как бы сотами. В гранулах вещество поднимается, а вокруг них – опускается. Грануляция – проявление конвекции в более глубоких слоях Солнца.

Гранулы создают общий фон, на котором можно наблюдать несравненно более масштабные образования, такие, как протуберанцы, факелы, солнечные пятна и др.



Хромосфера Солнца видна только в моменты полных солнечных затмений. Луна полностью закрывает фотосферу, и хромосфера вспыхивает, как небольшое кольцо ярко-красного цвета, окруженное жемчужно-белой короной. Хромосфера получила свое название именно из-за этого явления (греч. «окрашенная сфера»).

Размеры хромосферы 10–15 тысяч километров, а плотность вещества в сотни тысяч раз меньше, чем в фотосфере. Температура в хромосфере быстро растет,

достигая в верхних ее слоях десятков тысяч градусов. Рост температуры объясняется воздействием магнитных полей и волн, проникающих в хромосферу из зоны конвективных движений. Здесь нагрев происходит, как в микроволновой печи, только гигантских размеров.

На краю хромосферы наблюдаются выступающие язычки пламени – хромосферные спикюлы, представляющие собою вытянутые столбики из уплотненного газа. Температура этих струй выше, чем температура фотосферы.

Во время полного солнечного затмения можно получить спектр хромосферы, который называется спектр вспышки. Он состоит из ярких эмиссионных линий водорода бальмеровской серии, гелия, ионизированного кальция и других элементов, которые внезапно вспыхивают во время полной фазы затмения.



Самая внешняя, самая разреженная и самая горячая часть солнечной атмосферы – корона. Она прослеживается от солнечного лимба до расстояний в десятки солнечных радиусов. Несмотря на сильное гравитационное поле Солнца, это возможно благодаря огромным скоростям движения частиц, составляющих корону. Корона имеет температуру около миллиона градусов и состоит из высокоионизированного газа. Возможно, причиной такой высокой температуры являются поверхностные выбросы солнечного вещества в виде петель и арок. Миллионы колоссальных фонтанов переносят в корону вещество, нагретое в глубинных слоях Солнца.

Яркость короны в миллионы раз меньше, чем фотосферы, поэтому корону можно видеть только во время полного солнечного затмения, либо с помощью коронографа. Наиболее яркую ее часть принято называть внутренней короной. Она



**ЗЕМЛЯ И ЛУНА**

(Н.Н. Гомулина)

**Данные о Земле**Экваториальный радиус  $a = 6378.140$  кмПолярный радиус  $b = 6356.774$  кмСредний радиус =  $6371.032$  кмРадиус-вектор на уровне моря на широте  $\varphi$  $r = a (0.9983207 + 0.00167644 \cos 2\varphi - 0.00000352 \cos 4\varphi + \dots)$ Сплюснутость земного эллипсоида  $\varphi = a - b / a = 1/298.257$ 

Эксцентриситет земного меридиана

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = 0,081820$$

Поверхность Земли =  $510\,100\,000$  км<sup>2</sup>

Поверхность суши = 28.7 % всей поверхности Земли

Примечание. Около 0,1 суши покрыто вечными снегами и льдом

Водная поверхность = 71.3 % всей поверхности Земли

Объем Земли =  $1.0832 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup> =  $1.1 \cdot 10^{27}$  см<sup>3</sup>Масса Земли =  $5.977 \cdot 10^{27}$  г = 1 : 332 958 ( $\pm 20$ ) массы Солнца (или три миллионные доли массы Солнца)

Около 0.024 % массы Земли составляет вода во всех ее формах:

Масса атмосферы Земли =  $5.158 \pm 0.001 \cdot 10^{21}$  гСредняя плотность Земли =  $5.518$  г/см<sup>3</sup>Средняя плотность земной коры =  $2.80$  г/см<sup>3</sup>Критическая скорость (скорость освобождения) у поверхности =  $11.189$  км/сДлина 1° географической долготы =  $111.321 \cdot \cos \varphi - 0.094 \cdot \cos 3\varphi$  кмДлина 1° географической широты =  $111.143 - 0.562 \cdot \cos 2\varphi$  кмРазность астрономической  $\varphi$  и геоцентрической  $\varphi'$  широт  $\varphi - \varphi' = 692,74'' - \sin 2\varphi - 1.163'' - \sin 4\varphi + 0,003'' \cdot \sin 6\varphi$ Угловая скорость вращения Земли =  $15.041''$  с<sup>-1</sup>

Период вращения Земли = 23ч 56м 04с

Линейная скорость точки экватора =  $465.119$  м/сЛинейная скорость точки земной поверхности на широте  $\varphi$  =  $465.119 - \cos \varphi$  м/сСредняя скорость движения Земли по орбите =  $29.765$  км/с =  $100\,000$  км/чНаибольшая скорость (в перигелии) =  $30.287$  км/сНаименьшая скорость (в афелии) =  $29.291$  км/с

связано с магнитным полем Солнца. Небольшие пятна имеют в поперечнике несколько тысяч километров. Размеры крупных пятен достигают  $100\,000$  км; такие пятна существуют около месяца.

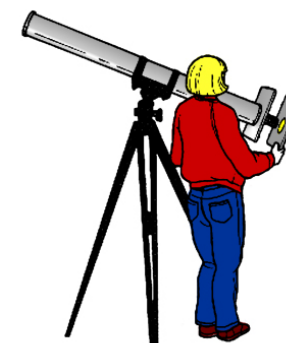
Солнечные пятна имеют внутреннюю структуру: более темную центральную часть – ядро – и окружающую ее полутень. Солнечные пятна часто образуют группы, которые могут занимать значительную площадь на солнечном диске. Так, 18 сентября 2000 года была зарегистрирована группа пятен, общая площадь которой равнялась 6,5 миллиардам км<sup>2</sup>. На этой территории поверхность земного шара поместится целых 13 раз.

Установлено, что пятна – места выхода в атмосферу сильных магнитных полей. Поля уменьшают поток энергии, исходящий из ядра, поэтому в месте их выхода на поверхность температура падает. Пятна обычно возникают группами.

Пятна на Солнце часто бывают окружены светлыми зонами, называемыми факелами. Они горячее атмосферы примерно на  $2000$  К и имеют ячеистую структуру (величина каждой ячейки – около 30 тысяч километров). Часто встречаются факельные поля, внутри которых пятен нет.

Факелы образуются в результате конвекции из глубоких слоев Солнца. Они существуют недели и месяцы. В некоторых факельных полях между гранулами появляется черная точка, она начинает быстро расти и на следующий день превращается в пятно с резкой границей. Через 3–4 дня вокруг пятна образуется полутень. К десятому дню площадь пятна достигает максимума, после этого оно начинает уменьшаться и, наконец, исчезает. В группе пятен сначала исчезают самые мелкие пятна.

Недалеко от пятен протягиваются темные нити длиной вплоть до сотен тысяч километров. Они представляют собой зоны нулевого магнитного поля и отделяют регионы с противоположной полярностью.



Солнечные пятна можно увидеть с помощью небольшого телескопа, приспособив его для получения проекция изображения Солнца. Телескоп направляется на Солнце, после чего, например, на листе бумаги, расположенном на расстоянии 10–20 см от окуляра, можно увидеть четкое изображение солнечного диска. Остерегайтесь смотреть непосредственно в окуляр!

После семнадцатилетних наблюдений Генрих Швабе установил, что количество пятен на Солнце с течением времени меняется. В годы минимума пятен на поверхности Солнца может не быть совсем, в годы максимума их число измеряется десятками. Максимумы и минимумы чередуются в среднем каждые 11 лет (от 7 до 17 лет), последний максимум солнечной активности был в 2000 году. Основной характеристикой солнечной активности является число Вольфа, равное сумме общего количества пятен  $f$  и удесятеренного количества групп пятен (одиночное пятно также считается группой)  $g$ :  $W = f + 10g$

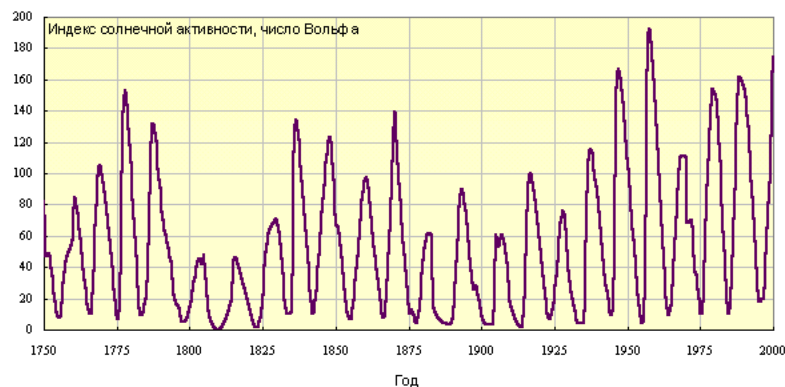
Возможно, существуют и более длительные циклы солнечной активности.

В период минимума солнечной активности пятна появляются в средних широтах, в периоды максимума – около экватора. Около полюсов пятна практически не наблюдаются. В начале одиннадцатилетнего цикла солнечной активности большая часть пятен расположена на широтах от  $20^\circ$  до  $30^\circ$  (закон Шперера). Если зависимость широты пятен от времени изобразить на диаграмме, то зоны активности образуют на ней «бабочку Маундера».

В начале XX века Д. Хейл обнаружил, что магнитные полярности первых, ведущих, пятен и хвостовых пятен в северном и южном полушариях Солнца противоположны и меняются полюсами в каждом новом цикле. Поэтому полный цикл солнечной активности происходит в течение 22 лет.

Цикл активности солнечных пятен имеет прямое отношение к земному климату. У некоторых деревьев толщина колец имеет одиннадцатилетний цикл. В конце XVII – начале XVIII века, когда пятен практически не было, в Европе стояла очень холодная погода.

В начале XX века Александр Чижевский после многолетних статистических исследований доказал зависимость количества событий в общественной жизни на Земле от активности Солнца. Выяснилось, что в годы максимумов солнечной активности на Земле увеличивается количество революций и войн, усиливается политическая активность населения. Максимумы солнечной активности также провоцируют развитие многих болезней: в частности, усиливается вероятность эпидемий. Результаты своей работы он обобщил в книге «Физические факторы исторического процесса».



Солнце является источником постоянного потока частиц. Нейтрино, электроны, протоны, альфа-частицы, а также более тяжелые атомные ядра все вместе составляют корпускулярное излучение Солнца. Значительная часть этого излучения представляет собой более или менее непрерывное истечение плазмы, так называемый солнечный ветер, являющийся продолжением внешних слоев солнечной атмосферы – солнечной короны. Вблизи Земли его скорость составляет обычно 400–500 км/с. Поток заряженных частиц выбрасывается из Солнца через корональные дыры – области в атмосфере Солнца с открытым в межпланетное пространство магнитным полем.

Первые измерения солнечного ветра произведены в 1959 году на АМС «Луна-9». В 1962 году «Маринер-2», направлявшийся к Венере, произвел наблюдения солнечного ветра и получил следующие результаты: скорость солнечного ветра изменялась в границах от 350 м/с до 800 м/с, средняя концентрация солнечного ветра 5,4 иона на  $1 \text{ см}^3$ , ионная температура 160 000 К. Средняя напряженность магнитного поля  $6 \cdot 10^{-5}$  эрстед.

Много нового о солнечном ветре выяснила международная космическая станция SOHO. Оказалось, что он переносит такие элементы, как никель, железо, кремний, сера, кальций, хром.

Солнце вращается с периодом 27 суток. Траектории движения частиц солнечного ветра, движущихся вдоль линий индукции магнитного поля, имеют спиральную структуру, обусловленную вращением Солнца. В результате вращения Солнца геометрической формой потока солнечного ветра будет архимедова спираль, напоминающая форму струи воды из садового шланга, вращающегося вокруг оси.

В дни солнечных бурь солнечный ветер резко усиливается. Он вызывает полярные сияния и магнитные бури на Земле, а космонавтам не следует в это время выходить в открытый космос.

Под воздействием солнечного ветра хвосты комет всегда направлены в сторону от Солнца. Космический аппарат «Вояджер» обнаружил солнечный ветер даже за орбитой Плутона. Фактически, мы живем в образованной солнечным ветром гигантской гелиосфере, хоть и защищены от нее магнитным полем Земли.

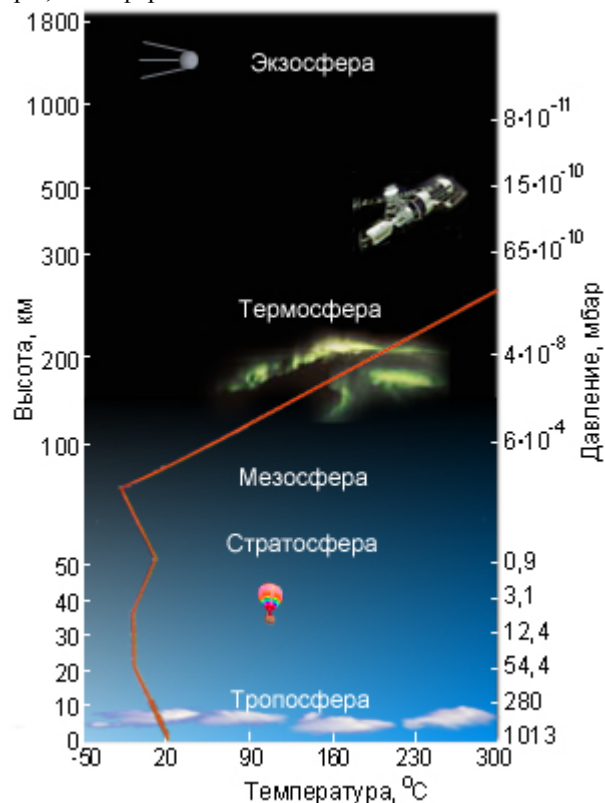
Солнце – мощный источник радиоизлучения. В межпланетное пространство проникают сантиметровые радиоволны, которые излучает хромосфера, и более длинные волны, излучаемые короной.

Если в видимых лучах Солнце излучает сравнительно стабильно (изменения происходят на доли процента), то в радиодиапазоне излучение может изменяться в сотни и даже тысячи раз. Радиоизлучение Солнца имеет две составляющие – постоянную и переменную. Постоянная составляющая характеризует радиоизлучение спокойного Солнца. Солнечная корона излучает радиоволны как абсолютно черное тело с температурой  $T = 10^6 \text{ К}$ . Переменная составляющая радиоизлучения Солнца проявляется в виде всплесков, шумовых бурь. Шумовые бури длятся от нескольких часов до нескольких дней. Через 10 минут после сильной солнечной вспышки радиоизлучение Солнца возрастает в тысячи и даже миллионы раз по сравнению с радиоизлучением спокойного Солнца и длится от нескольких минут до нескольких часов. Это радиоизлучение имеет нетепловую природу.

Основные составляющие атмосферы Земли – азот и кислород. Остальные газы: водяной пар, углекислота, неон, метан, водород и другие – составляют около 1 %. Давление атмосферы на уровне моря – 1 атм = 101325 Па = 760 мм рт. ст.

Стандартная атмосфера соответствует температуре воздуха 15,0°C, относительной влажности  $f = 0\%$ , плотности  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ .

Атмосфера Земли состоит из ряда слоев – тропосферы, стратосферы, мезосферы, термосферы, экзосферы:



Их разделяют промежуточные слои атмосферы – тропопауза, стратопауза, мезопауза и термопауза. В мезопаузе, на высоте 85 км, находится температурный минимум. Здесь же наблюдаются серебристые облака.

По уровню ионизации, электропроводности и способности отражать и поглощать радиоволны в атмосфере выделяют еще несколько слоев. Слой атмосферы, заключенный между высотами 100 и 1000 км, называют ионосферой. Положение и интенсивность слоев ионосферы меняется ото дня к ночи и в зависимости от изменений солнечной активности.

Максимальная концентрация

Ускорение Земли к Солнцу =  $0.59 \text{ см/с}^2$

Ускорение силы тяжести на Земле (стандартное)  $g_0 = 980.665 \text{ см/с}^2$

Ускорение силы тяжести на широте 45° (абсолютное)  $g_{45} = 980.616 \text{ см/с}^2$

Излучение ночного неба Земли (в ясную ночь) 0,1 - 0,2 кал/(см<sup>2</sup>\*мин)

### Данные о Луне

Средний суточный параллакс Луны =  $57' 2.61'' = 1^\circ$  (параллакс меняется в среднем от  $53' 54.6''$  до  $61' 31.4''$ )

Среднее расстояние Луны от Земли = 384 400 км = 0.00257 а.е. = 60.2682 радиуса Земли (расстояние меняется от 356 410 до 406 740 км). По радиолокационным данным  $384\,402 \pm 2 \text{ км}$ .

Наибольший видимый угловой диаметр Луны =  $32' 53.5''$

Наименьший видимый угловой диаметр Луны =  $29' 28.1''$

Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли  $31' 5.16'' = 1865.2''$

Диаметр Луны = 3476.0 км = 0.27256 экв. диаметра Земли

Объем Луны =  $2185.3 \cdot 10^7 \text{ км}^3 = 2.2 \cdot 10^{25} \text{ см}^3 = 0.020266$  объема Земли

Поверхность Луны =  $3.796 \cdot 10^7 \text{ км}^2 = 0.0743$  земной

Масса Луны =  $1/81,301$  массы Земли = 0,012300 массы Земли =  $1/27070500$  массы

Солнца =  $7,35 \cdot 10^{25} \text{ г} = 73,5$  триллиона тонн

Средняя плотность Луны =  $3.347 \text{ г/см}^3 = 0.607$  средней плотности Земли

Ускорение силы тяжести на поверхности Луны =  $1.623 \text{ м/с}^2 = 0.165$  земного =  $1/6$  земного

Критическая скорость (скорость освобождения) 2.375 км/с

Средний эксцентриситет лунной орбиты 0,05490 =  $1/18$  (линейный эксцентриситет = 21 000 км)

Наклон лунной орбиты к эклиптике =  $5^\circ 8' 43.4''$  (меняется от  $4^\circ 59'$  до  $5^\circ 17'$ )

Средний наклон лунного экватора к орбите =  $6^\circ 40.7'$  (меняется от  $6^\circ 51'$  до  $6^\circ 31'$ )

Наклон лунного экватора к эклиптике =  $1^\circ 32' 47'' \pm 24''$

Наклон лунной орбиты к земному экватору меняется от  $18^\circ 18'$  до  $28^\circ 36'$

Либрация по долготе =  $\pm 7^\circ 54'$

Либрация по широте =  $\pm 6^\circ 50'$

Параллактическая либрация около 1 %

Невидимая с Земли часть поверхности Луны составляет 0.410 всей поверхности Луны (в первый раз сфотографирована первой советской автоматической межпланетной станцией в октябре 1959 г.); 0.180 всей поверхности то видимы, то невидимы

Средняя видимая угловая скорость движения Луны =  $13^\circ 10' 35''$  в сутки или около  $0.51^\circ$  в час = поперечник лунного диска в час

Средняя скорость движения Луны по орбите = 1.023 км/с = 3681 км/ч Ускорение Луны в ее движении вокруг Земли 0.272 см/с<sup>2</sup>

Сидерический месяц, равный периоду обращения Луны вокруг Земли = 27д 7ч 43м 11.47с = 27.321661 средних суток = 655ч 43м

Синодический месяц = 29д 12ч 44м 2.78с = 29.5305882 средних суток = 708ч 41м (отклоняется от среднего значения на 13ч, вследствие эллиптичности лунной орбиты)

Период вращения линии узлов = 6798д = 18,61 тропического года

Период вращения линии апсид = 3232.6д = 8.849 тропического года Сферическое альbedo Луны в полнолуние = 0.0748

Видимая визуальная звездная величина в полнолуние = -12,55m ± 0.05m (полная Луна светит в 465 000 (±10%) раз слабее Солнца)

Показатель цвета Луны B - V = +1,2m

Средняя яркость полной Луны = 0.251 сб

Освещенность, создаваемая полной Луной в зените на Земле на поверхности, перпендикулярной к направлению падающих лучей, 0.25 люкса

Температура в подсолнечной точке = +130°C

Температура ночной стороны поверхности Луны = -150 (±10)°C

## ЗЕМЛЯ

Наша планета – Земля – движется вокруг Солнца по близкой к круговой орбите (эксцентриситет 0,017), радиус которой – 149,6 млн. км – принят за 1 астрономическую единицу. Период обращения по орбите составляет 365,256 земных суток или 1 год. Средняя скорость движения по орбите – 29,8 км/с.

Период вращения вокруг оси – звездные сутки – 23<sup>h</sup>56<sup>m</sup>4,099<sup>s</sup>. Наклон земного экватора к орбите составляет 23°27' и обеспечивает смену времен года.

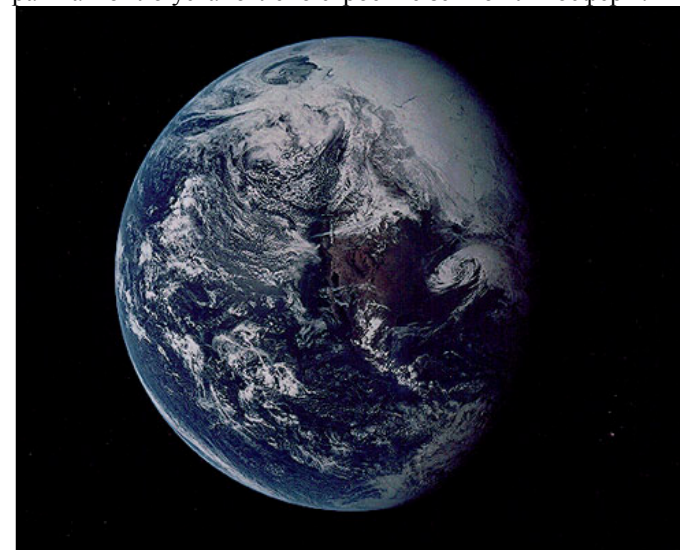
Масса Земли равна  $M_{\oplus} = 5,974 \cdot 10^{24}$  кг, средняя плотность 5,515 г/см<sup>3</sup>.

Экваториальный радиус планеты составляет  $R_{\oplus} = 6\,378$  км. Земля имеет грушевидную форму, называемую геоидом. Сжатие составляет 0,0034 (полярный

радиус равен  $R_{\oplus} = 6\,356$  км). Сплюснутость Земли с полюсов объясняется вращением. Ускорение свободного падения на поверхности составляет, в среднем,  $g_{\oplus} = 9,78$  м/с<sup>2</sup>: у полюсов больше, на экваторе меньше.

Прямое исследование земных глубин пока что невозможно: самые глубокие скважины едва достигают десятикилометровой отметки. Однако сейсмология дала ключ к внутреннему строению Земли. Дело в том, что скорость сейсмических волн зависит от плотности и упругости горных пород, через которые они проходят. Они

отражаются и преломляются на границах между различными пластами. По сейсмограммам было установлено строение земной литосферы.



Из всей массы Земли кора составляет менее 1 %, мантия – около 65 %, ядро – 34 %. Вблизи поверхности Земли возрастание температуры с глубиной составляет примерно 20° на каждый километр. Плотность горных пород земной коры составляет около 3000 кг/м<sup>3</sup>. На глубине около 100 км температура примерно 1800 К. Нижняя, внутренняя граница между корой и мантией называется разделом Мохоровичича.

Упругие волны в мантии распространяются, как в твердом теле. В мантии скачкообразно увеличивается скорость распространения сейсмических волн, что связано с резким повышением плотности вещества до 5600 кг/м<sup>3</sup>. Следующее по интенсивности отражение наблюдается на глубине 2900 км (поверхность Вихерта – Гутенберга). На этой глубине сильно отражаются продольные и поперечные сейсмические волны. Отсюда можно сделать вывод, что ниже лежит жидкое ядро: в жидкостях поперечные волны не распространяются. Этот слой расплавленного металла называют внешним ядром. В центре Земли находится твердое железное ядро плотностью около 10 000 кг/м<sup>3</sup> (1,7 % массы Земли). Граница между ними толщиной около 5 км проходит на расстоянии примерно 1220 км от центра.

На Земле в результате активной вулканической деятельности происходит выбросы лавы, пара и газов из внутренних частей мантии до сих пор формируется верхняя часть Земли – кора. На планете около 800 действующих вулканов.

Кора и верхние слои мантии образуют литосферу. Ее граница расположена на глубине около 70 км. Литосфера расколота на десяток больших плит, на границах между которыми постоянно происходят землетрясения и извержения вулканов. Литосферные плиты «плавают» в расположенном под ними до глубины 250 км слое повышенной текучести, называемом астеносферой.



глубине 1 м температура почти всегда постоянная. Небо над Луной всегда черное, поскольку для образования голубого цвета неба необходим воздух, который там отсутствует. Нет там и погоды, не дуют и ветры. Кроме того, на Луне царит полная тишина.

С Земли наблюдается только видимая часть Луны. Но это не 50 % поверхности, а несколько больше. Луна обращается вокруг Земли по эллипсу, около перигея Луна движется быстрее, а около апогея – медленнее. Но вокруг оси Луна вращается равномерно. Вследствие этого возникает либрация по долготе. Возможная наибольшая величина ее составляет  $7^{\circ}54'$ . Благодаря либрации мы имеем возможность наблюдать с Земли кроме видимой стороны Луны еще и примыкающие к ней узкие полосы территории обратной ее стороны. В общей сложности с Земли можно увидеть 59 % лунной поверхности.

Мощная литосфера толщиной около 1000 км исключает разломы и выход лавы на поверхность. Но раньше, миллиарды лет назад, на Луне были извержения вулканов.

Видимыми даже невооруженным глазом деталями лунного рельефа являются так называемые моря и материки. Вокруг морей часто располагаются горы. Их размеры довольно внушительны: Апеннины имеют максимальную высоту 6 км, Карпаты – 2 км.

При наблюдении в телескоп становится ясно, что моря и материки усыпаны кратерами. Особенно выделяются кратер Коперник и кратер Тихо с расходящимися от него почти по всей поверхности Луны белыми лучами. На видимой стороне Луны количество кратеров, диаметр которых больше 1 км, около 300 000. Размеры кратеров колеблются от сотен километров до нескольких сантиметров. Некоторые из них в центре имеют характерное образование – горку; у некоторых кратеров на внутренних стенках имеются террасы. Возле самых молодых кратеров можно видеть лучевые системы – светлые полосы, которые расходятся во все стороны. Эти лучи могут быть вторичными кратерами, порожденными осколками метеорита, которые образовали во время взрыва основной кратер, находящийся в центре.

Согласно современным представлениям, большинство кратеров, в изобилии покрывающих поверхность Луны, образовались при столкновении крупных метеоритов и небольших астероидов с поверхностью 3,5 миллиарда лет назад. Энергия, выделяемая при взрыве, испаряла не только вещество метеорита, но и часть пород в месте удара. Столкновения с очень крупными астероидами вызвали гигантские разломы в лунной поверхности, через которые вытекала жидкая расплавленная лава. Так на Луне появились моря и океаны.

Итальянский астроном Джованни Риччолли в XVII веке присвоил возвышенностям и впадинам на Луне названия: Альпы, Апеннины и Кавказ, Океан Бурь, моря Дождей, Холода и Спокойствия, кратеры Тихо, Пифагор, Птолемей и т.д. По предложению советских астрономов Международный астрономический союз поместил на первую карту обратной стороны Луны 18 названий вновь открытых образований. Так появились на Луне Море Москвы, кратеры Герц, Курчатов, Ломоносов, Максвелл, Менделеев, Складовская-Кюри, Циолковский.

свободных ионов в ионосфере составляет  $(2-50) \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$  и достигается на высотах 250–400 км от поверхности Земли.

Земная атмосфера не пропускает жесткое коротковолновое излучение. Одним из важнейших газов, поглощающих ультрафиолетовые лучи, является озон. Из-за ухудшения экологической обстановки, прежде всего, из-за выброса в атмосферу фреона и других активных веществ, его количество резко уменьшилось, над Антарктидой и некоторыми другими районами Земли образовались озоновые дыры. Справедливости ради заметим, что существует другое мнение, заключающееся в том, что озоновые дыры – одно из проявлений солнечной активности.

Магнитное поле Земли похоже на поле однородной намагниченной сферы с магнитной осью, наклоненной на  $11,5^{\circ}$  к оси вращения Земли. Южный магнитный полюс Земли, к которому притягивается северный конец стрелки компаса, не совпадает с Северным географическим полюсом, а находится в пункте с координатами приблизительно  $76^{\circ}$  северной широты и  $101^{\circ}$  западной долготы. Северный магнитный полюс Земли расположен в Антарктиде. Напряженность магнитного поля на полюсах составляет 0,63 Э, на экваторе – 0,31 Э.

Открытое в 1905 году изменение магнитного поля привело к заключению, что оно зарождается в жидком внешнем ядре планеты. Сравнительно быстрые движения могут происходить там без катастрофических последствий.

Силовые линии магнитного поля Земли образуют своеобразные ловушки для движущихся к ней потоков частиц солнечного ветра. Задержанные магнитным полем частицы образуют радиационные пояса.

Резкие изменения магнитного поля Земли называются магнитными бурями. Магнитные бури часто начинаются через сутки или двое после хромосферных вспышек на Солнце; они вызываются потоками частиц, движущихся с большими скоростями от Солнца. Заряженные частицы, скользя вдоль силовых магнитных линий Земли, могут проникнуть в атмосферу. Сталкиваясь с атомами атмосферы, они вызывают особое свечение, называемое полярным сиянием.

### Поверхность Земли

Температура на поверхности находится в пределах от  $-85^{\circ}\text{C}$  (внутренние районы Антарктиды) до  $+70^{\circ}\text{C}$  (Западная Сахара). Средняя температура поверхности Земли –  $+12^{\circ}\text{C}$ .

Большую часть поверхности Земли (более 2/3) занимает Мировой океан, оставшаяся треть приходится на сушу. Условия на поверхности Земли заметно отличаются от других планет: нигде, кроме как на Земле, нет воды в жидком состоянии, нет атмосферы, богатой кислородом. Именно благодаря воде более 3,8 млрд. лет тому назад на Земле смогла возникнуть жизнь.

Жидкая оболочка Земли, которая занимает 361 млн. км<sup>2</sup> или 70,8 % поверхности Земли, называется гидросферой. В океанах Земли сосредоточено 97 % всех запасов воды (около  $10^{21}$  кг). Часть воды находится в виде льда и снега в



полярных шапках, а также в атмосфере. Средняя глубина Мирового океана – 3 900 м, максимальная глубина – 11 000 м (Марианский желоб в Тихом океане).

Возраст горных пород устанавливается по содержанию изотопов урана и тория. В естественной смеси урана содержится 99,28 % изотопа урана  $^{238}\text{U}$ , 0,714 %  $^{235}\text{U}$ , 0,006 %  $^{234}\text{U}$ . Период полураспада  $^{238}\text{U}$   $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  лет. Конечным продуктом распадов этих элементов являются изотопы свинца и гелий. Чем больше продуктов распада и чем меньше самого радиоактивного вещества содержится в породе, тем больше возраст изучаемых горных пород. Изучая радиоизотопный состав коры Земли, обнаружили, что возраст земной коры около  $4,55 \pm 0,07$  млрд. лет.

Согласно современным космогоническим представлениям, Земля образовалась 4,5 миллиарда лет назад путем гравитационной конденсации из рассеянного в окосолнечном пространстве холодного газопылевого вещества, содержавшего все известные в природе химические элементы.

Падение крупных сгустков вещества вызывало нагрев прото-Земли и ее расслоение. Тяжелые железосодержащие породы опускались глубже, за несколько сотен миллионов лет формируя ядро, легкие каменные породы образовывали кору. Гравитационное сжатие и радиоактивный распад еще больше разогревали внутренние области нашей планеты.

Из-за убывания температуры от центра Земли к поверхности возникали очаги напряженности на границе с корой. Их результатами и по сей день являются землетрясения и дрейф материков.

Атмосфера и гидросфера выделились из недр нашей планеты, поскольку вода и газы входили в состав земных пород. Кислород появился в атмосфере из воды в результате фотодиссоциации, а впоследствии из-за фотосинтеза.

В 1912 году, сравнивая очертания береговой линии Африки и Южной Америки, немецкий ученый Альфред Вегенер выдвинул гипотезу дрейфа континентов. Она была подтверждена исследованием дна океана и магнитных свойств лавовых потоков на поверхности. Были зарегистрированы также 16 инверсий магнитных полюсов с северного на южный и обратно за последние десять миллионов лет.

В 1960 году американский геолог Гарри Хесс предположил, что горячая мантия поднимается под срединно-океаническими хребтами, распространяется в стороны от них, разрывая и расталкивая литосферные плиты. Вещество мантии заполняет образовавшиеся трещины – рифты. «Уничтожение» же участков поверхности Земли происходит, скорее всего, вблизи океанских желобов.

Сейчас считается, что 300–200 миллионов лет назад существовал единый суперматерик Пангея. Затем он распался на части, которые сформировали нынешние материки.

Дальнейшее остывание Земли приведет к прекращению тектонической деятельности. Эрозия сотрет горы, и поверхность Земли станет плоской и покроется океаном. Из-за увеличения светимости Солнца в далеком будущем океан испарится, обнажив ровную безжизненную пустыню.

## ЛУНА

Луна – единственный спутник Земли и единственный внеземной мир, который посетили люди. Она вращается вокруг Земли по орбите, большая полуось которой равна 383 398 км (эксцентриситет 0,055). Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики под углом  $5^\circ 09'$ . Период обращения равен 27 сут 7 час 43 мин. Это звездный или сидерический период. Период синодический – период смены лунных фаз – равен 29 сут 12 час 44 мин. Период вращения Луны вокруг своей оси равен сидерическому периоду. Поскольку время одного оборота Луны вокруг Земли в точности равно времени одного оборота ее вокруг оси, Луна постоянно повернута к Земле одной и той же стороной.

Луна – самый яркий объект на небе после Солнца. Максимальная звездная величина равна  $-12,7^m$ .

Масса спутника Земли составляет  $7,3476 \cdot 10^{22}$  кг (в 81,3 раз меньше массы Земли), средняя плотность  $\rho = 3,35$  г/см<sup>3</sup>, экваториальный радиус – 1 737 км. Сжатие с полюсов практически отсутствует.

Ускорение свободного падения на поверхности составляет  $g = 1,63$  м/с<sup>2</sup>. Тяготение Луны не смогло удержать ее атмосферу, если она когда-то и была.

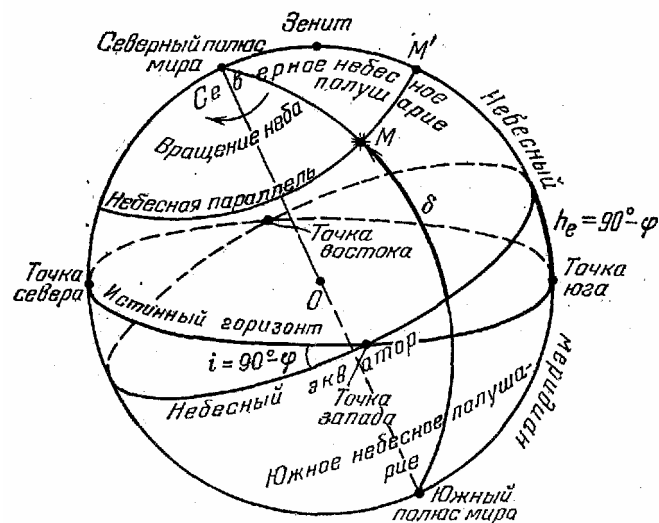
Плотность Луны сравнима с плотностью земной мантии. Поэтому у Луны либо нет, либо очень незначительное железное ядро. Внутреннее строение Луны изучено по сейсмическим данным, переданным на Землю приборами космических экспедиций «Аполлон». Толщина коры Луны 60–100 км. Толщина верхней мантии 400 км. В ней сейсмические скорости зависят от глубины и уменьшаются в зависимости от расстояния. Толщина средней мантии около 600 км. В средней мантии сейсмические скорости постоянны. Нижняя мантия расположена глубже 1100 км. Ядро Луны, начинающееся на глубине 1500 км, возможно, жидкое. Оно почти не содержит железа. Поэтому Луна имеет очень слабое магнитное поле, не превышающее одной десятитысячной доли земного магнитного поля. Зарегистрированы местные магнитные аномалии.

Изучение лунных пород, доставленных на Землю, позволило оценить возраст Луны методом радиоактивного распада. Камни на Луне стали твердыми около 4,4 млрд. лет назад. Согласно теории российского астронома Евгения Рускол, Луна сформировалась из остатков протопланетного вещества, окружавшего молодую Землю. Иную теорию разработал американский астроном Алистер Камерон: он считает, что Земля на стадии формирования столкнулась с крупным небесным телом. Выброшенные в результате столкновения обломки объединились в наш спутник.

Предполагают, что в ранние периоды своей истории Луна вращалась вокруг оси быстрее и, следовательно, поворачивалась к Земле разными частями своей поверхности. Но из-за близости массивной Земли в твердом теле Луны возникали значительные приливные волны. Процесс торможения Луны продолжался до тех пор, пока она не оказалась постоянно повернутой к нам только одной стороной.

Атмосфера на Луне практически отсутствует. Это обуславливает резкие перепады температур в несколько сотен градусов. В дневное время температура на поверхности достигает  $130^\circ\text{C}$ , а ночью она опускается до  $-170^\circ\text{C}$ . В то же время на

Угловое расстояние, отсчитываемое от небесного экватора, называется склонением и в северном небесном полушарии считается положительным, а в южном небесном полушарии — отрицательным. Из-за колоссального удаления звезд их склонения практически неизменны на протяжении многих лет, и каждая звезда ежедневно пересекает небесный меридиан на одной и той же высоте. Но присмотримся к Солнцу. Летом Солнце восходит на северо-востоке, вблизи полудня высоко поднимается над точкой юга и вечером заходит на северо-западе. Зимой же оно восходит на юго-востоке, его суточный путь над горизонтом низок, и заходит оно на юго-западе. Следовательно, в отличие от звезд, Солнце не занимает определенного положения на небе, а, участвуя в его суточном вращении (из-за вращения Земли), еще само медленно по нему перемещается. Действительно, достаточно пронаблюдать в



разные месяцы года вид звездного неба вскоре после окончания сумерек, как сразу можно убедиться в перемещении Солнца на фоне звезд. В начале весны вечером, около 21 ч, в западной области неба вблизи горизонта видно созвездие Овна, в юго-западной области — созвездия Тельца и Ориона, в южной стороне — созвездие Близнецов, а восточнее него — созвездие Льва. Через месяц, в апреле, в те же часы созвездия Овна уже не видно — оно зашло за горизонт вместе с Солнцем; значит, за прошедший месяц Солнце сместилось по небу к востоку и пришло в созвездие Овна. Из-за этого и все созвездия сдвинулись к западу; созвездия Тельца и Ориона находятся вблизи в западной части горизонта, созвездие Близнецов — на юго-западе, созвездие Льва — в южной области неба, а на юго-востоке поднялось созвездие Девы. Еще через месяц в те же часы уже не видно созвездия Тельца, так как теперь оно зашло вместе с Солнцем, которое за истекший месяц опять заметно сместилось к востоку и перешло из созвездия Овна в созвездие Тельца. Так постепенно меняется вид звездного неба, регулярно повторяющийся по сезонам года.

Конечно, никаких морей на Луне нет. Лунные моря совершенно сухие и представляют собой обширные, залитые некогда базальтовой лавой низины. Луна — безжизненное тело, лишенное атмосферы, морей и океанов. На протяжении лунных суток температура поверхности может изменяться на 300 градусов (от  $-170^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ ). При таких условиях вода в жидком состоянии находиться не может.



В 1999 год космический аппарат «Lunar Prospector» по команде с Земли сошел с окололунной орбиты и врезался в кратер в районе южного полюса. До этого спутник кружил по орбите почти 18 месяцев и выявил некоторые свидетельства присутствия над кратером водорода — одной из составляющей воды. Были высказаны предположения, что на Луне может оказаться до 300 миллионов тонн льда. Считалось, что от удара часть воды испарится и вместе с пылью будет выброшена вверх. Ученые надеялись, что затем водяные пары удастся обнаружить с помощью наземных и космических телескопов. Но, к сожалению, никаких следов воды обнаружено не было.

Благодаря исследованию АМС «Луна» и посадкам на поверхность американских астронавтов, поверхностный грунт Луны исследован хорошо. Астронавты привезли на Землю около 385 кг лунных камней. Постоянная бомбардировка Луны крошечными метеоритами является причиной того, что вся ее

поверхность, на 9–12 метров вглубь, покрыта слоем мелкого раздробленного спекшегося вещества, образовавшего как бы слежавшуюся губчатую массу.



Этот тонкий слой лунной поверхности называют реголитом. Реголит является хорошим термоизоляционным материалом, поэтому уже на глубине несколько сантиметров сохраняется постоянная температура.

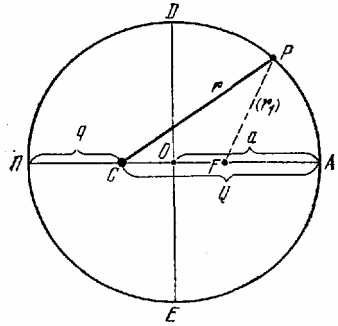
Ни один камень, доставленный на Землю, никогда не подвергался воздействию воды или атмосферы и не содержал органических останков. Луна – абсолютно мертвый мир.

Обратная сторона Луны является идеальным местом для астрономических наблюдений: она защищает приборы от излучения с Земли, а ночь на Луне длится 14 земных суток. Отсутствие атмосферы делает возможным наблюдения в любом диапазоне. Когда-нибудь на Луне будут построены космические станции и астрономические обсерватории. Богатые запасы железа, алюминия и кремния явились бы неплохим источником строительных материалов, а содержащиеся в горных породах водород и кислород – сырьем для получения воздуха и воды.

## ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛИ ВОКРУГ СОЛНЦА (М.М. Дагаев)

Небесные светила разбросаны в бесконечном пространстве на самых разнообразных расстояниях от Земли, но эти расстояния настолько велики, что мы не в состоянии их различить. Из-за этого все небесные светила представляются нам одинаково удаленными, т. е. расположенными на сферической поверхности, на воображаемом небе. Видимые взаимные расстояния светил или иных точек на небе определяются углами между направлениями на них и поэтому измеряются в угловых единицах — градусах ( $^{\circ}$ ), минутах ( $'$ ) и секундах ( $''$ ) дуги. Этими же единицами измеряются угловые (видимые) размеры светил. Так, например, видимые диаметры Солнца и Луны близки к  $0^{\circ},5$ . Земля вращается вокруг своей оси с запада к востоку, а нам, не ощущающим этого вращения, представляется, будто бы небо вместе со всеми светилами вращается с востока на запад с периодом в одни сутки и при этом происходит восход и заход небесных светил. Когда светила поднимаются над горизонтом, их угловое расстояние от него, называемое высотой, увеличивается, а при приближении к горизонту уменьшается. Рельеф местности различен, и чтобы не было ошибок в измерениях, высота светил отсчитывается не от видимого, а от истинного горизонта — большого небесного круга, плоскость которого перпендикулярна, к отвесной линии. Точка пересечения отвесной линии с небесной сферой называется зенитом. Видимое суточное вращение неба происходит вокруг земной оси, и поэтому две диаметрально противоположные точки неба, в которые эта ось направлена, неподвижны! они называются полюсами мира. В небе северного полушария Земли расположен северный полюс мира, вблизи которого (на расстоянии около  $1^{\circ}$ ) находится главная звезда созвездия Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Из-за своей близости к северному полюсу мира она кажется неподвижной. Как и на Земле, на небе тоже есть свой экватор, называемый небесным экватором; все его точки удалены от полюсов мира ровно на  $90^{\circ}$ . Он делит небо на северное и южное полушария и пересекается с истинным горизонтом в точках востока и запада. Точки юга и севера лежат на истинном горизонте, на расстоянии  $90^{\circ}$  от точек востока и запада. В каждой местности небесный экватор пересекается с истинным горизонтом под углом, равным  $90^{\circ} - \varphi$ , где  $\varphi$  — географическая широта этой местности, и на этой же высоте  $H = 90^{\circ} - \varphi$  над точкой юга находится наивысшая точка небесного экватора. Так, в С.-Петербурге ( $\varphi = 60^{\circ}$ ) небесный экватор поднимается над горизонтом до высоты в  $30^{\circ}$ , а в Краснодаре ( $45^{\circ}$ ) — до высоты в  $45^{\circ}$ , и поэтому там видна значительно большая часть южного неба, чем в С.-Петербурге. Через точку юга, зенит, северный полюс мира и точку севера проходит на небе большой круг, называемый небесным меридианом. Он образован пересечением небесной сферы плоскостью географического меридиана местности. В суточном вращении неба небесные светила достигают наибольшей высоты в тот момент, когда они пересекают небесный меридиан на его участке между северным полюсом мира и точкой юга. Так как вращение неба лишь кажущееся и происходит вокруг земной оси, то суточное движение звезд происходит по малым кругам — небесным параллелям, и их угловые расстояния от экватора остаются неизменными.

А). Очевидно, что среднее гелиоцентрическое расстояние



планеты численно равно большой полуоси (ОП = ОА =

а) ее орбиты, так как

$$a = \frac{q + Q}{2} = \frac{OP + OA}{2}.$$

Вытянутость эллиптической орбиты характеризуется отношением расстояния между фокусом и центром к длине большой полуоси, т. е. величиной

$$e = \frac{OC}{a},$$

называемой эксцентриситетом орбиты.

Легко видеть, что перигелийное расстояние

$$q = a(1 - e),$$

а афелийное расстояние

$$Q = a(1 + e).$$

Большая полуось земной орбиты или, что одно и то же, среднее расстояние Земли от Солнца принимается за единицу измерений гелиоцентрических и межпланетных расстояний и поэтому именуется астрономической единицей (а.е.) - 149 597 870 км. Однако во многих расчетах вполне достаточно принимать  $a_0 = 149,6 \cdot 10^6$  км.

Движение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите доказывается периодическим изменением в определенных пределах угловой скорости годового движения Солнца по эклиптике и в видимых размерах его диска. Наибольший диаметр солнечного диска  $D = 32'35''$  бывает в самом начале января и в то же время угловая скорость Солнца по эклиптике составляет  $61'$  в сутки. В самом же начале июля диаметр солнечного диска уменьшается до  $d = 31'31''$ , а угловая скорость — до  $57'$  в сутки. Значит, в начале января Земля ближе всего к Солнцу и поэтому движется быстрее, чем в начале июля, когда ее гелиоцентрическое расстояние наибольшее.

По этим данным нетрудно вычислить эксцентриситет земной орбиты и пределы изменения гелиоцентрического расстояния Земли. В самом деле, так как размеры солнечного диска малы, то они обратно пропорциональны расстояниям, т. е.

$$\frac{D}{d} = \frac{Q}{q} = \frac{a_0(1+e)}{a_0(1-e)},$$

или

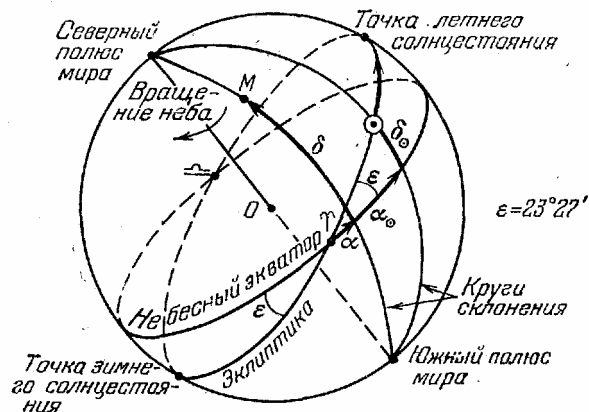
Следовательно, на протяжении года Солнце медленно перемещается на фоне звезд с запада к востоку (навстречу суточному вращению неба) по определенным созвездиям и за год (365 суток) совершает по небу один оборот ( $360^\circ$ ), смещаясь за сутки примерно на  $1^\circ$  или на два своих видимых диаметра. Это смещение сводится к отставанию Солнца от звезд в суточном вращении неба: если Солнце взошло одновременно с какими-то звездами, то к вечеру оно отстает от них к востоку на  $0,5$  и заходит позже них примерно на 2 мин. Из-за этого моменты восхода и захода звезд ежедневно наступают на 4 мин раньше, чем накануне, а за месяц сдвигаются вперед на 2 часа. Но видимое годовое движение Солнца происходит не по небесному экватору. Измерения положения Солнца на небе показали, что ежегодно 20 или 21 марта, в день весеннего равноденствия, Солнце пересекает небесный экватор (склонение Солнца  $\delta = 0^\circ$ ), переходит из южного в северное небесное полушарие и с каждым днем отходит от небесного экватора, в связи с чем положительное склонение Солнца постепенно возрастает и поэтому увеличивается его дневной путь над горизонтом, располагаясь над небесным экватором. Ко дню летнего солнцестояния 21—22 июня Солнце удаляется от небесного экватора на  $23^\circ 27'$  (склонение Солнца  $\delta = +23^\circ 27'$ ), его дневной путь наиболее продолжителен и занимает наивысшее положение над горизонтом, а затем склонение Солнца постепенно уменьшается, его дневной путь укорачивается, и 22—23 сентября оно опять пересекает небесный экватор, переходя из северного в южное небесное полушарие. Теперь склонение Солнца становится отрицательным, и дневное светило проходит свой суточный путь над горизонтом ниже небесного экватора, все время удаляясь от него» пока ко дню зимнего солнцестояния 21—22 декабря не отойдет на  $23^\circ 27'$  (склонение Солнца  $\delta = -23^\circ 27'$ ), и полуденная высота Солнца станет наименьшей. После этого дня склонение Солнца снова возрастает. Солнце опять приближается к небесному экватору и в очередной день весеннего равноденствия вновь пересечет его и перейдет в северное небесное полушарие. Годовой цикл видимого движения Солнца окончен и далее снова повторяется в той же последовательности.

Итак, на протяжении года Солнце поочередно отходит от небесного экватора в обе стороны на одно и то же угловое расстояние, равное  $23^\circ 27'$ , а это означает, что видимый годовой путь Солнца на небе представляет собой большой круг, пересекающийся с небесным экватором под тем же углом  $\varepsilon = 23^\circ 27'$ . Этот большой круг получил название эклиптики, происшедшее от греческого слова «эклипсис» — затмение, поскольку, как мы увидим дальше, солнечные затмения происходят при подходе Луны к эклиптике.

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, называемых точками равноденствий. В точке весеннего равноденствия, находящейся в созвездии Рыб и обозначаемой знаком ♈, Солнце весной переходит из южного небесного полушария в северное, а в точке осеннего равноденствия (знак ♎), расположенной в созвездии Девы, Солнце через полгода возвращается в южное полушарие неба. У обеих этих точек склонение  $\delta = 0^\circ 0'$ . Точно посередине между точками равноденствий на эклиптике расположены точки солнцестояния, в которых Солнце достигает наибольшего удаления от небесного экватора; точка летнего солнцестояния находится в северном полушарии неба, в созвездии Близнецов, и имеет склонение  $\delta = +23^\circ 27'$ , а противо-

ложная ей точка зимнего солнцестояния — в южном полушарии неба, в созвездии Стрельца, и ее склонение  $\delta = -23^\circ 27'$ .

Видимое положение любого небесного светила, в том числе Солнца и Луны, определяется двумя величинами, называемыми небесными экваториальными координатами, аналогичными географическим координатам, широте и долготе. Для этого через полюсы мира мысленно проводят большие круги, сходные с земными меридианами, но называют их кругами склонения. Одна экваториальная координата нам уже известна — это склонение ( $\delta$ ), показывающее угловое расстояние светила от



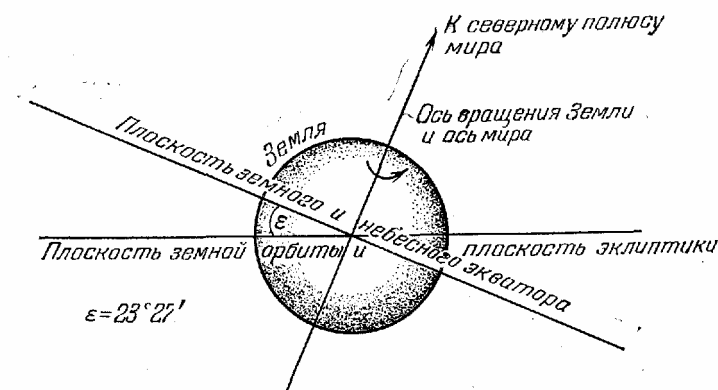
небесного экватора. Другая экваториальная координата, аналогичная географической долготе, называется прямым восхождением ( $\alpha$ ) и отсчитывается от точки весеннего равноденствия по небесному экватору всегда в одну сторону, с запада к востоку, до круга склонения светила. Прямое восхождение тоже может быть указано в градусах и минутах дуги, в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , но чаще всего оно выражается в единицах времени — в часах (ч), минутах (м) и секундах (с), из расчета, что  $24^h = 360^\circ$ ,  $1^h = 15^\circ$ ,  $4^m = 1^\circ$ ,  $1^m = 15'$  и  $1^s = 15''$ . Эта система единиц более удобна для расчетов времени наступления астрономических явлений. Таким образом, на протяжении года экваториальные координаты Солнца непрерывно изменяются в пределах; прямое восхождение а от 0ч до 24ч и склонение  $\delta$  от  $+23^\circ 27'$  до  $-23^\circ 27'$ .

Тут же следует оговориться, что экваториальные координаты небесных светил непосредственно измерить нельзя, так как ни небесный экватор, ни точки эклиптики на небе ничем не отмечены. Однако обе координаты легко вычисляются по моменту времени и по измеренной высоте светила, когда оно пересекает небесный меридиан. По этим координатам положения звезд, небесного экватора и эклиптики наносятся на звездные карты.

В астрономии постоянно приходится отличать видимые явления от истинных, и годовое движение Солнца по эклиптике неслучайно названо видимым: в действительности это Земля обращается вокруг Солнца с годичным периодом, чему теперь имеется множество доказательств. Нам же, не ощущающим движения Земли, кажется, что Солнце на протяжении года последовательно перемещается по 12 созвездиям, именуемым зодиакальными (от греческого «зоон» — животное или

«зодиакос» — звериный) потому, что большинство из них имеет наименования реальных и мифических живых существ; это созвездия Рыб, Овца, Тельца, Близнецов, Рака, Льва, Девы, Весов, Скорпиона, Стрельца, Козерога и Водолея. Значит, истинный путь Земли в пространстве вокруг Солнца, называемый земной орбитой (от латинского слова *orbita* — колея, дорога), лежит в той же плоскости, что и эклиптика, и эта плоскость образует с плоскостью земного экватора угол в  $23^\circ 27'$ . Так, из наблюдений видимого годового движения Солнца установили наклон оси вращения Земли к плоскости ее орбиты, который теперь показывается на земных глобусах.

Вокруг Солнца движется не одна паша Земля, а целая семья планет. Еще в 1608—1609 гг. выдающийся немецкий математик и астроном Иоганн Кеплер (1571—1630) установил, что планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, и чем ближе планета к Солнцу, тем быстрее она движется. Земля не является исключением и тоже



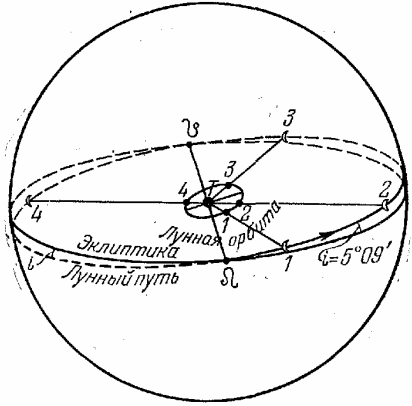
обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите. Эллипс — это один из овалов, обладающий, в отличие от окружности, двумя взаимно перпендикулярными м и различными по величине осями — большой ( $AP = 2a$ ) и малой ( $DE = 2b$ ). На большой оси, на равных расстояниях от центра  $O$  эллипса, имеются две точки ( $C$  и  $P$ ), называемые фокусами, характерные тем, что сумма расстояний от них до любой точки эллипса есть величина постоянная и всегда равная длине большой оси, т. е.

$$r + r_1 = 2a.$$

В одном из фокусов эллиптической орбиты планеты находится Солнце ( $C$ ), так что расстояние планеты  $P$  от него непрерывно меняется в определенных пределах, от наименьшего  $q = CP$ , до наибольшего  $Q = CA$ . Так как на греческом языке слово «Гелиос» означает Солнце, слово «пери» — близко или около, а слово «апо» — вдали, то любое произвольное расстояние от Солнца называется гелиоцентрическим, наименьшее расстояние ( $q$ ) — перигелийным расстоянием, а наибольшее ( $Q$ ) — афелийным расстоянием, хотя правильнее было бы называть его апогелийным. Соответственно и концевые точки большой оси орбиты называются перигелием (ближайшая точка,  $P$ ) и афелием (наиболее удаленная точка,



Один из способов измерения расстояния до Луны основан на радиолокации, ныне широко используемой в геодезии и в навигации. К Луне направляется мощный



радиосигнал, который, отразившись от лунной поверхности, возвращается к Земле и воспринимается приемной радиоаппаратурой. Моменты времени отправления и приема радиосигнала отмечаются с высокой точностью, достигающей одной миллионной доли секунды. Разность ( $\Delta t$ ) этих моментов представляет собой промежуток времени, в течение которого радиосигнал проходит удвоенное расстояние от Земли до Луны. А так как скорость распространения радиоволн известна из физики и равна  $c = 299\,792$  км/с, то искомое расстояние в километрах

$$r = c \cdot \frac{\Delta t}{2}.$$

Многочисленные измерения расстояния до Луны показали, что оно не имеет строго определенного значения, а периодически в правильной последовательности изменяется в определенных пределах. При каждом своем обороте Луна то приближается к Земле, то несколько удаляется от нее, и с такой же правильностью возрастает и уменьшается скорость движения Луны в пространстве. Происходит это потому, что Луна обращается вокруг Земли с запада к востоку не по круговой, а по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой расположена наша планета. Плоскость лунной орбиты в пересечении с небом образует большой круг — лунный путь, а плоскость земной орбиты, как нам уже известно, пересекается с небом по эклиптике, и так как в пространстве первая плоскость образует со второй угол в  $5^\circ 09'$ , то поэтому и лунный путь наклонен к эклиптике под таким же углом. Обо эти плоскости пересекаются друг с другом по прямой линии, проходящей через центр Земли и называемой линией узлов лунной орбиты, и как раз на этой линии лежат лунные узлы в диаметрально противоположных направлениях от Земли, т. е. на  $180^\circ$  друг от друга. В греческом языке Земля именуется словом «Гея», и от этого слова произошли следующие названия: геоцентрическое расстояние — расстояние от Земли; перигей (П) — ближайшая к Земле точка лунной орбиты; перигейное расстояние ( $q$ ) — расстояние перигея от Земли; апогей (А) — наиболее удаленная от Земли точка лунной орбиты; апогейное расстояние ( $Q$ ) — геоцентрическое расстояние апогея.

$$\frac{1+e}{1-e} = \frac{32'35''}{31'31''} = \frac{1955''}{1891''} = 1,0339,$$

откуда эксцентриситет земной орбиты  $e = 0,0167$ , или приближенно  $e = 0,017$ .

Используя значение эксцентриситета земной орбиты, можно по формулам, приведенным на с. 36, определить пределы изменения гелиоцентрического расстояния Земли при ее обращении вокруг Солнца; в самом начале января это расстояние бывает наименьшим,

$$q = a_0 (1 - e) = 1 \cdot (1 - 0,017) = 0,983 \text{ а.е.},$$

или  $q = 0,983 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 147,1$  млн. км, а в самом начале июля — наибольшим,

$$Q = a_0 (1 + e) = 1 \cdot (1 + 0,017) = 1,017 \text{ а.е.},$$

или  $Q = 1,017 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 152,1$  млн. км.

На среднем же расстоянии  $a_0 = 149,6$  млн. км от Солнца Земля находится в начале апреля и в начале октября. Свой годовой путь вокруг Солнца Земля проходит за промежуток времени  $T_0 = 365,256$  суток, а так как в каждом сутках содержится 86 400 с, то  $T_0 = 365,256 \cdot 86400 = 31,56 \cdot 10^6$  с. Отсюда нетрудно вычислить среднюю скорость движения Земли по своей орбите или, что одно и то же, ее среднюю орбитальную скорость

$$V_0 = \frac{2\pi a_0}{T_0} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}}{31,56 \cdot 10^6 \text{ с}} = 29,8 \text{ км/с},$$

т. е. приблизительно можно принимать  $V_0 = 30$  км/с.

Но поскольку Земля обращается вокруг Солнца не по окружности, а по эллиптической орбите, то и скорость движения Земли не остается постоянной, а тоже несколько меняется; в начале января, когда Земля проходит перигелий, ее скорость возрастает до 30,3 км/с, а в начале июля, при прохождении афелия, уменьшается до 29,3 км/с.

Таким образом, Земля проходит в пространстве за 1 ч (3600 с) путь в  $29,8 \cdot 3600 = 107\,280$  км, а за сутки —  $2\,574\,720$  км. Вблизи же перигелия (в начале января) часовой путь Земли увеличивается до  $30,3 \cdot 3600 = 109\,080$  км, а суточный путь — до  $2\,617\,920$  км; зато вблизи афелия (в начале июля) ее часовой путь сокращается до  $29,3 \cdot 3600 = 105\,480$  км, а суточный — до  $2\,531\,520$  км.

Так, из наблюдений видимого годового движения Солнца астрономы получили сведения об истинном движении Земли и ее орбите.

## ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

(М.М. Дагаев)

В своем движении вокруг Солнца Земля не одинока, ее сопровождает единственный естественный спутник Луна — самое близкое к Земле небесное тело. Уже со времен великого итальянского физика Г. Галилея (1564—1642), впервые направившего в 1609 г. свой несовершенный телескоп на Луну, стало ясно, что спутник Земли похож на нее и тоже является холодным темным шаром с твердой поверхностью, видимой лишь при освещении ее Солнцем.

В наше время Луна хорошо изучена всеми доступными науке и технике средствами. Уже обычные фотографии показывают обилие на ее поверхности горных хребтов и пиков, огромного количества крупных и мелких кратеров, обширных долин, затянутых затвердевшей лавой и называемых морями и озерами, хотя на Луне вода совершенно отсутствует. Луна лишена и атмосферы, из-за чего четко видны не только края ее диска и рельеф ее поверхности, но и резкие тени, отбрасываемые освещенными Солнцем лунными горами.

С осени 1959 г. началось активное изучение Луны сначала советскими, а вслед затем и американскими автоматическими станциями и искусственными спутниками Луны. Затем настала очередь исследования Луны советскими самоходными аппаратами-лунходами (1970—1973), управляемыми с Земли, и американскими экспедициями (1969—1972). Доставленный на Землю американскими космонавтами и советскими автоматическими станциями лунный грунт изучен в лабораториях и в принципе не отличается от земных пород.

Как Солнце и звезды, так и Луна восходит над горизонтом в восточной стороне неба, постепенно поднимается и смещается в сторону южной его области, а достигнув в ней наибольшей высоты, медленно опускается к западной стороне горизонта и наконец исчезает за ним. Это суточное движение Луны вместе с небом с востока к западу объясняется вращением Земли вокруг своей оси. Но, наверное, многие читатели замечали, что Луна восходит и заходит не в одно и то же время суток, а ежедневно запаздывает на небольшие промежутки времени, иногда достигающие 1,5 часа. Присмотревшись внимательно к положению Луны на звездном небе, нетрудно непосредственно заметить, что она, подобно Солнцу перемещается по зодиакальным созвездиям с запада к востоку, но значительно быстрее Солнца: на протяжении одного часа она смещается примерно на величину своего видимого (углового) диаметра, равную  $0^{\circ},5$ , а за сутки — приблизительно на  $13^{\circ},2$  и поэтому сравнительно быстро переходит из одного зодиакального созвездия в другое, ни в одном не задерживаясь более двух-трех суток.

Наблюдения показывают, что перемещение Луны с запада к востоку на фоне зодиакальных созвездий происходит по большому кругу — лунному пути, который не совпадает с эклиптикой, а пересекается с нею под углом в  $5^{\circ}09'$  (периодически изменяющимися от  $4^{\circ}59'$  до  $5^{\circ}19'$ ). Точки пересечения лунного пути с эклиптикой отстоят друг от друга на  $180^{\circ}$  и называются лунными узлами. В одном из них, получившем название восходящего узла, Луна в своем движении пересекает эклиптику, поднимается над ней в северном направлении и постепенно удаляется от нее на  $5^{\circ}09'$ , а затем приближается к эклиптике, снова ее пересекает в противоположном, нисходящем узле и отходит к югу на то же расстояние в  $5^{\circ}09'$ , после чего опять приближается к эклиптике и пересекает ее в восходящем лунном узле. Так непрерывно повторяется цикл движения Луны по зодиакальным созвездиям,

В астрономии сохранились многие обозначения (знаки), введенные еще в глубокой древности, и, в частности, знаки для лунных узлов; восходящий лунный узел обозначается знаком  $\Omega$ , изображающим дракона, набрасывающегося на Солнце и вызывающего, по древним поверьям, его затмение, а нисходящий лунный узел — перевернутым знаком  $\Omega$ .

Свой путь по небу вокруг Земли в направлении с запада к востоку Луна совершает за период времени  $T=27,32$  суток (точнее,  $T=27,3217$  суток =  $27\text{с}7\text{ч}43\text{м}2\text{с}$ ), называемый звездным, или сидерическим месяцем. Такое название этот период получил от латинского слова *siderials* — звездный и от греческого слова «менискос» — лунный серп так как по истечении этого промежутка времени Луна снова проходит на небе в зоне тех же самых звезд, а еще в древние времена месяцем считался промежуток времени между одинаковыми серповидными фазами Луны. И до сих пор периоды времени, связанные с движением Луны, называются месяцами, но только, как мы увидим дальше, эти периоды несколько различаются по длительности и поэтому получают дополнительные наименования. Здесь же необходимо отметить, что звездный месяц представляет собой период реального обращения Луны вокруг Земли в пространстве.

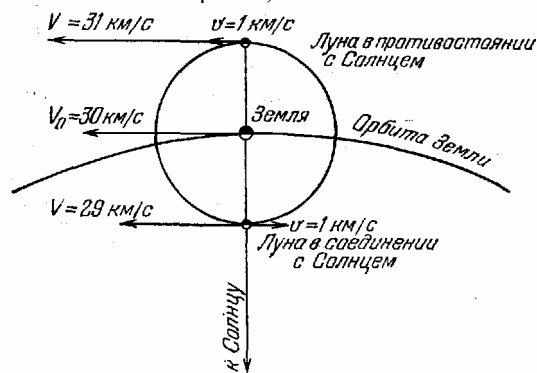
Если бы Луна перемещалась равномерно по небесному экватору, который пересекается с горизонтом в точках востока и запада, то она всегда восходила бы и заходила соответственно в этих точках, а поднималась над горизонтом на одну и ту же наибольшую высоту. Тогда ежедневное запаздывание восхода и захода Луны составляло бы 52 мин, т. е. ровно столько, сколько требуется Земле, чтобы повернуться вокруг оси на те  $13^{\circ},2$ , на которые Луна смещается к востоку за сутки. Но лунный путь наклонен к эклиптике на угол в  $5^{\circ}09'$ , а сама эклиптика наклонена на  $23^{\circ}27'$  к небесному экватору, и поэтому наклонение лунного пути к небесному экватору временами достигает  $28^{\circ}36'$ , т. е. почти  $29^{\circ}$ . Следовательно, на протяжении половины звездного месяца склонение Луны (ее угловое удаление от небесного экватора) может изменяться примерно от  $+29^{\circ}$  до  $-29^{\circ}$ , т. е. больше, чем у Солнца за полгода. При большом положительном склонении Луна восходит на северо-востоке, ее суточный путь над горизонтом очень высок и долог, как у Солнца в летнее время, и заходит она на северо-западе. Когда же Луна находится в южном небесном полушарии и ее отрицательное склонение значительно по величине, то она восходит на юго-востоке и заходит на юго-западе, а ее путь над горизонтом еще ниже и короче, чем зимний дневной путь Солнца. К тому же Луна движется неравномерно, периодически несколько ускоряя и замедляя свое движение. Отсюда и ежедневное запаздывание ее восхода и захода неодинаково по продолжительности и на протяжении месяца может изменяться от 12 мин до 1,5 ч, что в среднем составляет 52 мин.

Итак, непосредственно из наблюдений следует, что Луна обращается вокруг Земли по большому кругу — лунному пути, с периодом в 27,32 суток, причем это ее движение неравномерное. Но, как уже упоминалось, в астрономии все время приходится на основе изучения видимых явлений вскрывать явления истинные, для чего приходится многократно проводить соответствующие измерения и тщательно их анализировать.

Для изучения реального движения Луны вокруг Земли проведены (и до сих пор проводятся) многочисленные измерения не только видимых положений Луны на небе, но и ее расстояния от Земли, а по результатам этих измерений вычислена скорость ее движения в пространстве.

время обращаются вокруг Солнца в прежнем направлении, хотя и с переменной скоростью.

Таким образом, вполне возможно считать, что Луна движется не вокруг



Земли, а вместе с нею и подобно ей обращается вокруг Солнца по своей гелиоцентрической орбите, несколько отличающейся от земной орбиты, и поэтому следует рассматривать Луну не только как спутник Земли, сопровождающий ее в стремительном полете вокруг Солнца, но и как полноправный член двойной планеты «Земля — Луна». Мы вправе считать Землю и Луну двойной планетой, ибо масса Луны лишь в 81 раз меньше земной массы, в то время как подобное различие масс других планет и масс их спутников составляет от тысячи до сотен миллиардов раз.

Представим себе, что мы умчались далеко от Земли в сторону Солнца и оттуда наблюдаем нашу планету с ее спутником. Тогда на фоне темного звездного неба мы увидим два очень близко расположенных друг к другу, движущихся звездообразных светила, одно из которых голубоватое и такое же яркое, как планета Венера в небе Земли, а другое — желтое и почти в 80 раз более слабое, т. е. сходное по цвету и блеску с Прочионом, гласной звездой созвездия Малого Пса. Яркое голубоватое светило — это Земля, а более слабое и желтое — ее спутник Луна.

Но нам не удастся обнаружить обращение Луны вокруг Земли в буквальном смысле этого слова. Мы увидим, как оба светила движутся по небу всегда в одном направлении, но периодически Луна, ускоряя свое движение, заходит на Землю, опережает ее и уходит немного вперед, затем замедляет движение и, перемещаясь в том же направлении перед Землей, постепенно отстает от нее, а вслед за тем слова догоняет и заходит за нее. Следовательно, мы вправе утверждать, что Луна подобно Земле обращается вокруг Солнца, т. е. движется по гелиоцентрической орбите, которую возмущает уже не Солнце, а Земля.

Гелиоцентрическая орбита Луны всегда направлена вогнутостью к Солнцу, близка по расположению и форме к земной орбите, но все же отличается от эллиптической из-за возмущающего действия Земли. Образно говоря, Земля своим тяготением то разгоняет Луну, заставляя ее обгонять себя за своей орбитой, то, наоборот, тормозит ее движение, и Луна, несколько уменьшая скорость, снова отстает от Земли, проходя уже внутри

Перигей и апогей лежат на большой оси лунной орбиты, а средним геоцентрическим расстоянием Луны является большая полуось ее орбиты

$$a = \frac{q + Q}{2}.$$

Из измерений выяснилось, что среднее расстояние Луны от Земли, или большая полуось лунной орбиты,  $a = 384\,400$  км, перигейное расстояние Луны  $q = 363\,300$  км и ее апогейное расстояние  $Q = 405\,500$  км. По этим данным вычислен эксцентриситет лунной орбиты, характеризующий ее вытянутость. Поскольку перигейное расстояние ( $q$ ) связано с большой полуосью ( $a$ ) и эксцентриситетом ( $e$ ) орбиты равенством

$$q = a(1 - e),$$

то эксцентриситет лунной орбиты

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{363\,300 \text{ км}}{384\,400 \text{ км}} = 0,0549,$$

или, приближенно,  $e = 0,055$ , т. е. лунная орбита значительно более вытянута, нежели земная орбита, эксцентриситет которой  $e = 0,0167$ .

Луна обращается вокруг Земли под действием их взаимного тяготения. Масса Луны значительно меньше массы Земли. В природе действует неизменный закон, согласно которому тела меньшей массы обращаются вокруг более массивных тел. Массу Луны в сравнении с массой Земли легко определить, если воспользоваться законом, известным в астрономии под названием третьего обобщенного закона Кеплера. Этот закон был найден великим английским ученым Исааком Ньютоном (1643—1727).

Представим себе, что какое-то небесное тело, масса которого  $m_1$ , обращается с периодом  $T_1$  по эллиптической орбите с большой полуосью  $a_1$  вокруг более массивного небесного тела, имеющего массу  $M_1$ . Вокруг же другого массивного тела с массой  $M_2$  движется спутник с массой  $m_2$  по эллиптической орбите с большой полуосью  $a_2$  и периодом обращения  $T_2$ . Тогда, согласно третьему обобщенному закону Кеплера,

$$T_2^2 * (M_2 + m_2) / T_1^2 * (M_1 + m_1) = a_2^3 / a_1^3$$

Применим этот закон к определению массы Луны  $M_2$  в сравнении с массой Земли  $M_1$ , для чего воспользуемся сведениями о полетах искусственных спутников вокруг обоих этих тел. Так, искусственный спутник Земли «Молния-1», запущенный 14 октября 1965 г., обращался вокруг нее с периодом  $T_1 = 11ч59м = 719м$  по эллиптической орбите с большой полуосью  $a_1 = 26\,600$  км; искусственный спутник «Луна-12», выведенный 25 октября 1966 г. на окололунную орбиту с большой полуосью  $a_2 = 2660$  км, обращался вокруг Луны с периодом  $T_2 = 3ч25м = 205^м$ .

Подставляя эти данные в формулу третьего закона Кеплера и помня, что массы искусственных спутников ничтожно малы в сравнении с массами Земли и Луны (т. е. можно считать, что  $m_1 = m_2 = 0$ ), получим:

$$M_2 / M_1 (a_2 / a_1)^3 * (T_1 / T_2)^2 = (2660 / 26600)^3 * (719 / 205)^2 = 1 / 81,3$$

т. е. масса Луны меньше массы Земли примерно в 81 раз.

Геометрические размеры Луны тоже меньше размеров Земли. Видимый, или угловой диаметр Луны (диаметр лунного диска) близок к  $0^{\circ},5$ , а более точные измерения показывают, что при среднем геоцентрическом расстоянии Луны  $a = 384400$  км диаметр ее диска  $d = 31',1$ . Тогда по правилам тригонометрии легко найти, что линейный диаметр Луны

$$D = a \sin d = 384\,400 \text{ км} \cdot \sin 31',1 = 384\,400 \text{ км} \cdot 0,009043 = 3476 \text{ км}.$$

Так как экваториальный диаметр Земли равен  $12\,756$  км, то приближенно можно считать, что линейный диаметр Луны меньше земного в четыре раза (точнее, в  $3,67$  раза), а ее объем меньше объема Земли примерно в  $50$  раз.

Лунная орбита с большой полуосью  $a = 384\,400$  км и эксцентриситетом  $e = 0,055$  называется невозмущенной орбитой. Она была бы неизменной, если бы на Луну действовала своим притяжением только шарообразная Земля. Но на Луну воздействуют и другие небесные тела и особенно сильно — массивное Солнце. Оно-то, главным образом, и заставляет Луну периодически несколько отклоняться от той эллиптической орбиты, по которой она должна двигаться под действием только земного тяготения. Эти отклонения называются возмущениями, а сама изменяющаяся орбита — возмущенной орбитой.

Отметим наиболее значительные возмущения в движении Луны. Как уже упоминалось, в невозмущенной лунной орбите перигейное расстояние  $q = 363\,300$  км, а апогейное расстояние  $Q = 405\,500$  км. В действительности же оба эти расстояния не сохраняют неизменных значений; в перигее Луна может приближаться к Земле на расстояние от  $356\,410$  км до  $369\,960$  км, а в апогее удаляться от Земли в пределах от  $404\,180$  км до  $406\,740$  км. В связи с этим, когда Луна проходит свой перигей, ее видимый диаметр может быть от  $33',5$  до  $32',5$ , а при прохождении ею апогея изменяться от  $29',6$  до  $29',3$ . Эксцентриситет лунной орбиты тоже несколько изменяется в обе стороны от его среднего значения ( $e = 0,055$ ), как, впрочем, и большая полуось орбиты, длина которой периодически то увеличивается, то уменьшается приблизительно на  $2000$  км. Из-за этого длительность сидерического месяца не остается строго постоянной, а периодически несколько изменяется.

Лунная орбита не занимает в своей плоскости неизменного положения, а быстро поворачивается в ней с запада к востоку, в направлении движения Луны, почти на  $41^{\circ}$  (точнее, на  $40^{\circ},68$ ) за год, или на  $3^{\circ}$  (шесть видимых лунных поперечников!) за один оборот Луны. Это возмущение известно под названием поворота большой оси лунной орбиты, или движения перигея в прямом направлении. Полный поворот на  $360^{\circ}$  в своей плоскости лунная орбита завершает за период времени  $T_p = 360^{\circ} / 40^{\circ},68 = 8,85$  года, или за  $3232$  суток. В свою очередь плоскость лунной орбиты, пересекаясь с плоскостью земной орбиты (или, что одно и то же, с плоскостью эклиптики), периодически слегка покачивается в пределах от  $4^{\circ}59'$  до  $5^{\circ}19'$  и все время сравнительно быстро поворачивается в пространстве в направлении с востока к западу. Поэтому линия узлов лунной орбиты тоже поворачивается в плоскости эклиптики, а лунные узлы перемещаются по эклиптике в том же направлении, т. е. навстречу движению Луны. Такое перемещение лунных узлов по эклиптике в направлении с востока к западу называется отступлением лунных узлов. Наблюдения показывают, что за год лунные узлы отступают к западу на  $19^{\circ},3$ , а за

сидерический месяц примерно на  $1^{\circ},5$  (точнее, на  $1^{\circ},44$ ), т. е. почти на три видимых (угловых) диаметра Луны. Из-за этого лунный путь на небе непрерывно смещается с востока к западу на те же  $19^{\circ},3$  за год. Период полного поворота на  $360^{\circ}$  плоскости лунной орбиты, лунного пути на небе и линии лунных узлов составляет  $T_u = 360^{\circ} / 19^{\circ},3 = 18,61$  года, т. е.  $18$  лет  $7$  месяцев, или  $6798$  суток. Через этот период времени плоскость лунной орбиты в пространстве, лунный путь на небе и лунные узлы на эклиптике возвращаются к прежнему положению.

Из-за отступления лунных узлов Луна, пройдя один из них, снова к нему возвращается несколько раньше, чем завершает один оборот по орбите, т. е. до окончания сидерического месяца. Период времени, через который Луна возвращается к одному и тому же лунному узлу, называется драконическим месяцем. Так как Луна перемещается по своему пути с запада к востоку в среднем на  $13^{\circ},2$  за сутки, сидерический месяц  $T = 27,32$  суток, а за этот период времени лунные узлы смещаются навстречу Луне на  $1^{\circ},44$ , то продолжительность драконического месяца

$$S_d = 27,32 \text{ сут.} - \frac{1^{\circ},44}{13^{\circ},2} = 27,21 \text{ суток},$$

а точнее  $S = 27,2122 \text{ сут.} = 27 \text{ д } 5 \text{ ч } 05 \text{ м } 36 \text{ с}.$

Так как Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите, то скорость движения Луны относительно Земли, называемая геоцентрической скоростью, не может быть постоянной. Среднее значение этой скорости легко найти по среднему геоцентрическому расстоянию Луны  $a = 384\,400$  км и по звездному периоду ее обращения  $T = 27,32$  суток  $= 23,60 \cdot 10^6 \text{ с}$ . Тогда средняя геоцентрическая скорость Луны

$$v = \frac{2\pi a}{T} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 384\,400 \text{ км}}{23,60 \cdot 10^6 \text{ с}} = 1,02 \text{ км/с} \approx 1 \text{ км/с}.$$

По мере приближения Луны к Земле геоцентрическая скорость Луны постепенно возрастает и в перигее достигает  $1,08 \text{ км/с}$ , а затем, с удалением Луны от Земли, снова уменьшается и в апогее снижается до  $0,97 \text{ км/с}$ .

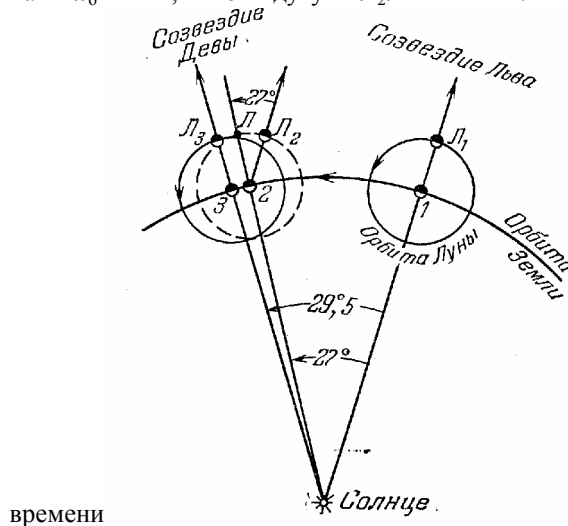
Из физики известно, что всякое движение относительно, и не представляет труда подсчитать скорость движения Луны относительно Солнца, т. е. ее гелиоцентрическую скорость. Вспомним, что аналогичная скорость Земли  $V_0 = 30 \text{ км/с}$ . Коль скоро Луна значительно ближе к Земле, чем Солнце, а именно в  $390$  раз, то она при своем обращении периодически проходит как между Солнцем и Землей, так и за земной орбитой. Положение Луны, при котором она видна с Земли в направлении, прямо противоположном Солнцу, получило название противостояния Луны, а положение, совпадающее с направлением к Солнцу, названо ее соединением с Солнцем. Во время противостояний, когда Луна движется за земной орбитой, ее геоцентрическая скорость  $v = 1 \text{ км/с}$  направлена в ту же сторону, что и скорость Земли  $V_0 = 30 \text{ км/с}$ , и поэтому гелиоцентрическая скорость Луны  $V = V_0 + v = 31 \text{ км/с}$ ; следовательно, Луна и Земля движутся вокруг Солнца в одном направлении. И хотя во время соединений геоцентрическая скорость Луны противоположна орбитальной скорости Земли, но ее гелиоцентрическая скорость  $V = V_0 + v = 29 \text{ км/с}$  все равно совпадает по направлению со скоростью Земли, т. е. оба небесных тела все

вблизи полуночи, к восходу Солнца оказывается л южной стороне неба, исчезает на его ярком фоне и заходит днем.

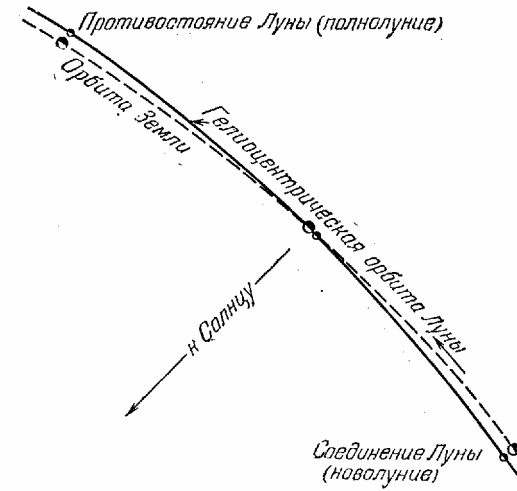
При дальнейшем сближении Луны с Солнцем (положение 8) ее убывающие фазы становятся серповидными с выпуклостью влево (к востоку), напоминая букву «С» («старая» Луна), она восходит и видна в восточной области неба незадолго до восхода Солнца, четко выделяется на светлеющем фоне утренней зари, по постепенно блекнет и при восходе Солнца сливается с ярким голубым небом. В этой фазе Луна заходит в светлое время суток, перед заходом Солнца, и через несколько дней снова вступает с ним и соединение — наступает очередное новолуние.

Все лунные фазы легко воспроизвести на опыте, для чего достаточно в затемненном помещении зажечь настольную лампу и, отойдя от нее на расстояние 3—4 м, обводить вокруг себя против часовой стрелки шаровидный предмет, Освещаемый лучами лампы, он покажет последовательную смену лунных фаз.

Период смены лунных фаз, называемый синодическим (от греческого «синодос» — соединение), или лунным месяцем, продолжительнее сидерического месяца. Представим себе, что в некоторый момент времени произошло противостояние Луны ( $L_1$ ) с Солнцем, и Луна а полной фазе видна с Земли (положение 1), скажем, в зодиакальном созвездии Льва. Так как Земля за сутки проходит по своей орбите дугу  $\omega = 0^\circ,99 \sim 1^\circ$ , то за сидерический месяц  $T = 27\text{д},32$  она пройдет путь  $l_0 = 0^\circ,99,27,32 \sim 27^\circ$  и окажется в положении 2, а Луна за этот же период времени, совершив в том же направлении один оборот ( $360^\circ$ ) вокруг Земли, вернется в прежнюю точку своей орбиты ( $L_2$ ) и снова будет видна в созвездии Льва, но уже в меньшей фазе, так как ее противостояние Солнцу еще не наступило. Чтобы вновь настало полнолуние, Луне нужно достичь положения Л, т. е. пройти дугу  $L_2L \sim 27^\circ$ . Поскольку за одни сутки Луна смещается по своей орбите в среднем на  $= 13^\circ,2$ , а Земля, в том же направлении, на  $\omega_0 = 1^\circ$ , то дугу  $L_2L = 27^\circ$  Луна пройдет за промежуток



$$\Delta t = \frac{L_2L}{\omega - \omega_0} = \frac{27^\circ}{13^\circ,2 - 1^\circ} = 2^{\text{д}}, 21,$$



земной орбиты. Наглядной моделью такого обращения может быть совместное движение двух автомобилей по периферии площади вокруг ее центра. Представим себе, что первый автомобиль объезжает площадь по окружности со скоростью в 30 км/ч, а второй автомобиль, всегда находясь вблизи первого, совершает аналогичный путь с переменной скоростью от 29 км/ч до 31 км/ч и притом так, что отстает от первого автомобиля внутри его траектории, а обгоняет — за нею. Тогда путь второго автомобиля, хотя и близок к окружности, все же отличается от нее, а наблюдатель, находящийся в первом автомобиле, видя, как второй автомобиль последовательно проходит со всех сторон от него, вправе утверждать, что этот автомобиль является спутником первого и обращается вокруг него со скоростью  $v = 31\text{км/ч} - 30\text{км/ч} = 1\text{км/ч}$ . В этом и проявляется относительность движения.

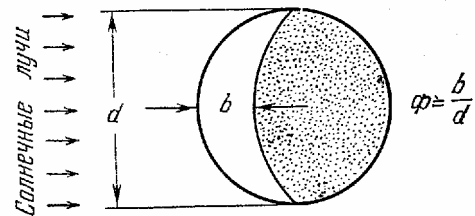
Таким образом, движение Луны очень сложно и его можно рассматривать как вокруг Солнца, так и вокруг Земли; поскольку мы находимся на Земле, нас интересует видимое движение Луны, как оно проектируется на звездное небо, и поэтому будем считать ее движущейся вокруг Земли по эллиптической орбите, возмущаемой солнечным притяжением. Несмотря на чрезвычайную сложность движения Луны, оно детально изучено астрономами, и поэтому они имеют возможность вычислять с высокой точностью истинное положение Луны в пространстве и ее видимое положение на небе для любого момента времени даже на сотни лет вперед.

Обращаясь вокруг Земли, Луна, последовательно занимает различные положения относительно Солнца, и так как с Земли видна только освещенная часть шарообразной лунной поверхности, то происходит изменение вида Луны, или смена лунных фаз (от греческого «фазис» — проявление). Лунная фаза представляет собой видимую в солнечном освещении часть лунного диска и определяется отношением наибольшей ширины ( $b$ ) этой части к его диаметру ( $d$ ), т. е. фаза  $\phi = b/d$  и



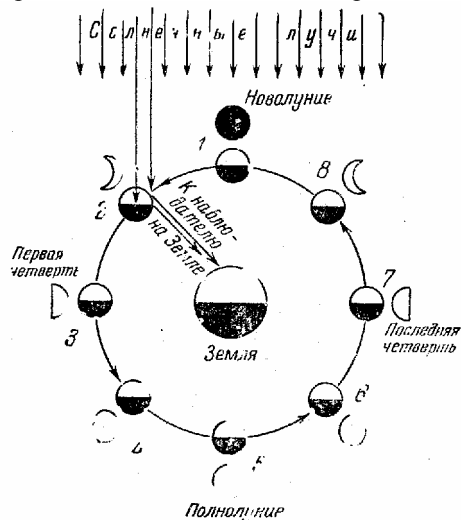
математически всегда выражается десятичной дробью с точностью, как правило, до 0,01.

На рисунке показаны различные положения Луны на своей орбите и рядом — ее фазы, видимые с Земли. Когда Луна проходит между Землей и Солнцем



(положение 1), к Земле обращено неосвещенное лунное полушарие. Луна не видна, и ее фаза  $\phi = 0,00$  называется новолунием как будто бы рождается «новая» Луна. Поэтому лунную фазу иногда характеризуют условным возрастом Луны, т. е. числом суток; протекших после новолуния, при котором принимается возраст  $v = 0д,0$  (буквой «д» обозначаются сутки — «дни»).

Из-за наклона лунного пути к эклиптике на  $5^{\circ}09'$ , Луна в новолуние проходит на небе несколько выше или ниже Солнца и в этот день восходит и заходит почти одновременно с ним. После новолуния Луна постепенно отходит к востоку от Солнца (она восходит днем и поэтому ее восход не заметен) и через двое-трое суток, при удалении от него примерно на  $30^{\circ}$  (положение 2), становится видимой по вечерам в западной половине еще светлого неба в форме узкого серпа (фаза близка к 0,1), выпуклость которого обращена вправо, к горизонту, под которым в это время находится Солнце, освещающее Луну. Краевые точки лунного серпа, или его рога, всегда расположены на концах одного диаметра лунного диска. Если рога лунного серпа мысленно соединить прямой линией, то получится буква «Р» — легко



запоминающийся символ «растущей», или «молодой» Луны. Через полтора-два часа после захода Солнца серповидная Луна тоже заходит за горизонт.

Линия, отделяющая освещенную часть лунного диска от неосвещенной его части, называется лунным терминатором (от латинского *terminare* — ограничивать) и видна с Земли в форме полуэллипса. На шаровой же поверхности Луны терминатор имеет вид окружности, если, конечно, не считать отклонений от нее из-за неровного рельефа лунной поверхности. При возрастающих фазах Луны на ее терминаторе восходит Солнце и наступает день. Поскольку Луна вращается вокруг своей оси в прямом направлении, то терминатор перемещается по лунной поверхности, как и на Земле, с востока к западу, предшествуя Солнцу, т. е. в направлении от правого края видимого с Земли лунного диска к его левому краю. Поэтому хотя правая половина лунного диска обращена к западной стороне земного горизонта, она называется восточной половиной и входит в восточное полушарие Луны, а левая половина лунного диска называется западной и принадлежит западному полушарию Луны.

Часто при серповидной фазе виден очень слабо освещенный весь лунный диск. Создается впечатление, что в яркий лунный серп вложен темный диск меньшего диаметра. Это явление получило название пепельного света и объясняется тем, что лунный серп освещается непосредственно солнечными лучами, а остальная лунная поверхность — рассеянным солнечным светом, отраженным от Земли. Видимое же различие в диаметрах темного диска и яркого серпа — явление чисто кажущееся, называемое иррадиацией (от латинского *irradiare* — сиять), и объясняется особенностями нашего зрения: яркий предмет воспринимается нами несколько больших размеров, нежели темный.

По мере смещения Луны к востоку от Солнца, видимая с Земли освещенная часть лунной поверхности увеличивается, лунная фаза растет, и через неделю после новолуния, когда Луна отойдет на  $90^{\circ}$  от Солнца (это положение Луны называется восточной квадратурой), уже видна вся правая половина лунного диска — наступает фаза первой четверти ( $\phi = 0,50$ , возраст  $v = 7,4д$ ), названная так потому, что в солнечном освещении видима четвертая часть всей шаровой поверхности Луны (положение 3). В этой фазе Луна восходит днем, к вечеру видна в южной области неба и заходит ночью. Через 14—15 суток после новолуния Луна приходит в противостояние с Солнцем (на  $180^{\circ}$  от него), и ее фаза становится полной ( $\phi = 1,00$ ,  $v = 14,8д$ ), так как солнечные лучи освещают все лунное полушарие, обращенное к Земле (положение 5). Такая фаза называется полнолунием. Поскольку полная Луна находится в противоположной Солнцу области неба, она восходит при заходе Солнца, заходит при его восходе, а в середине ночи видна в южной стороне неба.

После полнолуния Луна постепенно приближается к Солнцу с запада, освещается им слева (с востока) и поэтому ущерб Луны, т. е. уменьшение ее фазы, начинается с правого края, а выпуклость освещенной части обращена к востоку. Теперь уже на лунном терминаторе, видимом с Земли, Солнце заходит, и там наступает ночь.

Примерно через неделю, когда угловое расстояние между Луной и Солнцем сократится до  $90^{\circ}$  (Луна в западной квадратуре), наступает фаза третьей, или последней, четверти ( $\phi = 0,50$ ,  $v = 22,2д$ , положение 7), при которой Луна восходит

вблизи зенита, что возможно только в тропическом поясе Земли, то ось конусов почти перпендикулярна к земной поверхности и форма лунной тени и полутени па ней близка к круговой.

Читатель, наверное, видел, как движется по земной поверхности тень от облаков или как быстро пробегает по ней тень от низко летящего самолета. Подобно этому из-за движения Луны с запада к востоку ее тень и полутень быстро мчатся по земной поверхности примерно в том же направлении, уклоняясь либо к северу, либо к югу, и совокупность мест, по которым последовательно пробегает лунная тень, образует на Земле своеобразную полосу, называемую полосой полной фазы, посередине которой проходит центральная линия затмения (см. карту затмения). С центральной линии затмения видно симметричное покрытие солнечного диска лунным, так что в середине затмения центры обоих дисков совпадают, их взаимное расстояние  $\sigma = 0$ , и, следовательно, наибольшая полная фаза затмения

$$\Phi_m = \frac{r_{\odot} + r_{\oplus}}{2r_{\odot}} = \frac{1}{2} \left( \frac{r_{\odot}}{r_{\oplus}} + 1 \right),$$

а продолжительность полной фазы зависит от соотношения радиусов дисков. При  $r_{\text{лун}} = r_{\text{сол}}$  даже наибольшая фаза  $\Phi = 1$  и длится одно мгновение. При самых же благоприятных условиях, когда  $r_{\text{лун}} = 16',8$  (Луна в перигее) и  $r_{\text{сол}} = 15',8$  (Земля в афелии), что возможно только в самом конце июня и в начале июля,  $r_{\text{лун}} / r_{\text{сол}} = 1,06$ , наибольшая фаза полного затмения  $\Phi_m = 1,03$ , а само полное затмение длится не более 7,5 мин.

На границах полосы полной фазы хорошо заметно параллактическое смещение Луны и поэтому покрытие ею Солнца происходит асимметрично, с внутренним касанием их дисков, при котором  $\sigma = r_{\text{лун}} - r_{\text{сол}}$ , полное затмение длится одно мгновение, а его наибольшая фаза

$$\Phi_m = \frac{r_{\odot} + r_{\oplus} - \sigma}{2r_{\odot}} = \frac{r_{\odot} + r_{\oplus} - (r_{\odot} - r_{\oplus})}{2r_{\odot}} = 1.$$

Ширина полосы полной фазы не одинакова на всем ее протяжении, так как зависит не только от диаметра лунной тени, падающей на земную поверхность, но и от высоты Солнца над горизонтом, которая различна в разных местах полосы. Величина диаметра лунной тени у земной поверхности обусловлена взаимными расстояниями Земли, Луны и Солнца во время затмения.

Из-за периодического изменения этих расстояний конус лунной тени может иметь длину от 367 000 до 379 700 км, и поэтому даже при наименьшем геоцентрическом расстоянии Луны в 356 410 км (Луна в перигее) и наибольшем диаметре ее диска (33',5) диаметр лунной тени у земной поверхности не превышает 270 км. При этих же условиях диаметр лунной полутени близок к 6750 км и, следовательно, частное солнечное затмение видно к югу и к северу от полосы полной фазы до расстояния около 3240 км  $[(6750 \text{ км} - 270 \text{ км}) / 2 = 3240 \text{ км}]$ .

Но уже при средних расстояниях Луны от Земли (384 400 км) и Земли от Солнца лунный диск (диаметр 31',1) меньше солнечного (32',0), а конус лунной тени имеет длину около 373 300 км и не доходит до земной поверхности примерно на 4700 км. Поэтому Луна не закрывает Солнца полностью, и вместо полного происходит кольцеобразное затмение, при котором вокруг темного лунного диска видно узкое

за который Земля переместится в положение 3, а Луна — в положение Л<sub>3</sub> и опять будет видна в полной фазе, но уже не в созвездии Льва, а в смежном с ним созвездии Девы. Таким образом, промежуток времени между соседними полнолуниями, или синодический месяц, равен

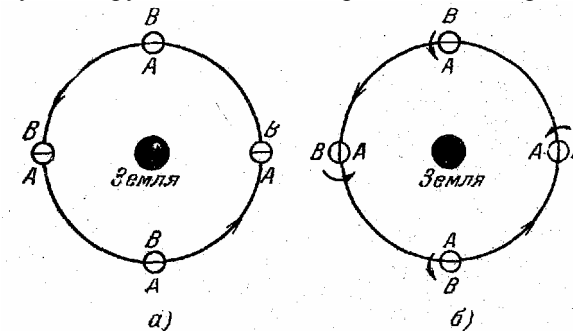
$$S = T + \Delta t = 27,32 \text{ д} + 2,21 \text{ д} = 29,53 \text{ д},$$

а точнее,  $S = 29,5306 = 29 \text{ д} 12 \text{ ч} 44 \text{ м} 03 \text{ с}$ . Такова средняя продолжительность синодического месяца, истинная длительность которого из-за неравномерного движения Луны и Земли колеблется от 29,25 д до 29,83 д.

Аналогичным образом повторяются все фазы Луны, в том числе и новолуния, и следовательно, одинаковые фазы наступают в различных точках лунной орбиты и поочередно во всех зодиакальных созвездиях. Этим и объясняется, почему на протяжении года условия видимости Луны в одной и той же фазе резко различны. Зимой, когда Солнце проходит по южным зодиакальным созвездиям и его суточный путь над горизонтом низок и короток, полная Луна перемещается по северным зодиакальным созвездиям, высоко поднимается и подолгу находится над горизонтом. Летом картина противоположная: полная Луна повторяет зимний суточный путь Солнца и в северных странах иногда даже бывает не видна, скрываясь за неровным рельефом местности.

С Земли видно только одно полушарие Луны, всегда обращенное к нашей планете. Создается впечатление, будто Луна, в отличие от Земли, не вращается вокруг своей оси. Но это впечатление ошибочно: если бы Луна не вращалась, то с Земли поочередно были бы видны оба ее полушария, в чем легко убедиться, обводя вокруг себя невращающийся шаровидный предмет. Если же медленно поворачивать этот предмет вокруг его оси в направлении обвода и с тем же периодом, то будет видно только одно его полушарие.

Эти объяснения могут быть легко проиллюстрированы. На рисунке ниже изображены четыре положения Луны относительно Земли, в предположении, что вращение Луны вокруг оси отсутствует. В этом случае лунные полушария, обозначенные буквами А и В, всегда обращены в пространстве в неизменных направлениях и, следовательно, поочередно обозримы с Земли. При вращении же Луны вокруг оси с тем же периодом, за который Луна обходит Землю, одно лунное



полушарие (А) всегда обращено к Земле, а второе (В) отвернуто от нее и никогда с нее не видно. Луна именно поэтому и обращена к Земле одним своим полушарием,

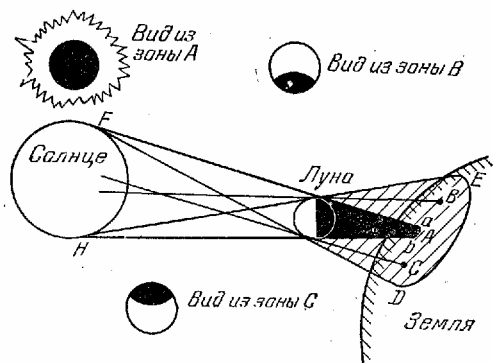
что медленно вращается вокруг оси в направлении своего движения вокруг Земли (с запада к востоку) с периодом, равным звездному, или сидерическому, месяцу. Другими словами, периоды вращения Луны и ее обращения вокруг Земли строго одинаковы. Такое вращение называется синхронным. Из-за совпадения периодов вращения и обращения Луны продолжительность ее солнечных суток равна синодическому месяцу, так что на Луне 14,8 земных суток длится день и столько же ночь. Невидимое, или обратное, лунное полушарие сейчас хорошо изучено по фотографиям, полученным советскими и американскими лунными станциями.

## СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ И УСЛОВИЯ ИХ НАСТУПЛЕНИЯ

(М.М. Дагаев)

В своем движении вместе с Землей вокруг Солнца Луна часто заслоняет (покрывает) звезды зодиакальных созвездий, по которым проходит лунный путь. Значительно реже происходят покрытия Луной планет, оказавшихся на небе в непосредственной близости к лунному пути. Периодически Луна частично или полностью заслоняет Солнце — происходят солнечные затмения.

Солнечные затмения возможны только при новолуниях, когда Луна проходит между Солнцем и Землей, но далеко не при всех, поскольку Луна может отходить от эклиптики (на которой находится Солнце) на  $5^\circ,2$ , а диаметры солнечного и лунного дисков близки к  $0^\circ,5$  и, следовательно, покрытия Солнца Луной не всегда осуществимы. Условия наступления солнечных затмений мы рассмотрим несколько позже, а сейчас покажем, что солнечные затмения видны отнюдь не из всех местностей дневного полушария Земли, так как из-за своих небольших размеров Луна не может скрыть Солнца от всего земного полушария. Солнце дальше от Земли, чем Луна, примерно в 390 раз, но его линейный диаметр (1 392 000 км) почти в 400 раз превышает диаметр Луны (3476 км), и поэтому освещаемая Солнцем Луна отбрасывает в пространство сходящийся конус тени и окружающий его



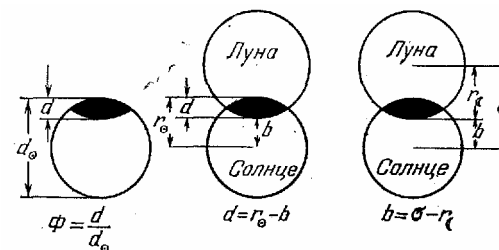
расходящийся конус полутени. Когда эти конусы пересекаются с земной поверхностью, то лунная тень и полутень падают на нее, и на ней происходит солнечное затмение. Из мест земной поверхности, оказавшихся в лунной тени, видно полное солнечное затмение (Солнце полностью закрыто Луной), а в местностях, покрытых лунной полутенью, происходит частное солнечное затмение (солнечный диск заслонен Луной не полностью); из-за близости Луны к Земле из южной зоны (С)

полутени видна закрытой северная (верхняя) часть солнечного диска, а из северной зоны (В) — южная (нижняя) его часть. Таким образом, из разных мест земной поверхности Луна видна в несколько различающихся направлениях, и такое кажущееся смещение называется параллактическим (от греческого «параллакис» — уклонение). Его легко продемонстрировать на опыте, для чего достаточно посмотреть на очень близкий предмет (хотя бы на свой собственный палец) поочередно то правым, то левым глазом. У Луны параллактическое смещение может достигать  $1^\circ$ .

Степень покрытия Солнца Луной называется фазой солнечного затмения и измеряется отношением закрытой части ( $d$ ) диаметра солнечного диска ко всему его диаметру  $d_{\text{сол}}$  т. е. фаза солнечного затмения и есть

$$\Phi = \frac{d}{d_{\odot}},$$

величина и всегда выражается десятичной дробью. Для любого момента затмения его фаза может быть вычислена по радиусам лунного ( $r_{\text{лун}}$ ) и солнечного ( $r_{\text{сол}}$ ) дисков и угловому



расстоянию ( $\sigma$ ) между их центрами. Поскольку  $d_{\text{сол}} = 2r_{\text{сол}}$ ,  $d = r_{\text{сол}} - b$ , а  $b = \sigma - r_{\text{лун}}$ , то  $d = r_{\text{лун}} + r_{\text{сол}} - \sigma$ , а фаза солнечного затмения

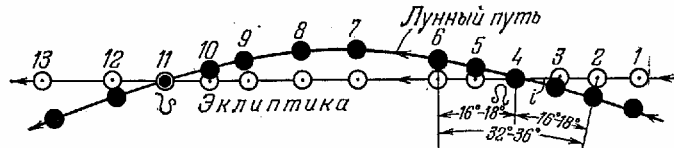
$$\Phi = \frac{r_{\text{л}} + r_{\odot} - \sigma}{2r_{\odot}}.$$

В зоне лунной полутени, где происходит частное солнечное затмение,  $r_{\text{лун}} < r_{\text{сол}} - \sigma$ , и поэтому  $r_{\text{лун}} + r_{\text{сол}} - \sigma < 2r_{\text{сол}}$ , т.е. всегда фаза затмения  $\Phi < 1$  и уменьшается в направлении к внешней границы зоны затмения, на которой видно внешнее касание дисков, и, следовательно,  $\sigma = r_{\text{лун}} + r_{\text{сол}}$ , а фаза  $\Phi = 0$ ; за этой границей затмение вообще не происходит. Следовательно, солнечные затмения принадлежат к чисто оптическим явлениям.

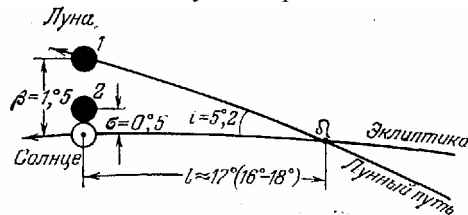
Лунная тень и полутень на земной поверхности имеют вид овальных пятен, форма которых зависит от положения Солнца и Луны над горизонтом; чем меньше их высота, тем более полого к земной поверхности направлена ось обоих конусов и тем более вытянуты пятна тени и полутени. Если же солнечное затмение происходит

лунной тени на нашу планету до момента схода тени с нее, обычно составляет от одного до трех с половиной часов, и за этот промежуток времени лунная тень пробегает по Земле путь от 6000 до 12 000 км. Солнечное затмение начинается в западных районах земной поверхности при восходе Солнца и заканчивается на востоке при его заходе. Общая продолжительность всех фаз солнечного затмения на Земле может достигать шести часов.

Теперь рассмотрим условия наступления солнечных затмений. Представим



себе эклиптику, пересекающийся с нею в восходящем ( $\Omega$ ) и нисходящем лунных узлах и под углом  $i = 5^\circ, 2$  лунный путь и положения Солнца и Луны в различные новолуния. При новолуниях, происходящих вдали от лунных узлов (новолуния в положениях 1, 7, 8, 13 на рисунке), солнечные затмения невозможны. Луна проходит на небе ниже (южнее) или выше (севернее) Солнца. И только при новолуниях вблизи лунных узлов наступают частные (новолуния 3, 5, 10) и полные или кольцеобразные (новолуния 4, 11) солнечные затмения. Чтобы произошло частное затмение, необходимо внешнее касание солнечного и лунного дисков (новолуния 2, 6, 12), диаметры которых примем приближенно за  $0^\circ, 5$ , и тогда видимое угловое расстояние между центрами дисков  $= 0^\circ, 5$ . Но из-за близости к Земле



параллактическое смещение Луны может достигать  $p = 1^\circ$ , и поэтому из ряда мест земной поверхности касание дисков будет видно даже при истинном расстоянии  $= 0^\circ, 5 + 1^\circ = 1^\circ, 5$ . Сферическая тригонометрия дает формулу, позволяющую вычислить угловое расстояние  $l$  Солнца от лунного узла,

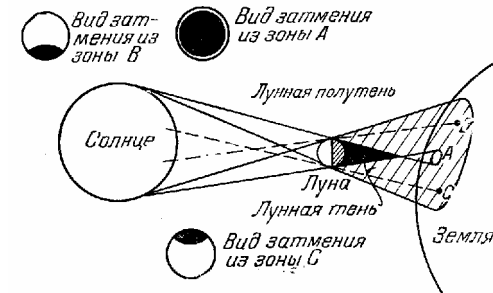
$$\sin l = \operatorname{tg} \beta * \operatorname{ctg} i = \operatorname{tg} 1^\circ, 5 * \operatorname{ctg} 5^\circ, 2 = 0,0262 * 11,095 = 0,2906,$$

откуда  $l = 16^\circ, 9 \sim 17^\circ$ .

Такие же подсчеты для наибольших и наименьших диаметров дисков обоих светил дают соответственно  $l = 18^\circ$  и  $l = 16^\circ$ . Следовательно, частные солнечные затмения могут произойти при новолуниях, наступающих не далее  $18^\circ$  от лунных узлов, а при расстояниях менее  $16^\circ$  они происходят обязательно.

При полных и кольцеобразных солнечных затмениях истинное расстояние между центрами дисков светил определяется только параллаксом Луны  $p = 1^\circ$  (так как  $\sigma = 0$ ) и поэтому при наименьших диаметрах дисков  $l = 10^\circ$ , а при наибольших —  $l = 11^\circ, 5$ . Значит, такие затмения происходят в периоды новолуний, наступающих не далее  $11^\circ, 5$  от лунных узлов, и чем ближе к узлу происходит затмение, тем больше

яркое кольцо незакрытой солнечной поверхности. Наибольшая фаза кольцеобразного затмения тоже определяется по-прежнему, и так как  $r_{\text{лун}} < r_{\text{сол}}$ , то  $\Phi_m < 1$ , но даже



при наименьшем  $r_{\text{лун}} = 14', 7$  (Луна в апогее) и наибольшем  $r_{\text{сол}} = 16', 3$  (Земля в перигелии), что возможно только в самом конце декабря и начале января, кольцеобразная фаза затмения не может быть меньше

$$\Phi_m = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{14', 7}{16', 3} + 1 \right) = 0, 95.$$

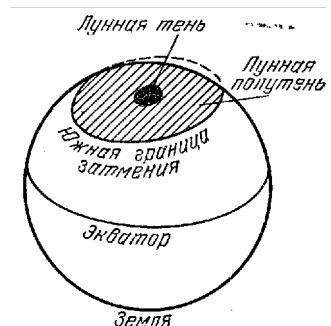
Полоса на земной поверхности, из которой видно кольцеобразное затмение, называется полосой кольцеобразной фазы, по обе стороны которой происходит частное затмение. Тут же отметим, что полоса кольцеобразной фазы и полоса полной фазы часто именуются полосой главной фазы, а оба эти вида затмения — центральными.

При наибольшем удалении Луны от Земли до 406 740 км (Луна в апогее) вершина конуса лунной тени не доходит до земной поверхности на 33 360 км, ширина полосы кольцеобразной фазы возрастает до 380 км, а диаметр лунной полутени увеличивается до 7340 км, что все же далеко недостаточно для покрытия всего полушария Земли.

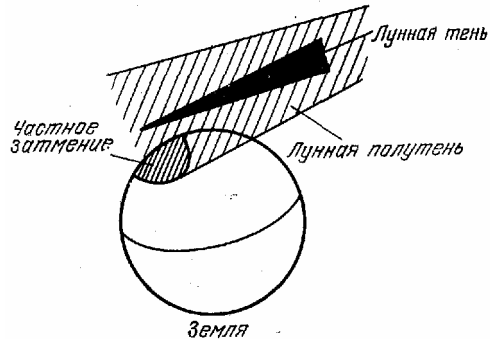
Таким образом, полные солнечные затмения могут происходить лишь при геоцентрических расстояниях Луны меньше среднего расстояния, когда лунный диск равен или больше солнечного, а конус лунной тени направлен к Земле, причем ширина полосы полной фазы при разных затмениях различна, а чаще всего бывает от 40 до 100 км.

Когда на Землю вместе с лунной тенью вступает вся лунная полутень, то по земной поверхности проходят обе границы солнечного затмения, северная и южная, определяемые поперечником полутени. Когда же лунная тень падает на Землю, а полутень частично оказывается вне Земли, то затмение имеет только одну границу, либо северную (полное затмение в южном полушарии Земли), либо южную (полное затмение в северном полушарии Земли). Но нередко бывает и так, что лунная тень минует Землю, а полутень частично захватывает ее, и тогда происходят только частные солнечные затмения, видимые лишь в средней и полярной зоне либо северного, либо южного земного полушария.

Причину и виды солнечных затмений можно



показать на простом опыте, демонстрируемом в затемненном помещении. Поставьте па одном конце длинного стола электрическую лампу (лучше в шаровом матовом абажуре), на другом конце — географический глобус, а между ними подвесьте на нитке небольшой шарик. Освещаемый лампой шарик будет отбрасывать тень и полутень на глобус, т. е. демонстрировать полное и частное солнечное затмение. Сместив шарик несколько вверх или вниз, можно



пропустить его тень мимо глобуса, оставив на нем только полутень, что покажет причину частных солнечных затмений. Смещение шарика далее в том же направлении до схода его полутени с глобуса продемонстрирует новолуние без солнечных затмений.

Солнечное затмение начинается с правого, западного края Солнца, на диске которого появляется небольшой ущерб, имеющий форму окружности того же радиуса. Постепенно фаза затмения увеличивается, и солнечный диск принимает вид непрерывно суживающегося серпа, значительно отличающегося по своей форме от серповидных лунных фаз, ограниченных не круговым, а эллиптическим терминатором. Если затмение частное, то в середине затмения его фаза достигает некоторого наибольшего значения, а затем снова уменьшается, и затмение оканчивается на левом, восточном краю солнечного диска. При частных затмениях ослабления солнечного света почти не заметно (за исключением затмений с наибольшей фазой, близкой к 1), и фазы затмения видны лишь при наблюдениях сквозь темный светофильтр. В полосе полной фазы солнечное затмение тоже начинается с частных фаз, по когда Луна полностью закроет Солнце, наступает полумрак, как в темные сумерки, и на потемневшем небе появляются самые яркие звезды и планеты, а вокруг Солнца видно красивое лучистое сияние жемчужного цвета — солнечная корона, представляющая собой внешние слои солнечной атмосферы, не видимые вне затмения из-за их небольшой яркости в сравнении с яркостью дневного неба. Над всем горизонтом вспыхивает розовое зарево кольцо — это в местность, покрытую лунной тенью, проникает солнечный свет из соседних зон, где полного затмения не происходит, а наблюдается только частное. Ведь синие и голубые лучи, входящие в состав солнечного света, обильно рассеиваются уже верхними слоями земной атмосферы, а красные и оранжевые проходят сквозь них почти беспрепятственно. Поэтому нижние слои воздуха воспринимаются окрашенными в красновато-розовый цвет. Вскоре, чаще всего через 2—3 минуты, Луна открывает западный солнечный край, полная фаза затмения оканчивается, пропадает зарево кольцо, быстро светлеет, исчезают звезды, планеты и солнечная корона. Далее следуют уменьшающиеся частные фазы и, наконец, солнечное

затмение оканчивается. Между прочим, вид солнечной короны меняется из года в год; она бывает то «растрепанной», то вытянутой вдоль солнечного экватора в зависимости от фазы солнечной активности. Вероятно, вытянутая корона дала повод древним египтянам изображать Солнце крылатым.

В каждой местности затмение начинается и оканчивается в различные моменты времени, и его обстоятельства, в том числе и продолжительность, зависят от скорости и направления движения лунной тени (полутени). Вычисленные обстоятельства затмения наносятся на географическую карту, которая в этом случае называется картой солнечного затмения (см. вклейку). Вычисления эти, как и вычисления всех обстоятельств солнечных затмений для разных местностей Земли, очень сложны, поскольку скорость лунной тени (и полутени) на земной поверхности зависит от величины и направления геоцентрической скорости Луны, от географической широты местности и от угла наклона конуса лунной тени к поверхности этой местности. Но все же, ради наглядности, мы приведем очень приближенный метод вычисления продолжительности полного солнечного затмения на центральной линии полосы полной фазы.

Коль скоро движение Луны и вращение Земли происходят в одном направлении, то лунная тень перемещается по земной поверхности примерно со скоростью  $v_{\text{тени}} = v - v_0$ , где  $v$  — геоцентрическая скорость Луны и  $v_0$  — линейная скорость точек земной поверхности в направлении движения лунной тени.

Наибольшая возможная продолжительность полной фазы затмения возможна только при максимальном диаметре лунной тени  $D_t = 270$  км и лишь в экваториальной зоне Земли, где линейная скорость точек земной поверхности наибольшая и на экваторе близка к  $v_0 = 0,47$  км/с. Максимальный же, диаметр лунной тени возможен лишь при наименьшем геоцентрическом расстоянии Луны, когда ее скорость приближается к  $v = 1,08$  км/с. Поэтому наибольшая возможная продолжительность полной фазы солнечного затмения

$$\tau_m = D_t / v - v_0 = 270 / 1,08 - 0,47 = 443\text{с} = 7\text{м } 23\text{с}$$

а более точные расчеты приводят к значению  $\tau_m = 451\text{с} = 7\text{м } 31\text{с}$ .

Но условия для таких продолжительных полных затмений наступают крайне редко. На протяжении полутора тысяч лет, с VII до начала XXIII в., не было и не будет ни одного такого затмения. Но с несколько меньшей продолжительностью полные солнечные затмения в XX в. были 8 июня 1937 г., длительностью 7м 04с (полоса полной фазы проходила по Тихому океану, Южной и Центральной Америке), 20 июня 1955 г. длительностью 7м 08с (полоса шла по Индийскому океану, Филиппинским островам и Тихому океану) и 30 июня 1973 г. в Центральной Африке, продолжавшееся в Нигере 7м 10с. Полное же солнечное затмение почти наибольшей возможной продолжительности (7м 29с) произойдет лишь 16 июля 2186 г. в экваториальном поясе Земли.

Аналогично можно подсчитать, что в исключительных случаях наибольшая продолжительность кольцеобразной фазы солнечного затмения достигает 12,3м, а частного затмения — до 3,5 часа. Но подавляющее большинство затмений длится до двух с половиной часов, а их полная или кольцеобразная фаза всего лишь 2—3 минуты. Общая же длительность полного затмения на Земле, с момента вступления



узлу, то лунная тень промчится по тропической зоне Земли. Далее, по мере отхода затмений от узла, тень и полутень начнут переходить в умеренную зону противоположного земного полушария, затем — в его полярную зону и, наконец, вблизи другого полюса лунная тень соскользнет с Земли. Так заканчивается период центральных затмений, длящийся от 48 до 42 саросов, после которого, на протяжении от 9 до 16 саросов, снова повторяются частные затмения, но уже с убывающей фазой. В настоящее время благодаря детальному изучению движения Земли и Луны вычислены даты предстоящих солнечных затмений вплоть до 2500 года.

## НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ (М.М. Дагаев)

Вычисленные на несколько столетий вперед даты и районы видимости солнечных затмений не вызывают сомнений. Но вычисление на такие длительные сроки всех деталей обстоятельств солнечных затмений, а именно, точных моментов их начала и окончания, наибольшей фазы и четких границ полосы видимости, конечно, невозможно, так как в природе нет ничего неизменного. И хотя движение Земли и Луны изучено с высокой точностью, все же имеется ряд факторов, влияние которых неуловимо на небольших интервалах времени, но которые проявляют себя по прошествии десятков и сотен лет. Поэтому точные обстоятельства предстоящих солнечных затмений вычисляются обычно за несколько лет до их наступления и проверяются их наблюдениями.

Частным солнечным затмениям с небольшой фазой астрономы не уделяют внимания. Но частные затмения со значительной наибольшей фазой уже вызывают интерес, если не у всех астрономов, то по крайней мере у тех, кто занимается изучением движения Луны и Земли. Полные же солнечные затмения астрономы наблюдают обязательно, и для этого им зачастую приходится снаряжать очень далекие экспедиции и заранее, за 2—3 недели до затмения, устанавливать и налаживать научную аппаратуру. Так, например, полное солнечное затмение 30 июня 1973 г. экспедиция астрономов нашей страны наблюдала в Центральной Африке.

К наблюдениям предстоящего 1 августа 2008 г. солнечного затмения, полоса полной фазы которого пройдет по территории России и Зарубежья, готовятся астрономы России и многих стран мира. Кроме России полная фаза будет наблюдаться в Северной Канаде и странах Восточной Азии. В полосу полного солнечного затмения предполагается направить несколько экспедиций. Когда организуется несколько экспедиций, то они всегда располагаются на разных участках вдоль полосы полной фазы затмения. Нет сомнений, что многие любители астрономии также выедут в полосу полного затмения, а центральным городом затмения будет Новосибирск. Этим обеспечивается не только выполнение запланированных работ большинством экспедиций (некоторые может постигнуть неудача из-за облачности), но и возможность обнаружения изменений в солнечной короне за те полтора часа, за которые лунная тень пробежит по земной поверхности от наиболее западной экспедиции до наиболее восточной. В предстоящем солнечном затмении экспедиции будут рассредоточены, по возможности, вдоль полосы полной фазы

его продолжительность. Наиболее продолжительные из этих затмений происходят в самих узлах, и полоса их главной фазы пролегает в тропическом поясе Земли.

Солнечные затмения происходят ежегодно. В самом деле, дуга эклиптики, в пределах которой происходят солнечные затмения и поэтому называемая зоной солнечных затмений, имеет протяженность в  $32^\circ$ — $36^\circ$  (по  $16^\circ$ — $18^\circ$  в обе стороны от лунного узла), и Солнце, ежесуточно смещаясь по эклиптике примерно на  $1^\circ$ , должно пройти эту зону за 32—36 суток. Но лунные узлы сами смещаются навстречу Солнцу за сутки на  $0^\circ,053$ , а за 32—36 суток — почти на  $2^\circ$ , и поэтому Солнце проходит зону затмений за 30—34 дня, на протяжении которых обязательно наступает хотя бы одно новолуние, а иногда и два (вблизи краев зоны), так как они чередуются через 29,53 суток (синодический месяц). Следовательно, в зоне затмений у каждого лунного узла обязательно происходит одно солнечное затмение того или иного вида, а иногда, значительно реже, — по два частных затмения с небольшой фазой. Но двух подряд центральных, т. е. полных или кольцеобразных, солнечных затмений вблизи одного лунного узла (т. е. на протяжении 34 суток) быть никак не может, потому что такие затмения наступают не далее  $11^\circ,5$  в обе стороны от лунного узла, а эту зону в  $23^\circ$  ( $2 \cdot 11^\circ,5$ ) Солнце проходит за 22 суток, в интервале которых возможно только одно новолуние.

Ежегодно наступают два периода (две эпохи), в которые происходят солнечные затмения. Эти эпохи отделены примерно полугодом, так как зоны солнечных затмений диаметрально противоположны. В самом деле, чтобы произошло солнечное затмение, Луна в фазе новолуния и Солнце должны находиться в одной и той же зоне затмений. Луна, но, конечно, в разных своих фазах, проходит каждую из этих зон ежемесячно, так как драконический месяц содержит 27, 21 суток. Солнцу же, при его ежесуточном смещении по эклиптике к востоку примерно на  $1^\circ$ , на перемещение по дуге в  $180^\circ$  между лунными узлами требуется около полугода. Но из-за отступления лунных узлов на  $19^\circ,3$  за год (365,3д), Солнце возвращается к одному и тому же узлу через промежуток времени  $T_{др} = 365,3д - 19,3д = 346$  суток, а точнее, — через промежуток  $T_{др} = 346,62$  суток, называемый драконическим годом. Покинув один лунный узел, Солнце вступает в противоположный узел через половину драконического года, т. е. через 173 суток, а шесть синодических месяцев составляют  $6 \cdot 29,53д = 177$  суток, и Луна в фазе новолуния тоже обязательно окажется в зоне затмений. Поэтому солнечные затмения происходят через каждые 177—178 суток. За полгода (около 183 суток) эпохи затмений смещаются на пять суток вперед, на более ранние календарные даты и постепенно переходят на разные сезоны года; с лета и зимы на весну и осень, снова на зиму и лето и т. д.

Так как в каждой зоне затмений обязательно происходит по одному солнечному затмению любого вида, то минимальное число солнечных затмений в году равно двум. Но в каждой зоне может произойти по два частных солнечных затмения с небольшими фазами, и тогда на протяжении одного календарного года будет четыре затмения. Если же первая пара частных солнечных затмений в одной зоне произойдет в начале января и февраля, то следующая пара частных затмений в другой зоне может наступить в самом начале июля и августа, а из очередной

вероятной пары частных затмений возможно только одно в самом конце декабря, а второе придется уже на январь следующего календарного года. Таким образом, наибольшее число солнечных затмений в одном календарном году не превышает пяти, и все они обязательно частные с небольшими фазами.

Однако такие случаи чрезвычайно редки. Последний раз пять солнечных затмений было в 1935 г. и до 2206 г. этого больше не повторится. Но четыре частных затмения будут в 1982 г., 2000, 2011, 2029 и в 2047 г. Чаше всего ежегодно бывает по 2—3 солнечных затмения, причем одно из них, как правило, полное или кольцеобразное.

В разные годы лунная тень пробегает по различным местам земной поверхности, и поэтому в каждой местности полные солнечные затмения действительно происходят очень редко, в среднем один раз за 300—400 лет, хотя бывают и исключения. Так, например, в Москве полные солнечные затмения были видны 11 августа 1123 г., 20 марта 1140 г. (т. е. через 16 лет), 7 июня 1415 г. (через 275 лет), 25 февраля 1476 г. (через 61 год) и в ее окрестностях — 19 августа 1887 г. (через 411 лет). Очередное полное затмение Солнца в Москве, продолжительностью около 4 мин, произойдет лишь 16 октября 2126 г. В Жданове же и Ейске полные солнечные затмения наблюдались 30 июня 1954 г. и 15 февраля 1961 г., т. е. менее чем через 7 лет.

Частные солнечные затмения происходят в каждой местности, естественно, чаще полных затмений, так как диаметр лунной полутени значительно превышает поперечник лунной тени. Так, например, на долю Москвы за 30 лет, с 1952 по 1981 г. включительно, приходится 13 частных солнечных затмений, т. е. в Москве они происходят в среднем через каждые 2—3 года. Аналогичная картина присуща и многим другим местам земной поверхности. Но коль скоро при частных солнечных затмениях с небольшой фазой ослабления солнечного света не заметно, то на них часто не обращают внимания.

Солнечные затмения периодически повторяются, так как их наступление зависит от трех периодов! периода смены лунных фаз, или синодического месяца  $S = 29,5306$ , периода возвращения Луны к одному из лунных узлов, или драконического месяца  $S_{др} = 27,2122$  д и периода возвращения Солнца к тому же лунному узлу, или драконического года  $T_{др} = 346,62$  д. Легко подсчитать, что

$$223 * S = 223 * 29,5306 \text{ д} = 6585,32 \text{ суток},$$

$$242 * S_{др} = 242 * 27,2122 \text{ д} = 6585,35 \text{ суток},$$

$$19 * T_{др} = 19 * 346,62 \text{ д} = 6585,78 \text{ суток}.$$

Следовательно, каждое солнечное затмение повторяется через период времени в 6585,3 суток = 18 лет 11,3 суток (или 10,3 суток, если в этом периоде содержится пять високосных лет), названный саросом. На протяжении сароса в среднем происходит 42—43 солнечных затмения, из которых 14 полных, 13—14 кольцеобразных и 15 частных. Однако по истечении сароса каждое затмение повторяется в других условиях, так как сарос не содержит целого числа суток, а за избыток около 0,3 суток (сверх 6585 дней) Земля повернется вокруг оси примерно на 120° и поэтому лунная тень пробежит по земной поверхности на те же 120°

западнее, чем 18 лет назад, да и Солнце с Луной будут находиться на нескольких иных расстояниях от лунного узла.

Предстоящее полное солнечное затмение 1 августа 2008 г. является повторением полного солнечного затмения, происходившего 18 марта 1988 г. и 20 июля 1963 г. Но полоса полной фазы затмения 18 марта 1988 года проходила по Индонезии, Филиппинам, Тихому океану и Алеутским островам. Очередное же полное солнечное затмение по прошествии сароса произойдет 8 апреля 2024 г. и будет видно в Тихом океане, Северной Америке и Атлантическом океане.

Закономерность повторения солнечных затмений более сложна, чем она представлена саросом, так как синодический месяц, драконический месяц и драконический год несоизмеримы между собой и по истечении сароса (6585,3 суток) Луна не доходит до своего прежнего положения относительно лунного узла на 0°,47'.

Назовем серией, или цепочкой затмений их совокупность, отделенную промежутком в один сарос от другой такой же совокупности. Если в какой-то день полное солнечное затмение этой серии произошло в самом лунном узле и имело наибольшую продолжительность, то через 6585,3 суток Луна не дойдет до того же узла, а окажется на расстоянии около 0°,47' к западу от него, и поэтому полное солнечное затмение произойдет на таком же расстоянии к западу от узла и будет иметь несколько меньшую продолжительность. Еще через сарос (18 лет 11,3 дня) такой сдвиг опять повторится, и полное солнечное затмение произойдет на расстоянии 0°,94' к западу от того же лунного узла, а по истечении очередного сароса — уже на расстоянии 1°,41' к западу от узла и т. д. Но граница зоны полных солнечных затмений отстоит от лунного узла в среднем на 11°, и поэтому через 24 сароса (примерно через 430 лет) Луна окажется уже вне этой зоны, и вместо полного (или кольцеобразного) солнечного затмения произойдет частное. Пройдет еще около 260 лет (14 саросов), и Луна удалится от своего узла более, чем на 18°, т. е. вообще выйдет из зоны солнечных затмений, и на этом данная серия их прекратится. Но взамен нее возникнет новая серия солнечных затмений, которая начнется в 18° восточное лунного узла в виде частного затмения очень малой фазы и, постепенно сдвигаясь к западу, превратится в центральные затмения, а затем, в 11° западнее узла, затмения снова станут частными, и наконец, и эта серия затмений окончится.

Одна серия солнечных затмений существует от 66 до 74 саросов (в среднем 70 саросов), или от 1190 до 1330 лет, и состоит из 18—32 частных и соответственно из 48—42 центральных затмений. Начинается она кратковременным частным затмением с ничтожной фазой всегда вблизи одного из полюсов Земли. Через 18 лет 11 дней лунная полутень охватывает уже несколько большую зону полярной области Земли, фаза частного затмения увеличивается, и оно становится более продолжительным. На протяжении от 9 до 16 саросов при очередном частном затмении лунная полутень постепенно переходит из полярной зоны в умеренную, и, наконец, в район того же полюса вступает лунная тень — начинается последовательность центральных солнечных затмений. Через каждый сарос эти затмения происходят все ближе к лунному узлу, и лунная тень (с полутенью) постепенно из полярной зоны перемещается в умеренный пояс земной поверхности, а когда затмения подойдут к

Среди общих задач наблюдений солнечных затмений имеется много таких, которые могут быть выполнены простейшими способами и средствами, вполне доступными любителям астрономии. Для выполнения таких наблюдений пригодны бинокли, небольшие школьные и самодельные телескопы, обычные фотокамеры, фотоэкспонетры, а также некоторые другие простейшие инструменты, которые без особых затруднений доступны изготовлению силами любителей астрономии, тем более, что в настоящее время многие из них обладают достаточными производственно-трудовыми навыками, приобретенными в средних школах, производственно-технических училищах, техникумах и институтах. У кого есть возможность, конечно, могут использовать серьезные инструменты, которые в наше время имеются а продаже в большом количестве.

Приступая к наблюдениям солнечного затмения, прежде всего нужно твердо запомнить, что **вне затмения или при частных фазах затмения смотреть на Солнце без защиты глаз темными светофильтрами категорически запрещено!** Это предупреждение особо относится к наблюдениям Солнца в оптические инструменты, так как пренебрежение им вызовет мгновенное и неизлечимое повреждение глаз. Поэтому перед объективом оптического инструмента нужно обязательно укрепить солнечный фильтр, чтобы глаза не ощущали раздражения солнечным светом. Даже при фазе солнечного затмения, равной 0,9, т. е. когда Луной закрыто 90% видимого диаметра Солнца, остается открытой 0,125 (одна восьмая) часть солнечного диска, и солнечный свет ослаблен всего лишь в 8—10 раз, что еще опасно для зрения, тем более что открытая часть имеет неослабленную поверхностную яркость. Без защиты глаз, в том числе в бинокль и в телескоп, можно смотреть на Солнце только во время полной фазы солнечного затмения, когда Солнце совсем закрыто Луной, а невооруженным глазом — и в непосредственной близости к этой фазе, когда незакрытая часть солнечного диска имеет вид настолько узкого, еле заметного серпа, что его свет уже не раздражает глаз.

Во время солнечного затмения возможны самые разнообразные наблюдения, выполнение которых одному наблюдателю непосильно. Поэтому лучше всего проводить наблюдения солнечного затмения коллективами, состоящими из 12—15 наблюдателей, каждый из которых выполняет одну строго определенную задачу. Конечно, численность коллектива может быть и иной, но тогда и круг задач должен быть изменен в ту или иную сторону. Безусловно, не все виды наблюдений окажутся одинаково интересными для наблюдателей, но тем не менее и их необходимо провести, помня, что наука требует жертв.

При разработке программы коллективных наблюдений прежде всего следует выяснить обстоятельства солнечного затмения в местности, где будут проводиться наблюдения. Если в данной местности будет происходить полное солнечное затмение, то программа наблюдений может быть весьма обширной. При частном солнечном затмении программа наблюдений, конечно, незначительна.

При распределении обязанностей среди наблюдателей необходимо помнить, что в процессе наблюдений полного солнечного затмения в высшей степени важно отмечать моменты времени происходящих явлений. Пока солнечное затмение протекает при небольших фазах, отметки времени самими наблюдателями не

Экспедиции, направляемые в полосу полного солнечного затмения, оснащаются специальными астрономическими инструментами, предназначенными для выполнения тех научных задач, которые ставит перед собой та или иная экспедиция. Эти инструменты, при их высоком качестве, имеют сравнительно небольшие размеры, удобные для транспортировки и для быстрой установки на месте, выбранном экспедицией. Установка и проверка работы даже самого сложного инструмента обычно не занимает более 10—12 дней. В числе оборудования всегда имеются хронометры и различные электронные секундомеры регистрирующие время с точностью не ниже 0,01 с, а также универсальные инструменты, позволяющие определять точные географические координаты места экспедиции, в том числе и спутниковое определение координат.

Одной из главных задач наблюдений полных солнечных затмений является уточнение теории движения Земли и Луны. Как бы ни была совершенна эта теория, она все же требует периодического контроля и, может быть, некоторых, хотя и небольших, дополнений, основой которых служат точные определения видимых положений Солнца вместе с Луной, что возможно только во время солнечных затмений. С этой целью фотографируются частные фазы солнечного затмения до и после окончания его полной фазы, причем моменты фотографирования фиксируются с наивысшей возможной точностью. На серии последовательно полученных фотоснимков затмившееся Солнце выглядит серпообразным. Измеряя размеры и ориентировку этих солнечных серпов, можно получить необходимые сведения о взаимном расположении Луны и Солнца, а следовательно, и изучить ранее неизвестные незначительные отклонения в движении Луны и Земли, если, конечно, они будут обнаружены.

Для фотографирования солнечных серпов используются фотокамеры, CCD-камеры, видеокамеры с длиннофокусными объективами, чтобы диаметры фотографических изображений серпов были не менее 20 мм. Чем крупнее получаются фотографии солнечных серпов, тем более точно они могут быть промерены. Поэтому часто для их фотографирования используются длиннофокусные инструменты, предназначенные для фотографирования солнечной короны и называемые коронографами. У коронографов различных конструкций фокусное расстояние объективов бывает от 4 до 18 метров, что позволяет получать фотографические изображения Солнца (и солнечных серпов) от 35 до 160 мм в диаметре. Такой коронограф прочно установлен на кирпичных столбах, а стоящее впереди него плоское зеркало медленно поворачивается за Солнцем и направляет его изображение в объектив коронографа. Объектив тоже медленно и равномерно перемещается в горизонтальной плоскости и тем самым удерживает изображение Солнца на фотопленке или фотопластинке.

Определение точных моментов всех четырех контактов, т. е. моментов начала и окончания как частного, так и полного затмения, осуществляется записывающими устройствами, а сами контакты фиксируются визуально, фотокамерами и видеокамерами.

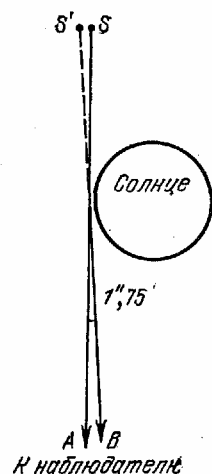
Другая главная задача наблюдений полного солнечного затмения — это возможно наиболее всестороннее изучение внешних оболочек Солнца, его хромосферы и короны. Конечно, наблюдения хромосферы и солнечной короны проводятся повседневно, вне солнечных затмений, на специальных инструментах, но этих наблюдений оказывается недостаточно, так как они позволяют исследовать хромосферу лишь в строго определенных лучах спектра, а у короны доступна изучению лишь ее внутренняя зона. Во время же полных солнечных затмений видна хромосфера и вся корона.

По фотографиям солнечной короны, полученным с разными выдержками (от 1 до 30 секунд) на коронографах и фотокамерах с различными фокусными расстояниями, имеется возможность детально изучить все зоны короны, от самых внутренних до далеких корональных лучей. Сравнение фотоснимков, выполненных удаленными друг от друга экспедициями, позволяет обнаружить и выяснить причину движения вещества в короне. Этому способствуют и видеосъемки солнечной короны.

Изучается не только структура солнечной короны, но и ее физическое состояние. Для этого излучаемый ею свет анализируется различными астрофизическими приборами. Чтобы исследовать цвет лучей, испускаемых короной, ее фотографируют сквозь разноцветные светофильтры. Присутствие различных химических элементов в хромосфере и короне и их физическое состояние определяется по фотографиям их спектров, получаемым на спектрографах. Такие снимки делаются в считанные секунды перед окончанием полного затмения, когда Луна уже приоткрыла хромосферу, но еще закрывает солнечный диск.

Для изучения солнечной короны применяются также специальные поляроидные пластинки и пленки; они позволяют определить преимущественное направление электромагнитных колебаний в световых лучах, излучаемых короной, которое зависит от ее физического состояния. Широко применяются и фотоэлектрические приборы, а также небольшие, легко монтируемые радиотелескопы, состоящие из малогабаритных антенн и чувствительной радиоприемной аппаратуры. Солнечная корона обильно излучает радиоволны, и хотя они улавливаются и вне затмений, тем не менее их исследование во время полного солнечного затмения необходимо потому, что позволяет отделить радиоизлучение короны от радиоизлучения хромосферы.

Еще одной интересной задачей наблюдений полных солнечных затмений является проверка эффекта Эйнштейна. Создатель общей теории относительности выдающийся физик Альберт Эйнштейн (1879—1955) в 1915 г. показал, что световые лучи, проходящие в непосредственной близости к очень массивному телу, подобному Солнцу, должны слегка отклоняться от прямолинейного пути. В частности, при прохождении около края Солнца световые лучи должны отклониться на малый угол в  $1'',75$ . Проверить



этот эффект можно только во время полной фазы солнечного затмения, когда на потемневшем небе рядом с затмившимся Солнцем проступают звезды. При отсутствии аффекта световой луч от звезды S пойдет к наблюдателю по прямой SA, и наблюдатель должен видеть звезду на небе в точке S. При отклонении светового луча его путь искривится в направлении SB, и тогда наблюдатель увидит звезду в точке S', смещенной в сторону от Солнца на угол в  $1'',75$ , но у самого солнечного края звезд не бывает видно, так как их слабый свет поглощается светом яркой короны. Обычно удается сфотографировать звезды, отстоящие от края Солнца на угол, равный его радиусу, для которых смещение еще в два раза меньше.

В принципе, такая проверка кажется весьма простой; достаточно сфотографировать затмившееся Солнце с окружающими его звездами, а затем, через полгода, когда Солнце переместится и противоположную область неба, снова сфотографировать те же звезды ночью. Сравнение между собой положений изображений звезд на обоих фотонегативах позволит измерить их смещение, вызванное эффектом Эйнштейна.

Однако на практике все оказалось значительно сложнее. Далеко не всегда вокруг затмившегося Солнца бывают достаточно яркие звезды, доступные фотографированию за те 2—3 минуты, пока длится полное затмение. Чтобы надежно измерить на фотопленке угол, меньший  $1''$ , нужен их подходящий масштаб, который обеспечивается лишь длиннофокусными фотокамерами. Так, например, даже при объективе с фокусным расстоянием  $F = 6$  м (6000 мм) смещение в  $1''$  соответствует на фотопленке отрезку длиной в 0,03 мм. В процессе фотографирования приходится все время плавно поворачивать фотокамеру за Солнцем, иначе фотоснимок окажется размытым, а обеспечить точное движение длиннофокусной камеры очень сложно. Имеется еще ряд причин чисто астрономического и инструментального характера, которые затрудняют проверку эффекта Эйнштейна.

Несмотря на большие затруднения, наблюдения для проверки эффекта Эйнштейна во время полных солнечных затмений проводились неоднократно (в том числе и академиком А. А. Михайловым), каждый раз на все более совершенствуемых инструментах. Наблюдения дали смещение, очень близкое предсказанному теоретически и в реальности которого не может быть сомнений.

## ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ (В.А. Бронштэн и М.М. Дагаев)

Для наблюдений солнечных затмений астрономы используют хотя сравнительно небольшие по размерам, но часто дорогостоящие инструменты весьма сложной конструкции. Применение таких инструментов вызывается необходимостью исследования тонких эффектов, от которых зависит правильное решение специальных научных задач. Но это отнюдь не означает, что для наблюдений солнечных затмений обязательно требуются только сложные инструменты.

самописцами. К простым наблюдениям относится и самое обычное фотографирование пленочным фотоаппаратом ландшафта местности при больших фазах солнечного затмения, начиная с фазы 0,9. Естественно, что последовательные снимки следует производить на отдельных кадрах, рассчитав их число таким образом, чтобы заряженной пленки хватило и для фотографирования после окончания полного затмения. Главное условие — это совершенно одинаковая продолжительность экспозиции всех снимков, но при этом, конечно, придется менять отверстие диафрагмы объектива, фиксируя ее значение в различные моменты времени. Поэтому подбор диафрагм необходимо провести заранее, за несколько дней до затмения, фотографируя "ландшафт при солнечном освещении и в сумерки.

В сельской местности интересно провести небольшие биологические наблюдения за поведением домашних животных и птиц во время затмения. Бывали случаи, когда обманутые внезапно наступившей темнотой некоторые животные впадали в панику, а другие спокойно направлялись в свои загоны на ночлег. Последующие рекомендуемые наблюдения требуют несколько больше навыков и более тщательной тренировки.

**Наблюдения бегущих теней.** В течение нескольких десятков секунд до и после полной фазы затмения иногда наблюдаются бегущие тени в виде чередующихся волнистых светлых и темных полос, особенно хорошо заметных на белом фоне. Это явление связано с неоднородностями и колебаниями слоев воздуха, сквозь которые проходит узкий пучок лучей от тонкого солнечного серпа. Для наблюдений бегущих теней можно использовать белую стену здания, обращенную к Солнцу, или расстеленную на земле белую простыню, в нескольких местах прижатую камнями, чтобы возможные порывы ветра не сорвали ее. Задачи наблюдателей состоят в определении направления движения бегущих теней, расстояния между темными полосами и их ширины, а также скорости их движения. Проще всего предварительно изготовить две тонкие деревянные планки, длиной в 1 м каждая, или воспользоваться двумя школьными классными линейками, и в момент появления бегущих теней непосредственно перед самым полным затмением быстро положить одну из них на простыню в направлении их движения. Вторую планку (линейку) расположить по движению теней после окончания полной фазы затмения. Один наблюдатель укладывает планки, а два или три других обязаны сосчитать число темных и светлых полос, одновременно укладывающихся на длине планки, и отметить интервал времени, за который одна темная полоса пробегает по планке, а также запомнить цветовые оттенки теней, если они появятся. Можно попытаться сфотографировать бегущие тени на высокочувствительную фотопленку с очень малой экспозицией, хотя это и не всегда удается из-за их значительной скорости. Более эффективной была бы видеосъемка бегущих теней с помощью современных видеокамер и цифровых фотоаппаратов.

**Определение границ лунной тени.** Эти простые по выполнению наблюдения имеют серьезное значение для уточнения теории движения Луны. Они проводятся несколькими группами, состоящими из 5—12 наблюдателей, причем каждая группа подразделяется на звенья из 1—2 человек. Пункты наблюдений, предназначенные для каждого звена, располагаются в местностях, находящихся вблизи границы полосы полной фазы, что нетрудно наметить по карте солнечного затмения и по его обстоятельствам, приведенным в таблицах обстоятельств затмения. Если имеется возможность, то полезно заранее установить связь между группами

вызывают затруднений, так как наблюдения проводятся через интервалы времени в несколько минут. Но вблизи полной фазы затмения и в течение нее наблюдатели ведут наблюдения непрерывно и следить за часами они не в состоянии. Поэтому необходимо назначить специального счетчика времени, который, все время следя за часами, обязан громко отсчитывать моменты времени. При частных фазах затмения счетчик объявляет число минут, оставшихся до начала полного затмения, сначала через интервалы в 5 мин (например: «До начала осталось 40 минут, 35 минут, 30 минут, ...») и так далее. Но за пять минут до начала полной фазы затмения, счет объявляется уже через каждую минуту (5 минут, 4 минуты, 3 минуты, 2 минуты), а за одну минуту до полной фазы — через каждую секунду (60, 59, 58 и т. д.). В момент начала полного затмения счетчик объявляет «ноль», далее отсчитывает секунды в порядке их возрастания и прекращает секунднй счет лишь через одну минуту после окончания полной фазы затмения.

Для счета времени, пригодны любые часы с отсчетом секунд или секундомер. Часы должны быть дважды выверены по радиосигналам точного времени, один раз до начала частного затмения и второй раз после его окончания. Различие показаний часов от моментов точного времени записывается в журнал наблюдений.

Во время солнечного затмения большинство наблюдателей выполняет свои обязанности по объявляемым счетчиком моментам времени. Но имеются и такие виды наблюдений (например, наблюдения движения лунной тени, ее границ, бегущих теней), когда более удобен отдельный счет времени. В этих случаях полезно к каждому наблюдателю прижать помощника-секретаря, который про себя ведет счет времени и краткие записи под диктовку наблюдателя. Вблизи полной фазы затмения и на ее протяжении моменты времени следует отмечать с наибольшей возможной точностью, лучше всего с точностью до 1 секунды.

Солнечное затмение может происходить в различных метеорологических условиях, и крайне важно отмечать эти условия в журнале наблюдений, например, наличие легких облаков, дымки, резкого ветра и т. д. Желательны и непрерывные метеорологические наблюдения, если имеются даже простейшие метеорологические приборы.

Для успешного проведения наблюдений полного солнечного затмения, безусловно, необходимы, еще за 10—12 дней до него, многократные тренировки наблюдателей совместно со счетчиком моментов времени, с тем, чтобы под его громкий счет четко отработать все действия, которые придется осуществлять на протяжении затмения.

Наблюдения частных фаз солнечного затмения не представляют интереса, разве что только можно попытаться отметить с точностью до 1 секунды моменты внешних контактов лунного диска с солнечным в самом начале и в самом конце затмения. Поэтому вне полосы полной фазы можно выполнить только эти наблюдения, а в промежутке между ними следить за изменением формы солнечного серпа, т. е. незакрытой Луной частью солнечного диска. Эти наблюдения можно проводить в бинокль или небольшой телескоп, объективы которых защищены темными светофильтрами. Но лучше всего для наблюдений солнечных серпов

использовать белый экран, укрепленный на окулярном конце телескопа. Это позволит вести наблюдения сразу нескольким наблюдателям одновременно и в то же время гарантирует их полную безопасность. Если нет часового привода, то в процессе наблюдений трубу телескопа следует медленно поворачивать за Солнцем,



которое из-за суточного вращения Земли все время смещается к западу.

В полосе полной фазы такие наблюдения тоже возможны, а определение моментов внутренних контактов, т. е. моментов начала и окончания полного затмения, крайне желательно. Но для повышения точности определения моментов внутренних контактов наблюдать их лучше непосредственно в бинокль, а еще лучше отметить по секундомеру моменты наступления темноты и ее окончания.

Наиболее простыми наблюдениями, которые могут быть выполнены даже начинающими любителями астрономии, являются определение моментов времени появления на небе ярких звезд и планет непосредственно перед началом полного солнечного затмения и в течение него, а также исчезновения тех же светил после окончания полной фазы затмения. Такие наблюдения желательно провести как невооруженным глазом, так и в бинокль в трех участках неба: в окрестностях Солнца, вокруг Полярной звезды и в области зенита. Для этого необходимо по любому звездному атласу или по программе-планетарию изучить взаимное расположение ярких звезд в указанных участках неба. Обычно во время полного солнечного затмения на небе появляются только яркие светила 1 звездной величины, а иногда и 2 звездной величины, но в бинокль могут быть видны звезды и до 3m.

Во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 года Солнце будет находиться в созвездии Рака. Яркие светила, видимые невооруженным глазом в окрестностях Солнца во время полной фазы солнечного затмения, показаны на схеме,

а сведения о них содержатся в таблице. В этой таблице даны звездные величины светил и экваториальные координаты (прямое восхождение  $\alpha$  и склонение  $\delta$ ; эпоха 2000.0) на 16 часов 1 августа 2007 года по новосибирскому времени

Светило	$\alpha$	$\delta$	m
Меркурий	09h 00m 43,3s	+18°49' 27"	-1,6
Венера	09h 47m 09,9s	+14°55' 13"	-3,7
Марс	11h 19m 08,2s	+05°16' 36"	+1,7
Сатурн	10h 39m 51,6s	+10°14' 28"	+0,9
Процион	07h 39m 17,9s	+ 05°13,41'	+0,40
Капелла	05h16m 41,4s	+45°59,84 '	+0,08
Регул	10h 08m 22,3s	+11° 58' 2"	+1,35
Спика	13h 25m 11,6s	-11° 09' 41"	+0,98
Арктур	14h 15m 39,7s	+19° 10' 57"	-0,04
Поллукс	07h 45m 18,9s	+28° 01' 34"	+1,14

Эти сведения помогут не только быстро найти светила на небе, но и использовать их для гидирования (т. е. перемещения по светилу, принятому за ориентир) трубы телескопа при фотографировании узких солнечных серпов и солнечной короны.

Полезно заранее распечатать на принтере аналогичные карты взаимного расположения ярких звезд до 2m (при наблюдениях невооруженным глазом) и до 3m (при наблюдениях в бинокль) в районе Полярной звезды и в области зенита. На составленных картах необходимо перенумеровать звезды и во время наблюдений отмечать моменты их появления и исчезновения.

Буквально за 2—3 секунды до наступления полной фазы затмения, когда на Солнце уже можно смотреть невооруженным глазом, на его левом краю, окончательно закрываемом Луной, вспыхивают светлые точки, разделенные темными промежутками. Это просвечивает сквозь долины и ущелья между лунными горами край солнечного диска. Цепочка таких светлых точек называется четками Бэйли, по имени первого их наблюдателя. Интересно отметить момент появления и продолжительность видимости четок Бэйли в начале и при окончании полного затмения (уже на правом краю Солнца),

К наиболее простым относятся и метеорологические наблюдения. Здесь полезно выполнить комплекс наблюдений изменения температуры воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра в различные моменты затмения. Полезно иметь минимальный термометр, фиксирующий наименьшую температуру воздуха. Атмосферное давление можно измерять обычным барометром-анероидом, скорость ветра — анемометром или ветромерной дощечкой, а его направление определять по флюгеру. Метеорологические наблюдения следует начинать примерно за 5 мин до начала полной фазы затмения и заканчивать через 5 мин после ее окончания, проводя отсчеты показаний приборов через каждую минуту. Во время полной фазы, начиная с момента ее наступления, отсчеты проводятся через каждые 15—20 секунд. Еще лучше, если показания приборов будут фиксироваться



$$d = \frac{F}{110} \cdot$$

Следовательно, фотографировать солнечную корону короткофокусными пленочными фотокамерами с фокусным расстоянием в 50 мм и даже в 100 мм не имеет смысла, так как у изображения Луны, покрывающей Солнце, линейный диаметр получится в пределах от 0,5 мм до 1 мм, а изображение солнечной короны протянется на расстояние в несколько миллиметров. Но если кто-то удовлетворится и такими снимками, то следует использовать высокочувствительную фотопленку, а фотокамеру отфокусировать по удаленным предметам и укрепить ее на штативе, достаточно высоком, чтобы можно было быстро навести ее на Солнце в самом начале полного затмения. Крепление камеры должно быть настолько надежным, чтобы она не вибрировала во время экспозиций и даже при протяжке пленки. Длительность экспозиции не должна превышать 6 с, иначе изображение солнечной короны окажется размазанным.

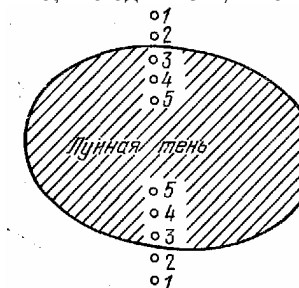
При наличии небольшого телескопа, хотя бы и самодельного, с фокусным расстоянием порядка 600—1000 мм, малогабаритные пленочные фотокамеры могут быть использованы более эффективно. Для этого нужно вынуть из фотокамеры объектив, а из телескопа — окуляр и на его место прикрепить к телескопу фотокамеру. Тогда объективом фотокамеры будет служить объектив телескопа. В зависимости от фокусного расстояния этого объектива диаметр изображения Луны на фотопленке получится от 5 до 9 мм. Конечно, далекие лучи солнечной короны могут не уместиться в пределах фотокадра, но близкие к диску Солнца ее участки зафиксированы уверенно.

Чтобы безошибочно наводить телескоп с фотокамерой на солнечную корону, необходимо предварительно на его тубусе (трубе) установить небольшую оптическую трубку (с объективом и окуляром), которая служит искателем. В окуляре искателя полезно натянуть крест из тонких нитей или волосков. Оптические оси искателя и телескопа должны быть параллельны между собой. Для осуществления этого телескоп с окуляром наводится на удаленный неподвижный земной предмет, который улавливается и в искатель. Небольшим перемещением телескопа и искателя необходимо добиться, чтобы предмет был виден в центре поля зрения того и другого, и тогда искатель прочно закрепляется на тубусе. Теперь, всякий раз при наведении телескопа на какой-либо удаленный объект, можно пользоваться искателем: если объект виден в центре поля зрения искателя, то он находится и в поле зрения инструмента. В крайнем случае искатель можно заменить простым визиром, но, конечно, точность наведения телескопа с камерой при этом снизится.

Крепление фотокамеры к выдвижной окулярной части телескопа осуществляется различными способами, зависящими от возможностей любителя. Лучше всего приобрести или изготовить небольшую по размерам переходную металлическую трубку, на одном конце которой нарезать резьбу для ввинчивания ее в фотокамеру. Другим концом переходная трубка плотно насаживается на выдвижную окулярную часть телескопа.

наблюдателей, собирающимися проводить наблюдения вблизи обеих границ полосы полной фазы, чтобы разработать план совместных наблюдений.

Пункты наблюдений для каждого звена одной группы предпочтительнее выбрать на ровной местности и расположить их вдоль прямой линии, перпендикулярной к границе лунной тени, с таким расчетом, чтобы по крайней мере три пункта оказались в полосе полного затмения, а два других — вне ее. При пяти звеньях взаимные расстояния между пунктами наблюдений выбираются около 1 км, чтобы наиболее удаленные от границы лунной тени пункты отстояли от нее примерно в 2 км вне и в 3 км внутри полосы полной фазы. При большем числе звеньев (что крайне желательно) взаимные расстояния между ними полезно сократить до 500 м. Весьма вероятно, что один из пунктов окажется на самой



границе тени. Вдоль этой границы группы наблюдателей располагаются на взаимных расстояниях около 5 км. Так как при определении положения границ лунной тени необходимо знать с большой точностью географические координаты пунктов наблюдений, то для того, чтобы их в дальнейшем можно было вычислить, для каждого пункта необходимо составить план его расположения на местности, с указанием на нем расстояний (в метрах) до нескольких ближайших постоянных ориентиров (здание, одинокое дерево, вышка и т. д.).

Задача наблюдателей сводится к регистрации вида затмения, т. е. было ли оно в пункте наблюдений частным с большой фазой или полным. При полном затмении необходимо зарегистрировать его продолжительность в секундах, для чего лучше всего воспользоваться секундомером, пустив его в ход в момент начала затмения и остановив в момент его окончания. При отсутствии секундомера можно предварительно натренироваться в счете секунд по часам с электронным секундомером. Тогда в момент начала полного затмения следует произнести слово «ноль», а затем отсчитывать секунды до окончания полной фазы затмения.

Безусловно, чем больше будет привлечено наблюдателей к этому виду наблюдений, тем точнее получатся результаты, и поэтому желательно, чтобы каждое звено состояло из двух независимых наблюдателей, каждый из которых ведет записи самостоятельно, без консультаций со своим партнером.

**Наблюдения солнечной короны.** При полной фазе затмения хорошо видна солнечная корона, но при особенно ясном небе она может появиться около правого (западного) края Солнца, закрытого Луной, за 10—20 секунд до начала полной фазы. Нужно отметить момент появления короны, ее форму, цвет и протяженность, выраженную в диаметрах солнечного или лунного диска. Если удастся, то желательно фиксировать моменты времени (по восприятию их громкого счета

выделенным для этой цели наблюдателем-счетчиком), в которые видимые размеры появляющейся солнечной короны будут увеличиваться в размерах, отмечая также сами размеры. Аналогичные наблюдения следует провести и по окончании полной фазы затмения, но уже около левого края Солнца, отмечая моменты постепенного исчезновения короны. При полном солнечном затмении нужно оцепить протяженность солнечной короны и попытаться схематически зарисовать ее общую форму и наиболее яркие и протяженные лучи, обращая внимание на уплотнения и сгустки в них, завитки и искривления лучей. Для этого лучше всего заранее заготовить шаблон: на листе плотной бумаги, укрепленной на картоне или фанере, нарисовать черный диск диаметром 4—5 см и концентрично вокруг него еще две-три прерывистые окружности (последнюю — радиусом в 15—16 см), а также их диаметры, под углом в 30° друг к другу. Такой шаблон поможет быстро набросать основные контуры и лучи короны, их наиболее заметные уплотнения и особенности. Остальные подробности наносятся на рисунок по памяти, уже после исчезновения короны. Необходимо обратить внимание на цвет короны или ее отдельных частей и лучей, описывая его словами. Это существенно потому, что встречаются различные оценки цвета короны, от серебристо-белого до зеленоватого.

Наблюдения солнечной короны в бинокль или небольшой телескоп позволяют заметить в ней тонкие детали, незаметные невооруженному глазу, и проследить отдельные корональные лучи на значительных расстояниях от Солнца. При наблюдениях в телескоп нужно использовать окуляр с наименьшим увеличением, чтобы поле зрения было достаточно велико, и, кроме того, помнить, что телескоп дает перевернутое изображение.

Если в хромосфере Солнца видны красновато-розовые выступы — протуберанцы, то их тоже следует показать на рисунке, по возможности в принятом масштабе. Наблюдатели, обладающие художественными способностями, могут выполнить рисунок солнечной короны в красках, но цвета нужно изобразить как можно точнее. Полезно нанести на рисунок и положение звезд или планет, видимых вблизи Солнца.

Но если имеется возможность, то желательно сфотографировать солнечную корону как на обычной, так и на цветной фотопленке или на пластинках разной чувствительности, с выдержками примерно от 1 до 20 с, чтобы получить несколько фотографий различных участков короны. Однократное фотографирование короны не позволяет изучить распределение яркости в пей, так как при коротких экспозициях внешняя, менее яркая зона короны на негативе не проявится, а при длительных экспозициях внутренняя, более яркая зона короны получится передержанной. Естественно, что для более чувствительных фотоземульсий требуются меньшие экспозиции, чем для менее чувствительных.

Следует сказать, что подготовка к фотографированию и сам процесс фотографирования солнечной короны требует особой тщательности и предварительной многократной тренировки, так как полная фаза солнечного затмения длится очень короткий интервал времени, за который должны быть выполнены все полагающиеся операции. Достаточно отметить, что полная фаза предстоящего солнечного затмения даже на его центральной линии будет

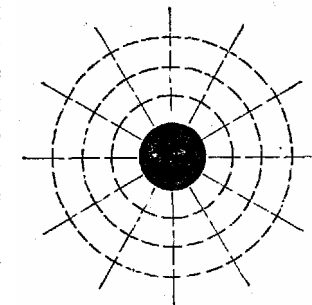
продолжаться 2 - 3 минуты. Поэтому все действия наблюдателей должны быть четко отработаны и доведены до автоматизма.

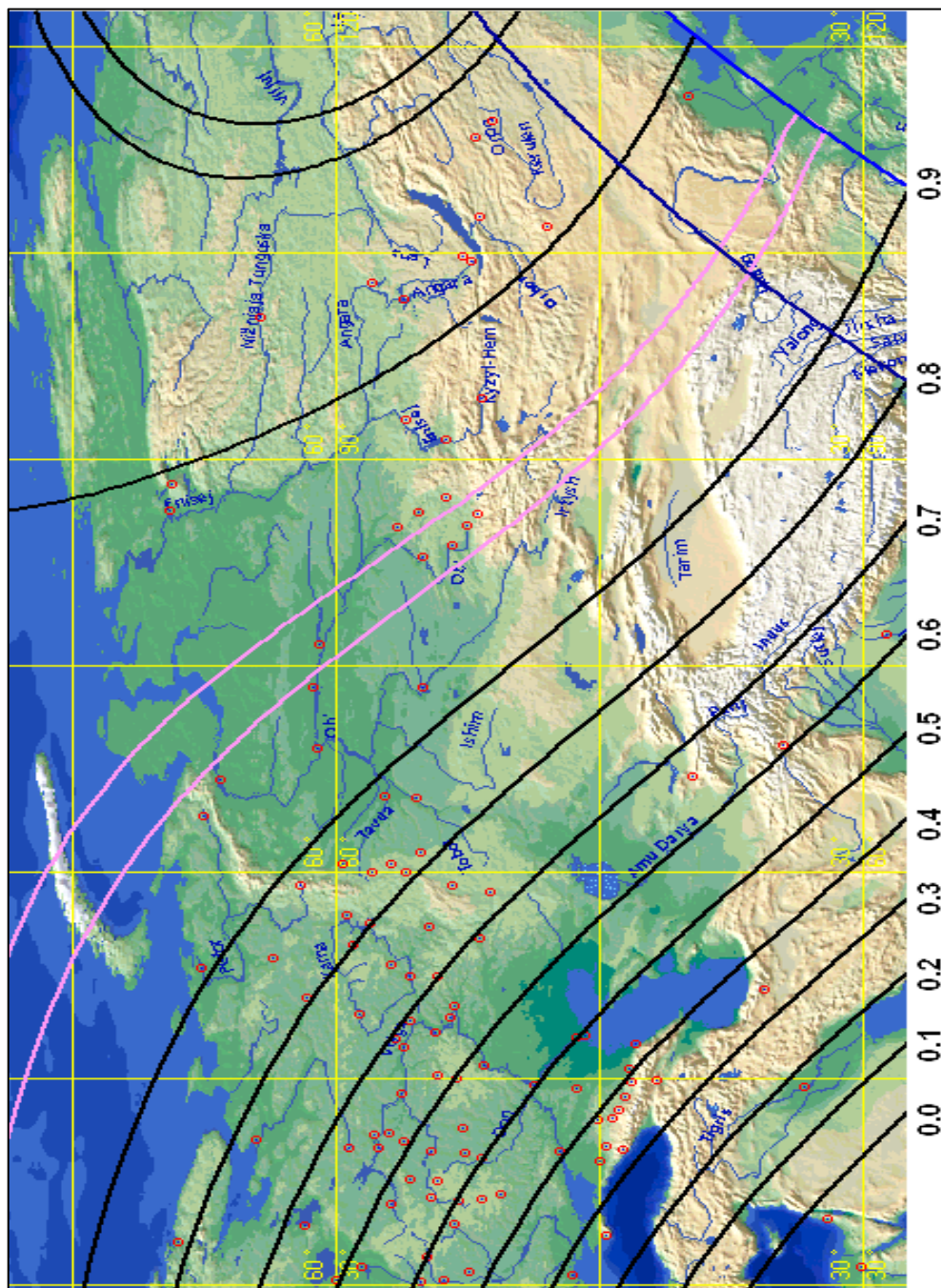
По окончании солнечного затмения все экспонированные фотопленки, видеоматериалы или кадры CCD-камеры должны быть пронумерованы в последовательности их использования. Номера проставляются простым карандашом на слое эмульсии в верхнем углу фотопленки (если нет нумерации кадров от производителя пленки). Соответствующие номера вносятся в журнал наблюдений с указанием момента начала экспозиции, ее продолжительности и сорта фотоземульсии.

Длительность экспозиций должна быть обязательно заранее определена но фотографированию Луны в фазе, близкой к первой четверти. Конечно, фотографирование Луны должно проводиться той же фотокамерой и на том же сорте фотоземульсии, которые будут использованы при фотографировании солнечной короны во время полного затмения. Длительность экспозиции, при которой изображение Луны на негативе получится нормальным (т. е. не передержанным и не блеклым) принимается за исходную, а при фотографировании солнечной короны сначала уменьшается на 1 с, но затем, при последующих экспозициях, постепенно увеличивается через интервалы, зависящие от продолжительности полной фазы затмения. Так, например, если полная фаза длится около 120 с, а фотографирование короны ведется на фотопленке высокой чувствительности, то, с учетом времени на протяжку фотопленки (для смены кадров), можно применить экспозиции длительностью в 1, 2, 4, 8, 12, 16 и 20 с. Если же используются фотопластинки разной чувствительности, то первые снимки можно сделать с выдержками в 1, 2, 4 и 8 с (на высокочувствительной фотоземульсии), а последующие — с увеличением выдержки до 20 с (на фотоземульсии средней чувствительности). Впрочем, длительность экспозиции зависит еще и от светосилы фотокамеры, а возможное число снимков — и от тренировки наблюдателя, насколько быстро он сумеет менять кадры фотопленки или кассеты с фотопластинками.

При фотографировании солнечной короны на цветную фотопленку необходимо обеспечить контроль цветов, передаваемых фотопленкой. Для этого через 10—12 минут после окончания полной фазы затмения нужно на отдельный кадр той же фотопленки заснять белый экран (лист белой чертежной бумаги, белая простыня), освещенный Солнцем. Конечно, при этом придется уменьшить диафрагму фотокамеры и резко сократить продолжительность экспозиции, что любителям фотографии хорошо известно. Все это должно быть записано в журнале наблюдений.

Техника фотографирования солнечной короны зависит от имеющегося у наблюдателей соответствующего оборудования. **Применение ноутбуков с астрономическим ПО значительно увеличивает эффективность наблюдений.** Линейные размеры фотоизображения небесных объектов на негативе прямо пропорциональны фокусному расстоянию  $P$  объектива фотокамеры и, в частности, у изображений Солнца и Луны линейный диаметр





Карта изофаз затмения на территории России (отмечены крупные населенные пункты)

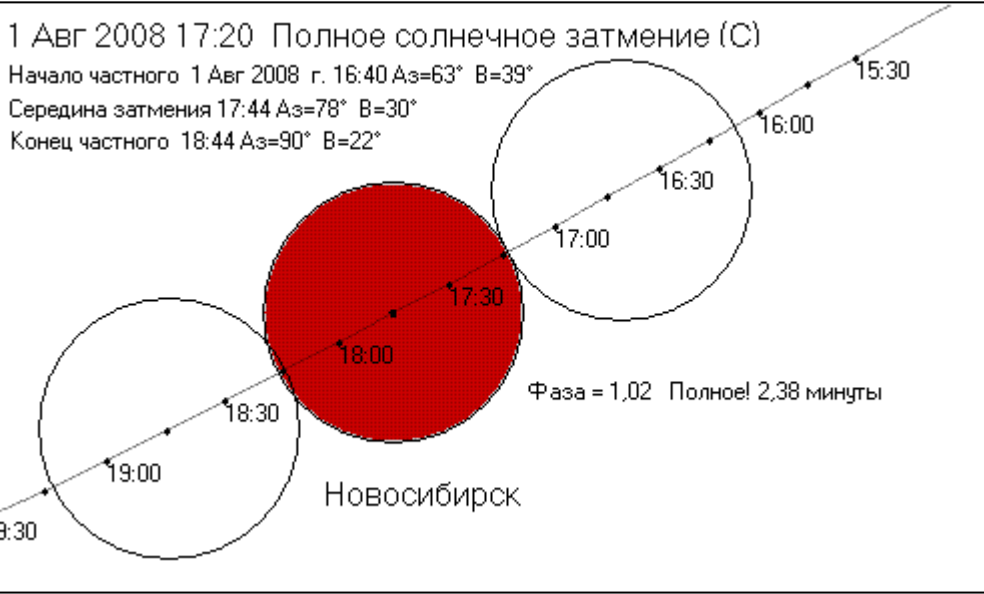
### ПОЛОСА ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 ГОДА

Полное затмение начнется в 09ч22м по всемирному времени (UT) на севере Канады – на рассвете в заливе Куин-Мод лунная тень вступит на поверхность Земли. Максимальное значение и продолжительность полной фазы в середине полосы составит 1,014 и 1 минуту 30 секунд соответственно. Двигаясь на север, лунная тень пройдет по восточной оконечности о. Виктория, западу о. Кинг-Уильям, частично покроев о-ва Принца Уэльского и Сомерсет, п-ов. Бутия. Далее, пройдя в 250 км восточнее северного магнитного полюса, пересечет о-ва Девон и Элмир и в 9ч26м UT вступит на о. Гренландия. "Чиркнув" по самой северной части острова, в 9ч36м UT, тень выйдет в Северный Ледовитый океан и, проделав по воде путь длиной более 900 км, в 9ч47м UT заденет восточную часть норвежского острова Белый и самую западную часть островов Земли Франца-Иосифа. В 9ч59м UT лунная тень пересечет Новую Землю, а в 10ч08м UT, в районе Байдарацкой губы, тень вступит на евразийский материк. Далее тень пересечет Обскую губу и выйдет в районе р. Надьм, где в 10ч21м UT и будет наблюдаться наибольшая фаза затмения, равная 1,039 при высоте Солнца над горизонтом 33,5°. Продолжительность полной фазы достигнет 2 минут 27 секунд. В 10ч30м UT тень окажется над г. Нижневартовском, продолжительность затмения составит там 2 минуты 24 секунды. В 10ч44м UT полное затмение начнется в г. Новосибирске (продолжительность – 2 минуты 17 сек.), в 10ч47м UT – в г. Барнауле (продолжительность – 2 минуты 15 сек.), в 10ч49м UT – в г. Бийске (продолжительность – 2 минуты 15 сек.), в 10ч50м UT – в г. Горно-Алтайске (продолжительность – 2 минуты 13 сек.). В 10ч56м UT лунная тень достигнет российско-монгольской границы и пойдет дальше на юг практически вдоль монгольско-китайской границы до 43-й параллели и дальше по территории Китая до гг. Наньян и Лоян, где полное затмение завершится на заходе Солнца, когда в 11ч19м UT лунная тень покинет поверхность нашей планеты. Частные фазы затмения будут видны в Европе (кроме юга), Азии (кроме востока и юго-востока), на крайнем севере Северной Америки, в Северном Ледовитом и в северной части Атлантического океана. На территории России частное солнечное затмение будет видно в европейской части (там затмение произойдет после полудня), Западной и Центральной Сибири, где затмение можно будет увидеть вечером. Во время полной фазы солнечного затмения резко наступает темнота, на небе появляются яркие звезды и планеты, а на месте Солнца виден темный диск Луны, окруженный светящейся верхней атмосферой Солнца — солнечной короной. Вблизи темного диска Луны можно заметить красноватые протуберанцы, являющиеся частью солнечной хромосферы. В момент начала и конца полной фазы становятся видны "четки Бейли" — несколько ярких пятен по краю темного диска Луны, появляющихся, когда край солнечного диска просвечивает между деталями лунного рельефа. Во время полной фазы наблюдается также ряд атмосферных оптических явлений, прежде всего "зарево кольцо" вдоль горизонта, образованное рассеянием света в областях атмосферы, не попавших в тень Луны. Городом-"столицей затмения" 1 августа 2008 г., очевидно, станет Новосибирск. Наибольшая фаза затмения составит там 1,019, при высоте Солнца над горизонтом около 30°. Частное затмение начнется вечером в 16ч40м местного летнего времени, наибольшая фаза наступит в 17ч45м09с.

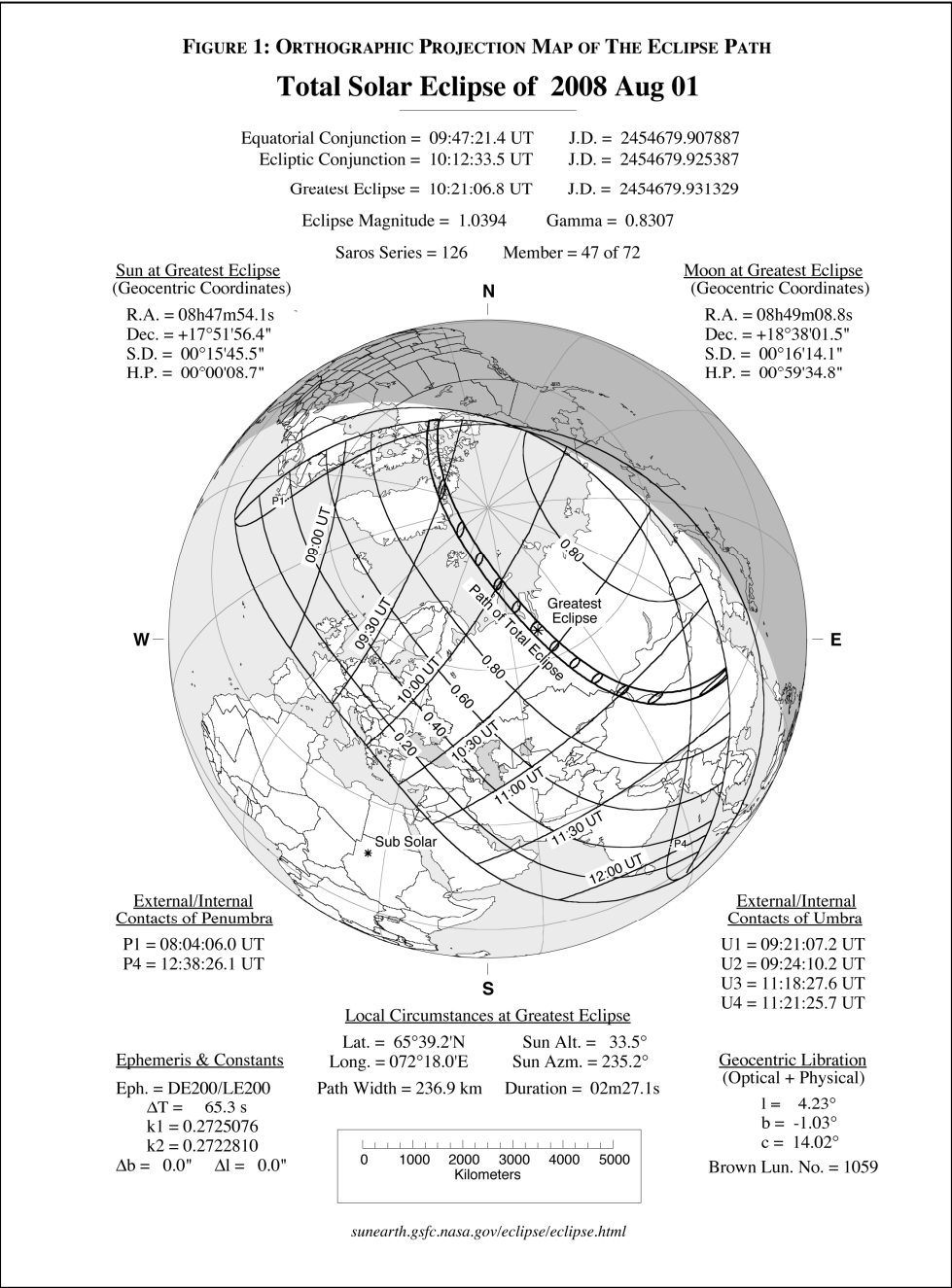


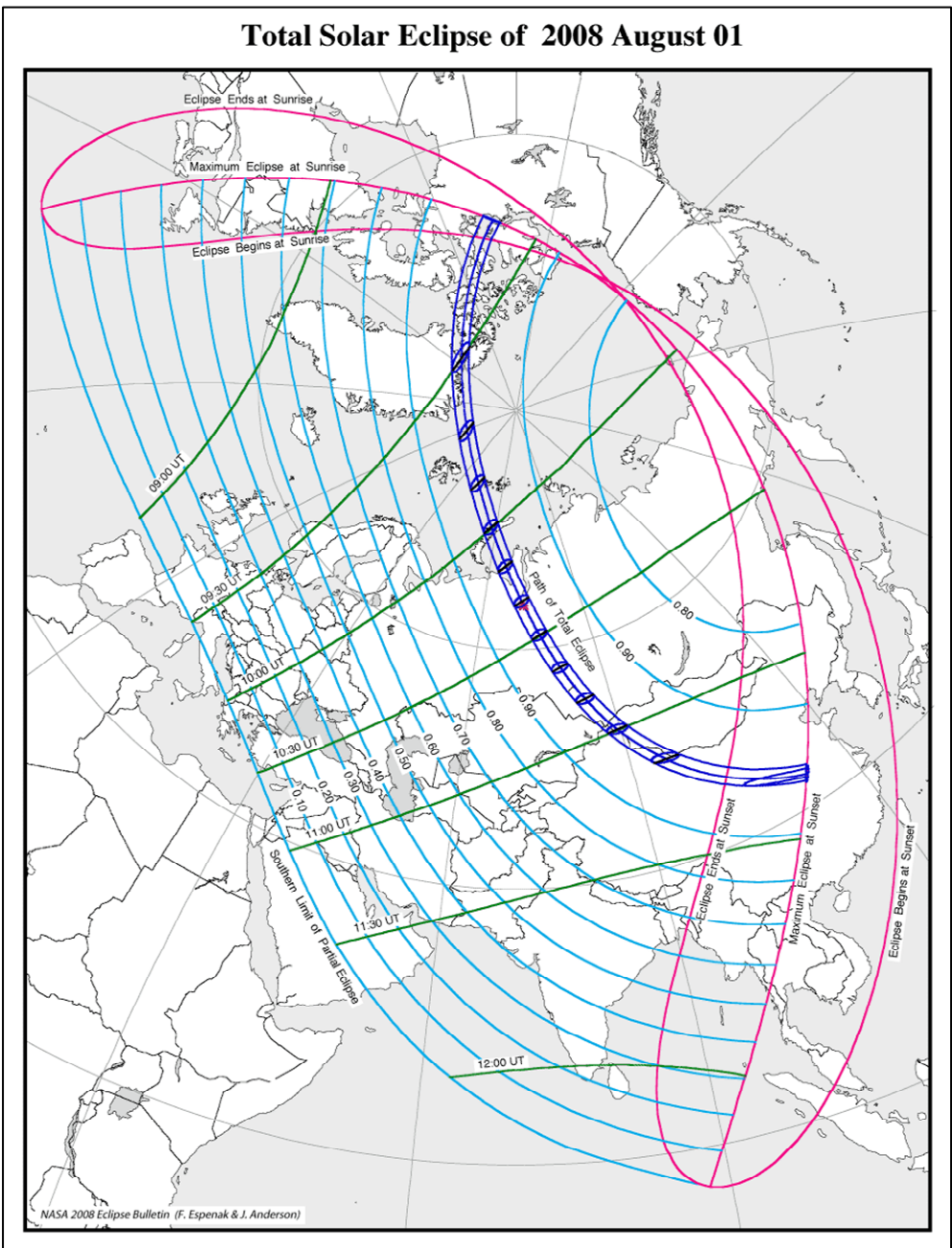
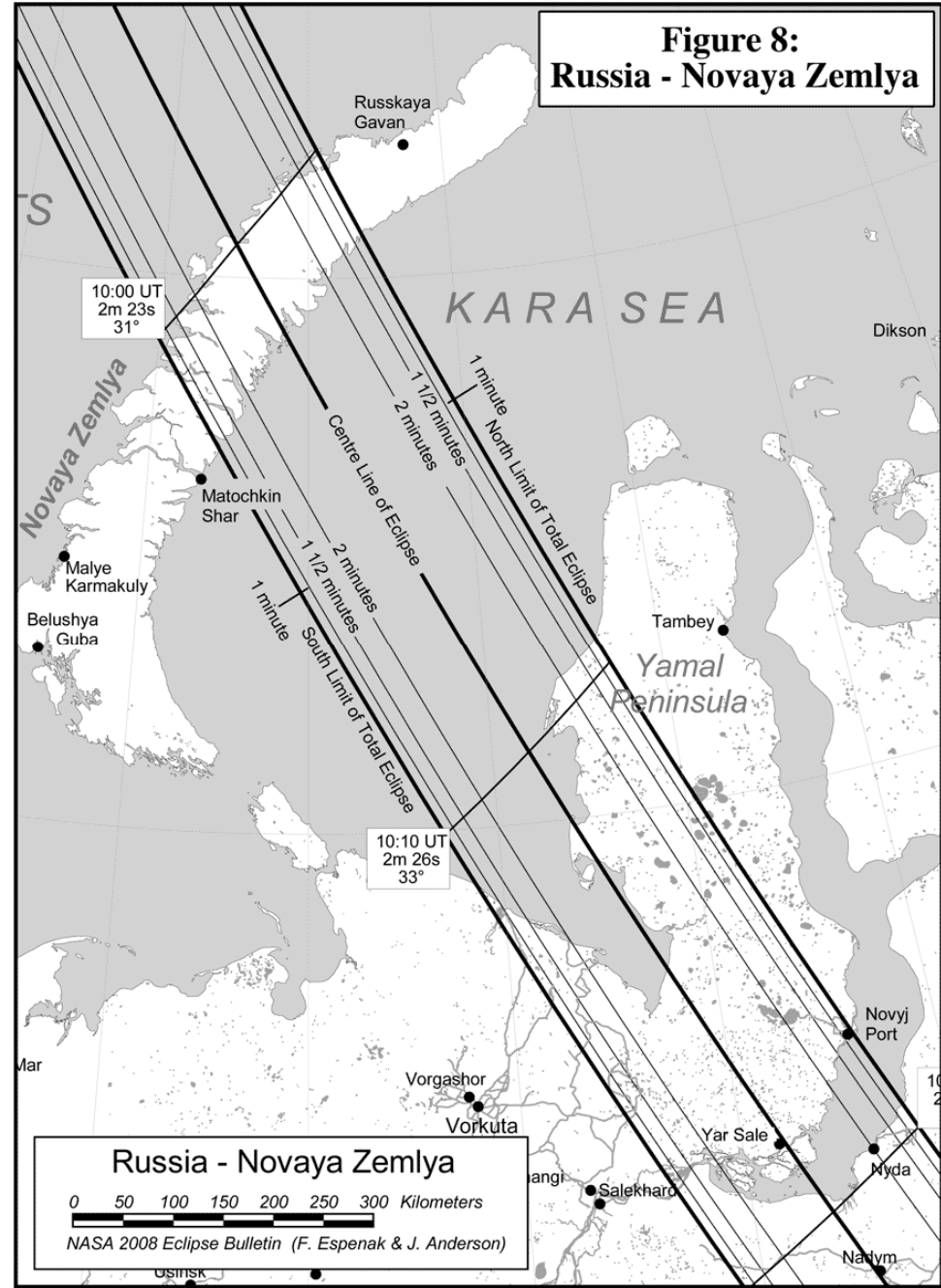
Частное затмение закончится в 18ч44м. Полоса полного затмения лишь "чиркнет" по западной границе Кемеровской области, тем не менее "почти полное" затмение можно будет наблюдать в Новокузнецке. Обстоятельства явления — наибольшая фаза составит 0,99 при высоте Солнца над горизонтом около 27,5°. Частное затмение начнется вечером в 17ч45м местного летнего времени, наибольшая фаза наступит в 18ч48м42с. Частное затмение закончится в 19ч47м. Помимо прочего, во время этого затмения можно будет наблюдать (если только наблюдатели смогут оторваться от созерцания полной фазы) еще и небольшой парад планет. Меркурий, Венера, Сатурн и Марс соберутся восточнее Солнца на расстоянии от него в 3,5, 15, 28 и 39 градусов соответственно. Примерно на полпути от Венеры к Сатурну в стройный ряд "блуждающих светил" вклинится звезда Регул (альфа Льва).  
*Текст Артема Чумайло, <http://astrodrome.kuzspa.ru/>*

**Схема солнечного затмения 1 августа 2008 года  
для города Новосибирск  
(время местное летнее, UT+7 часов)**



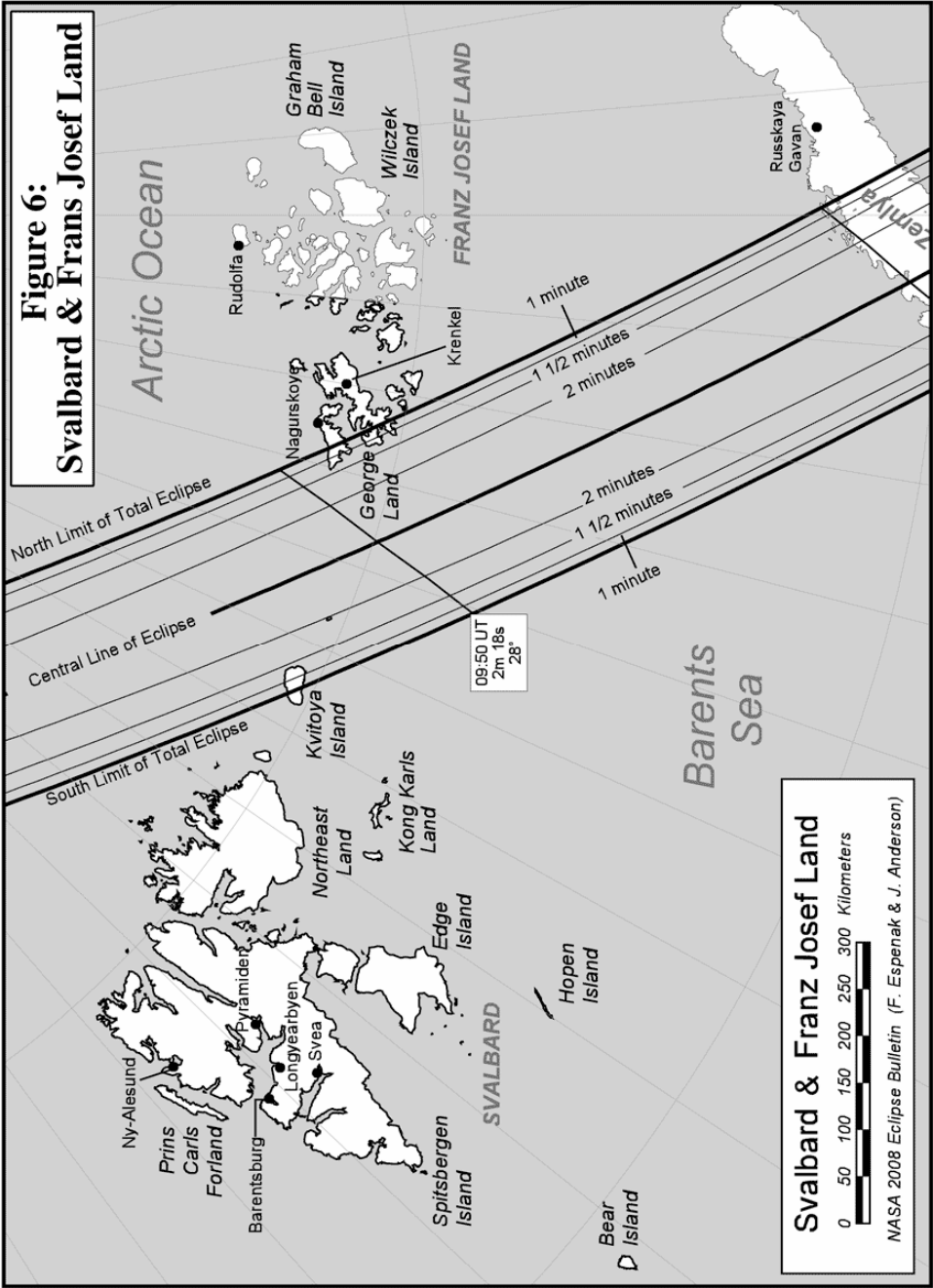
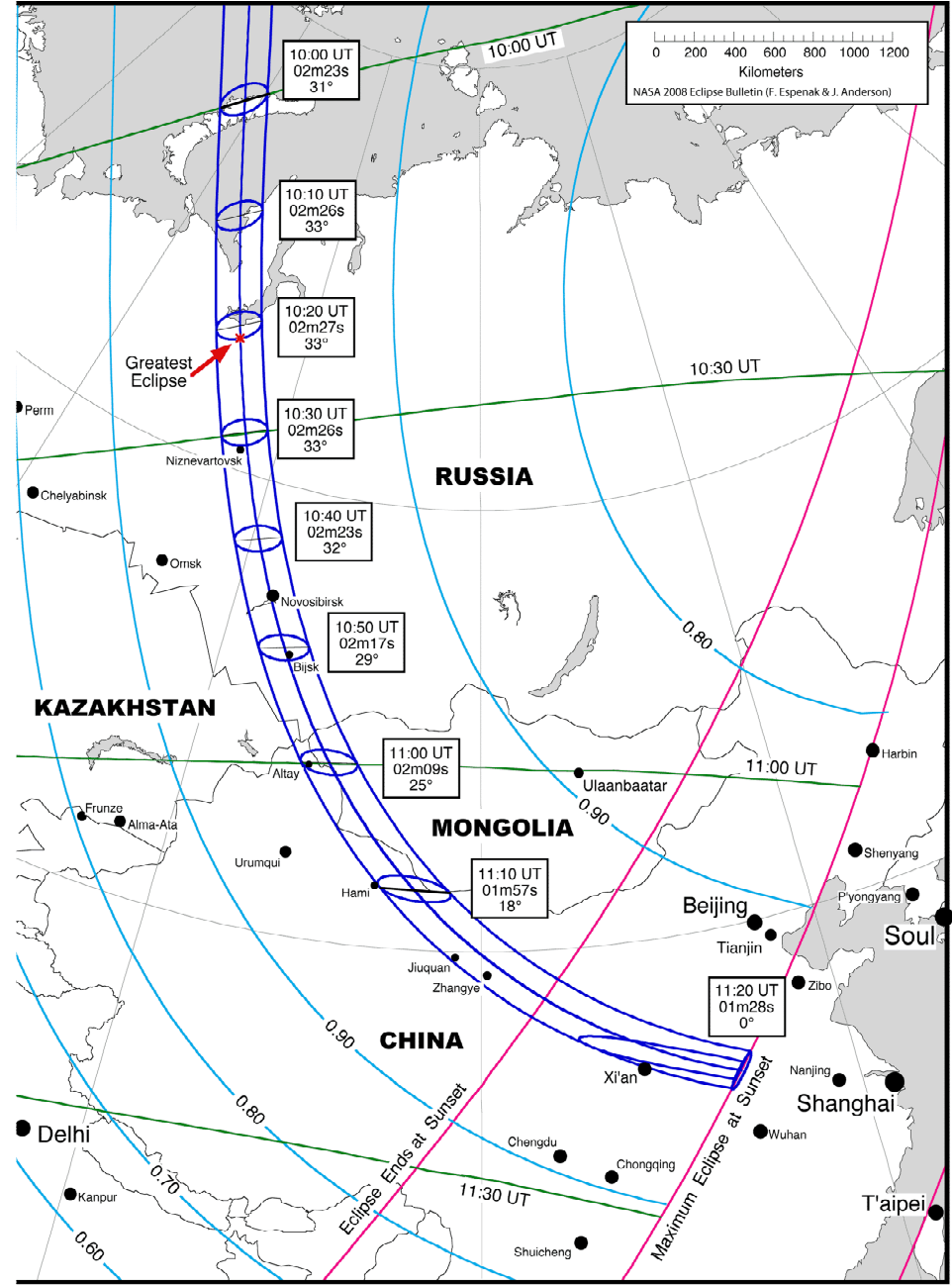
Далее приводятся карты видимости солнечного затмения. На общей карте (автор Фред Эспенак) даются сведения по времени начала контактов по всемирному времени, координаты Солнца и Луны для середины затмения, географические координаты точки максимальной фазы затмения, которая находится на севере Тюменской области, максимальная ширина полосы полной фазы, максимальная продолжительность полной фазы и некоторые другие данные. На крупномасштабных картах показана полоса полной фазы и моменты по всемирному времени.

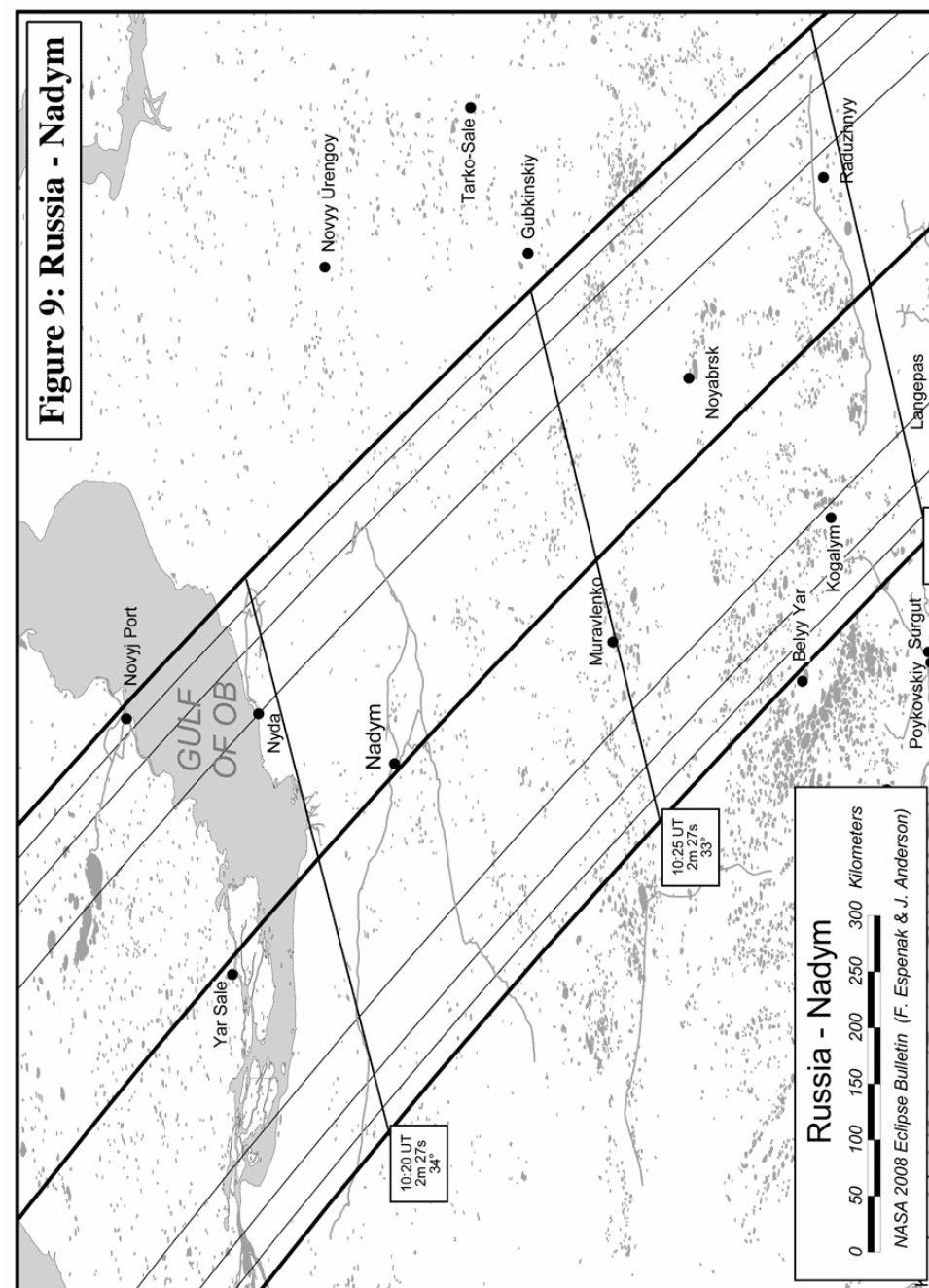
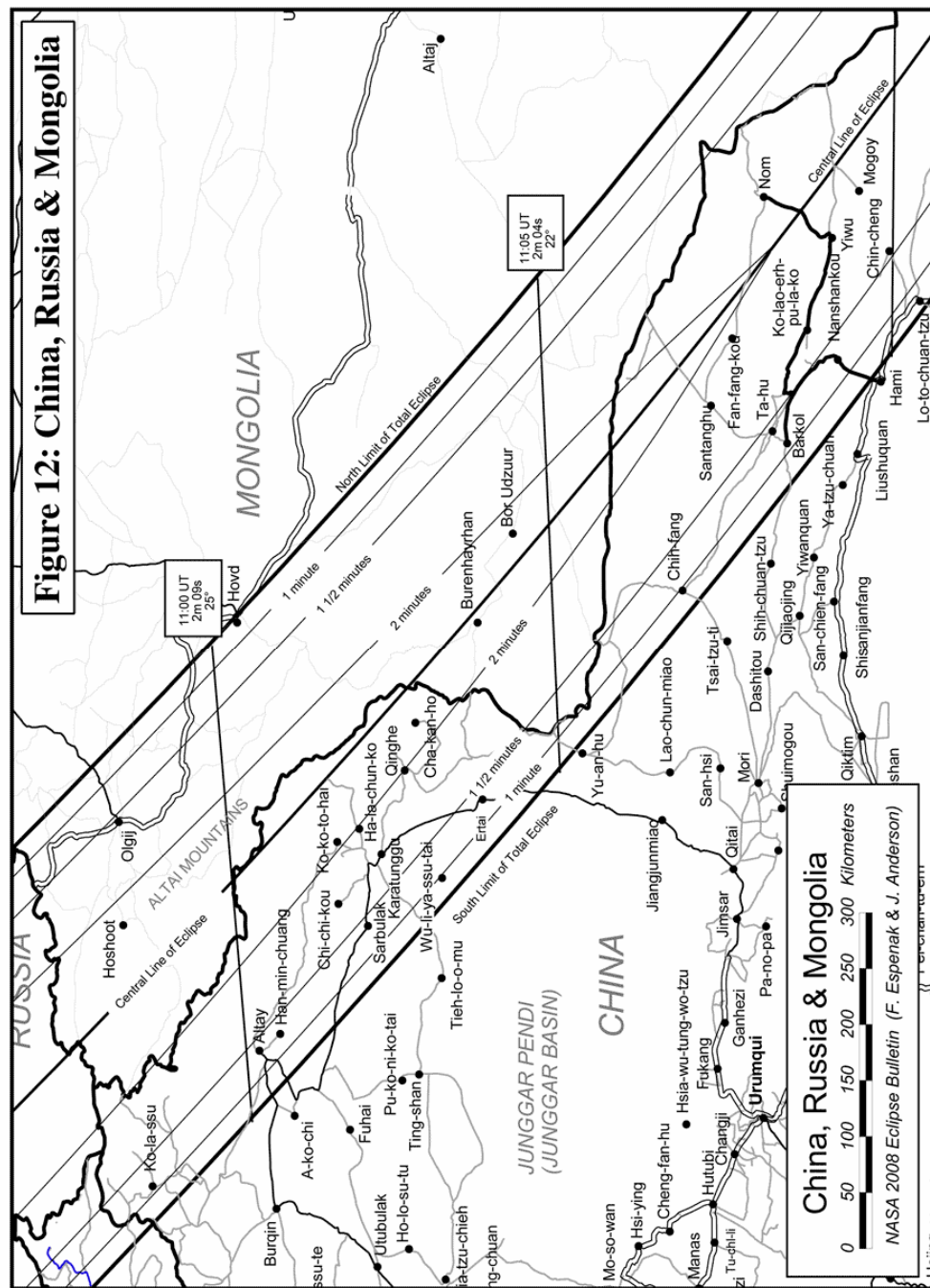


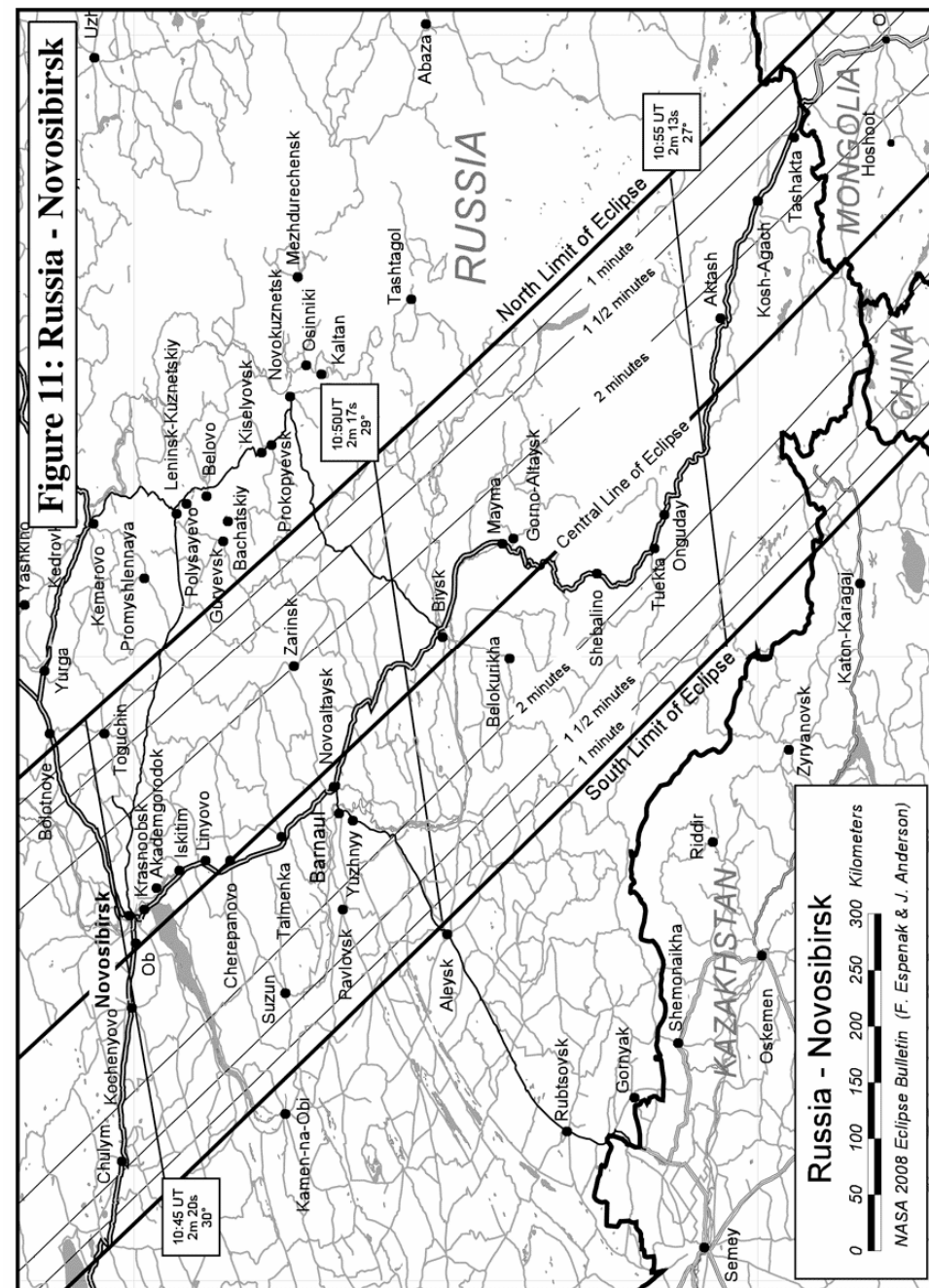
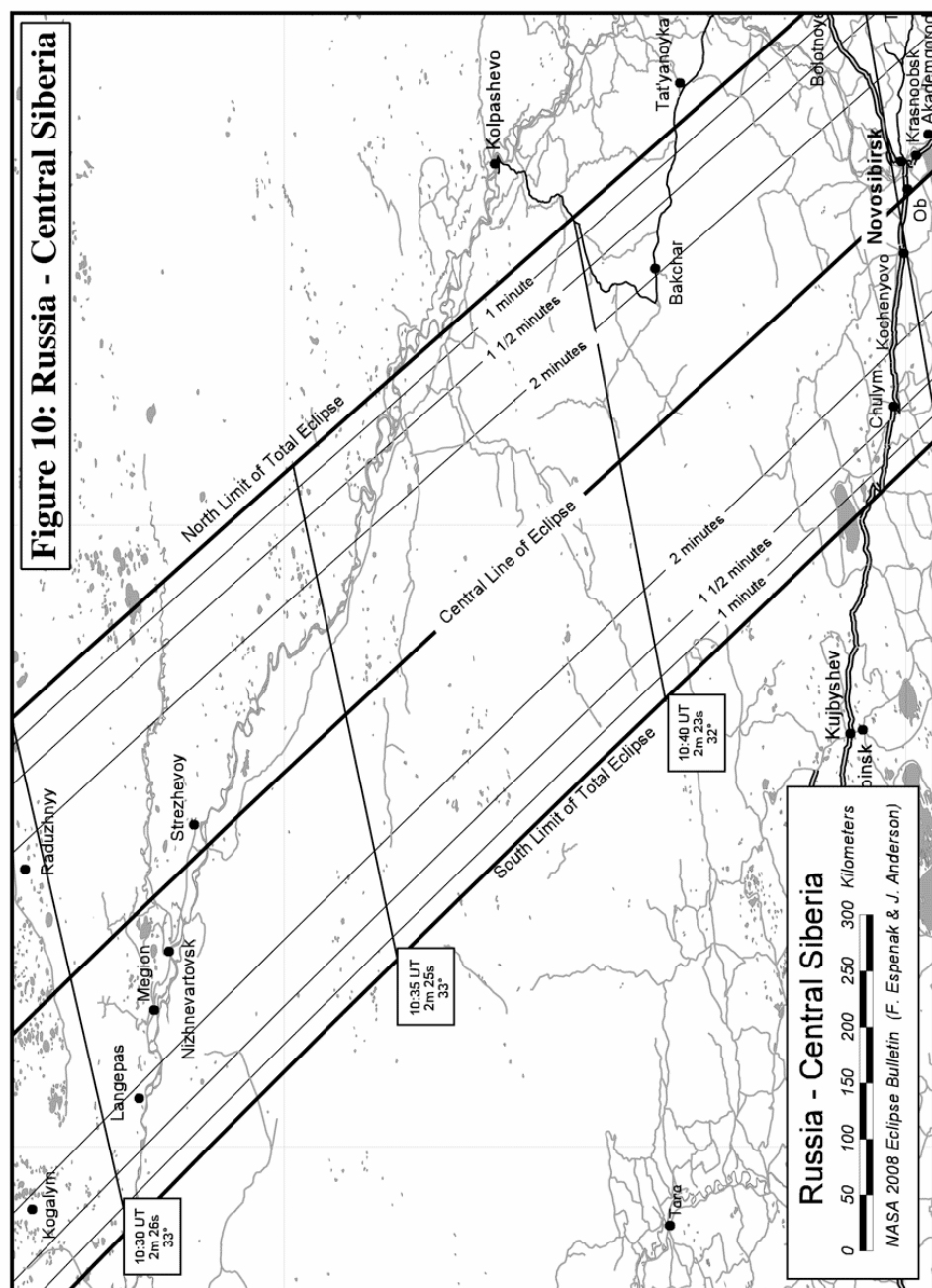




Total Solar Eclipse of 2008 August 01







Город	начало	макс.	конец	фаза
Курск	09:07	10:12	11:15	0,47
Курган	09:27	10:35	11:39	0,86
Кызыл	09:53	10:53	11:49	0,95
Липецк	09:08	10:15	11:19	0,53
Магнитогорск	09:25	10:34	11:39	0,77
Майкоп	09:28	10:29	11:28	0,37
Магадан (начало при заходе)	09:38	10:20	–	0,68
Махачкала	09:39	10:42	11:42	0,44
Минск	08:54	09:57	10:59	0,44
Могилев	08:57	10:01	11:04	0,47
Москва	09:01	10:08	11:14	0,58
Мурманск	08:46	09:51	10:56	0,81
Назрань	09:36	10:39	11:38	0,40
Нальчик	09:34	10:36	11:35	0,39
Набережные Челны	09:15	10:24	11:30	0,73
Нарьян_Мар	09:00	10:06	11:11	0,91
Нерюнгри	09:49	10:41	11:31	0,76
Нижневартовск	09:26	10:31	11:32	1,02
Полное! 2,45 минуты				
Нижний Новгород	09:06	10:15	11:20	0,65
Николаевск_на_Амуре	09:51	10:28	–	0,65
начало при заходе				
Нижний Тагил	09:18	10:26	11:31	0,84
Новокузнецк	09:45	10:48	11:46	0,99
Новосибирск	09:40	10:44	11:44	1,02
Полное! 2,38 минуты				
Норильск	09:18	10:19	11:17	0,90
Одесса	09:15	10:11	11:06	0,29
Омск	09:34	10:40	11:42	0,93
Оренбург	09:25	10:34	11:38	0,70
Орел	09:04	10:10	11:14	0,50
Орск	09:29	10:38	11:42	0,73
Палана	09:35	09:40	–	0,10
начало при заходе				
Певек	09:17	10:06	10:54	0,72
Пермь	09:15	10:23	11:29	0,80
Петрозаводск	08:51	09:58	11:04	0,68
Пенза	09:13	10:21	11:26	0,60
Псков	08:49	09:55	10:59	0,54
Рига	08:47	09:50	10:53	0,49
Ростов_на_Дону	09:21	10:24	11:25	0,42
Рязань	09:05	10:12	11:17	0,57
с_Камышлинка	09:18	10:27	11:32	0,70
Самарканд	10:01	11:07	12:07	0,67
Самара	09:17	10:26	11:31	0,66
Салехард	09:11	10:16	11:19	0,99
Саранск	09:11	10:19	11:25	0,62
Саратов	09:17	10:25	11:29	0,58
Санкт-Петербург	08:49	09:55	11:01	0,61
Севастополь	09:23	10:19	11:13	0,28
Серов	09:16	10:24	11:29	0,86
Смоленск	08:57	10:03	11:06	0,50
Сочи	09:31	10:31	11:28	0,34
Ставрополь	09:28	10:31	11:31	0,40
Сургут	09:23	10:29	11:31	0,99
Сыктывкар	09:05	10:13	11:19	0,81

## ОБСТОЯТЕЛЬСТВА ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 ГОДА (А.Н. Козловский)

Обстоятельства полного солнечного затмения 1 августа 2008 года вычислены с помощью программы АК 4.16 Кузнецова Александра из Нижнего Тагила. Во время полного солнечного затмения полное затмение видно только в узкой полосе полной фазы. Восточнее и западнее полосы полной фазы затмения видны частные фазы затмения. По карте затмения хорошо видно, что чем дальше от полосы полной фазы расположен пункт наблюдения, тем меньшая часть солнечного диска покрывается Луной и тем меньше будет фаза затмения. Местность находящаяся в полосе полной фазы описана в главе «Полоса полного солнечного затмения 1 августа 2008 года». Частное затмение в этот день смогут наблюдать жители Северной Америки, самого большого острова Земли - Гренландии, Европы и почти всей России (за исключением самых восточных районов страны). Частное солнечное затмение 1 августа 2008 года начнется на территории Северной Америки (Канады) в 08 часов 04 минуты по всемирному времени. В этот момент лунная полутень вступит на поверхность Земли при восходе Солнца. Закончится затмение уже на Евразийском континенте в 12 часов 38 минут по всемирному времени при заходе Солнца.

На территории России частное солнечное затмение начнется в 12 часов 44 минуты по московскому летнему времени на Кольском полуострове. Лунная полутень, двигаясь с северо-запада на юго-восток начнет покрывать города Мурманск, Архангельск, Петрозаводск, С. Петербург. Далее лунная полутень начнет движение по Европейской части России, охватывая все большую территорию с каждой минутой и заходя с севера на азиатскую часть России. Через час вся Европейская часть России, Сибирь и среднеазиатские республики будут покрыты полутенью Луны. Затем лунная полутень будет продвигаться дальше на юго-восток и с середины затмения в 14 часов 30 минут по московскому летнему времени начнет покидать Землю. Но частное затмение будет продолжаться еще около двух часов, а полутень Луны окончательно сойдет с поверхности Земли в 16 часов 38 минут по московскому летнему времени. Вид частного затмения в различных пунктах, попадающих область лунной полутени, будет неодинаков, но во всех пунктах солнечное затмение начнется с западного (правого от наблюдателя) края Солнца. Окончание затмения произойдет на восточном (левом от наблюдателя) краю Солнца. Далее, по схемам для отдельных городов, это хорошо видно. В начале частного затмения на правом краю солнечного диска появляется ущерб. Этот момент является моментом 1 контакта солнечного затмения, при котором фаза затмения равна 0. Далее фаза возрастает до максимального значения, приходящегося на середину затмения. Если пункт находится в полосе полной фазы, то в этом пункте произойдет полное солнечное затмение. Если пункт находится в области полутени, то в середине затмения солнечный диск максимально скроется за лунным диском и будет виден в виде яркого лунного серпа, «рога» которого обращены вверх (к западу от центральной полосы затмения). В пунктах, находящихся восточнее полосы полной фазы, «рога» этого серпа будут обращены вверх.

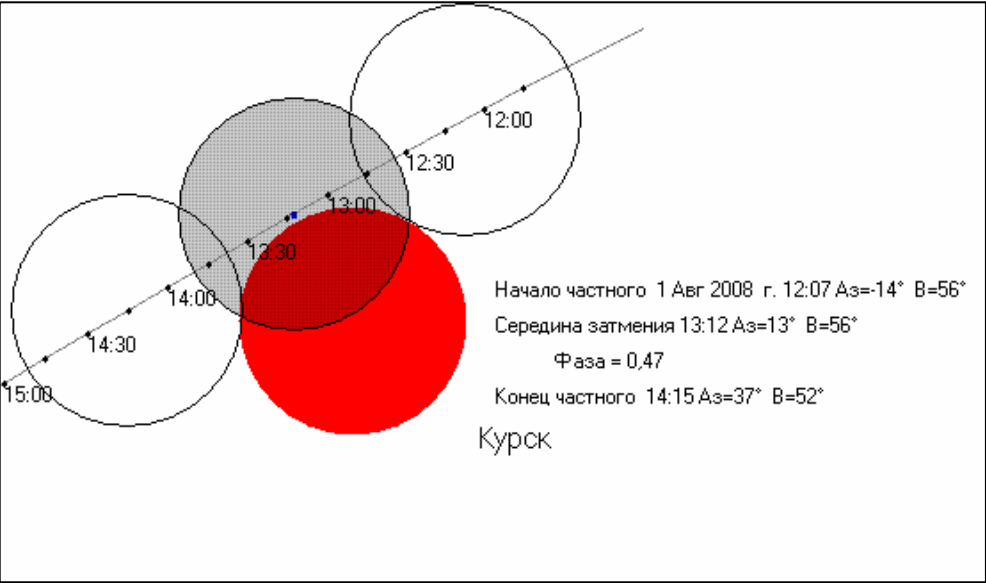


Чем дальше от полосы полной фазы, тем серп будет больше и далее будет иметь уже не вид серпа, ущербного диска даже при максимальной фазе (фазы от  $\Phi=0,4$  до  $\Phi=0,0$ ). Максимальная фаза частного затмения обычно выражается в сотых долях от единицы, где 1 – полная фаза затмения. Полная фаза может быть больше единицы, например 1,01. Это зависит от того, насколько диаметр видимого лунного диска больше диаметра видимого солнечного диска. Частные фазы имеют обозначения 0,90, 0,85 и т.п. На краю лунной полутени фаза равна 0, т.е.  $\Phi=0$ . Для отдельно взятого пункта, покрываемого лунной тенью или полутенью ход затмения отмечается контактами лунного диска с солнечным. Для полного затмения это будут 4 контакта, а для частного затмения – 2 контакта и середина затмения (максимальная фаза). При полном затмении первый контакт определяется касанием восточного (левого от наблюдателя) края лунного диска западного (правого от наблюдателя) края солнечного диска. Второй контакт при полном затмении определяется касанием восточного (левого от наблюдателя) края лунного диска восточного (левого от наблюдателя) края солнечного диска. Третий контакт при полном затмении определяется касанием западного (правого от наблюдателя) края лунного диска западного (правого от наблюдателя) края солнечного диска. Четвертый контакт при полном затмении определяется касанием западного (правого от наблюдателя) края лунного диска восточного (левого от наблюдателя) края солнечного диска. Между первым и вторым контактами происходит частное затмение с возрастающими фазами затмения, а между третьим и четвертым контактами происходит частное затмение с убывающими фазами затмения. У частного солнечного затмения имеются только два контакта. Первый (начало затмения), который определяется касанием восточного (левого от наблюдателя) края лунного диска западного (правого от наблюдателя) края солнечного диска, и последний (конец затмения), который определяется касанием западного (правого от наблюдателя) края лунного диска восточного (левого от наблюдателя) края солнечного диска. Для частного затмения наиболее интересны контакты затмения и его середина с максимальной фазой. При фазах больших 0,90 заметно потемнение неба и сгущение сумерек. Для точного определения места первого контакта необходимо знать позиционный угол точки контакта. Для крупных городов даны схемы затмения, по которым этот угол может быть легко найден. Для других городов, находящихся даже на достаточно большом удалении этих пунктов, позиционный угол будет, практически, таким же. При определении времени контактов, необходимо стремиться к точности 0,1 сек, но на практике обычно точность составляет 1 сек. Если Вы определяете моменты контактов визуально, то имеет смысл потренироваться перед затмением на электронном секундомере. При этом показания секунд закрываются, чтобы были видны только показания минут и в момент появления очередной минуты нажимается кнопка фиксации времени. Показания секунд покажут на сколько запаздывает Ваша реакция при фиксации моментов времени. Для наглядности хода затмения в различных пунктах России приводятся схемы затмения. Для удобства **время контактов для всех пунктов дается московское летнее**. Для перевода в местное время Вам нужно лишь прибавить разницу времени Вашего пункта с московским временем.

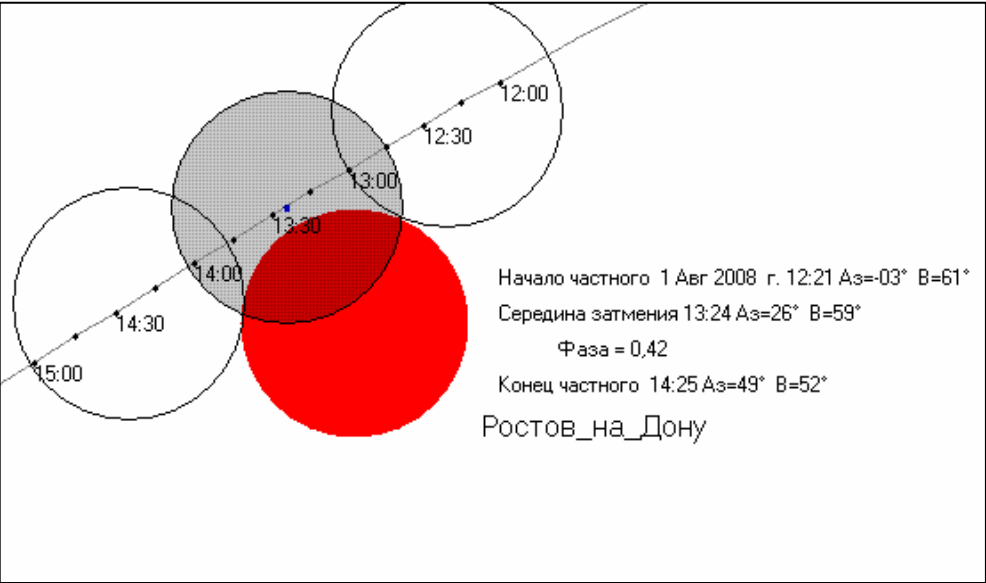
Таблица обстоятельств затмения в городах России и мира.  
(время всемирное)

Город	начало	макс.	конец	фаза
Абакан	09:48	10:49	11:46	0,96
Агинское	09:58	10:53	11:44	0,82
Архангельск	08:54	10:01	11:07	0,77
Астрахань	09:30	10:36	11:39	0,51
Барнаул	09:44	10:48	11:47	1,02
Полное! 2,34 минуты				
Белгород	09:10	10:14	11:17	0,45
Березники	09:13	10:22	11:27	0,83
Бийск	09:47	10:50	11:49	1,02
Полное! 2,33 минуты				
Биробиджан	10:00	10:43	–	0,74
начало при заходе				
Благовещенск	09:59	10:50	–	0,78
Братск	09:47	10:45	11:40	0,87
Брест	08:54	09:53	10:52	0,36
Брянск	09:02	10:08	11:11	0,49
В_Новгород	08:51	09:58	11:03	0,58
Варшава	08:51	09:49	10:47	0,34
Витебск	08:55	10:00	11:03	0,49
Владивосток	10:08	10:31	–	0,44
начало при заходе				
Владикавказ	09:36	10:39	11:39	0,42
Владимир	09:03	10:11	11:17	0,61
Волгоград	09:21	10:28	11:31	0,51
Вологда	08:58	10:06	11:12	0,67
Воркута	09:08	10:13	11:16	0,98
Воронеж	09:10	10:16	11:20	0,51
Вятка	09:08	10:17	11:23	0,75
Гомель	09:00	10:04	11:06	0,44
гора Отортен	09:11	10:19	11:23	0,88
Горно-Алтайск	09:48	10:51	11:50	1,02
Полное! 2,28 минуты				
Гринвич	08:26	09:19	10:14	0,35
Грозный	09:36	10:40	11:39	0,42
Гродно	08:51	09:52	10:53	0,40
Дели	10:32	11:31	12:26	0,63
Дудинка	09:17	10:18	11:17	0,91
Екатеринбург	09:21	10:29	11:34	0,83
Иваново	09:02	10:10	11:16	0,63
Ижевск	09:14	10:23	11:28	0,75
Иркутск	09:55	10:52	11:46	0,87
Йошкар_Ола	09:09	10:18	11:24	0,70
Калининград	08:46	09:47	10:47	0,41
Казань	09:12	10:21	11:27	0,69
Калуга	09:02	10:08	11:13	0,54
Кемерово	09:42	10:45	11:43	0,99
Кисловодск	09:32	10:34	11:33	0,39
Комсомольск_на_Амуре	09:56	10:33	–	0,66
начало при заходе				
Кострома	09:01	10:09	11:15	0,65
Краснодар	09:26	10:27	11:25	0,36
Красноярск	09:44	10:45	11:42	0,93
Кудымкар	09:12	10:21	11:26	0,80

КУРСК



РОСТОВ\_НА\_ДОНУ

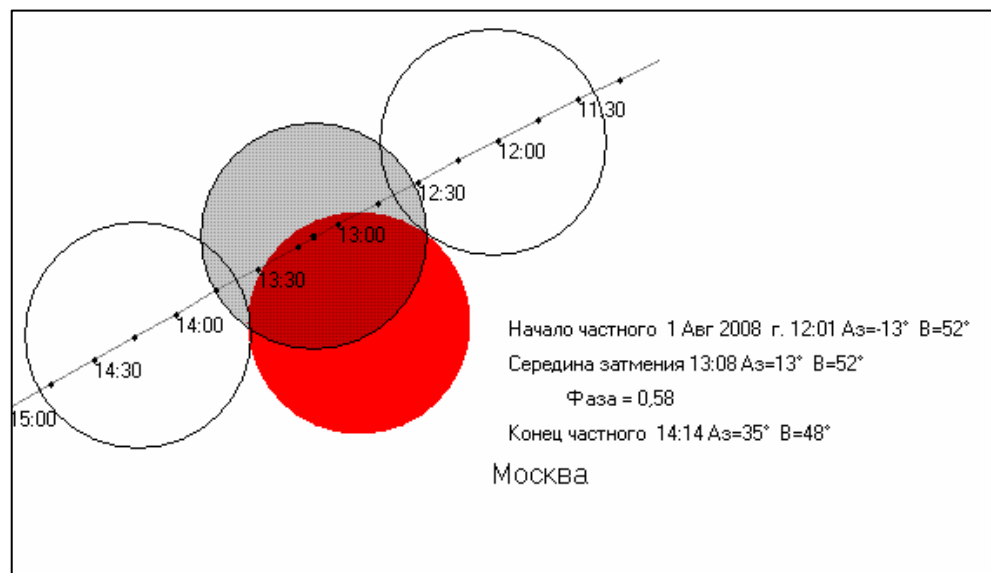
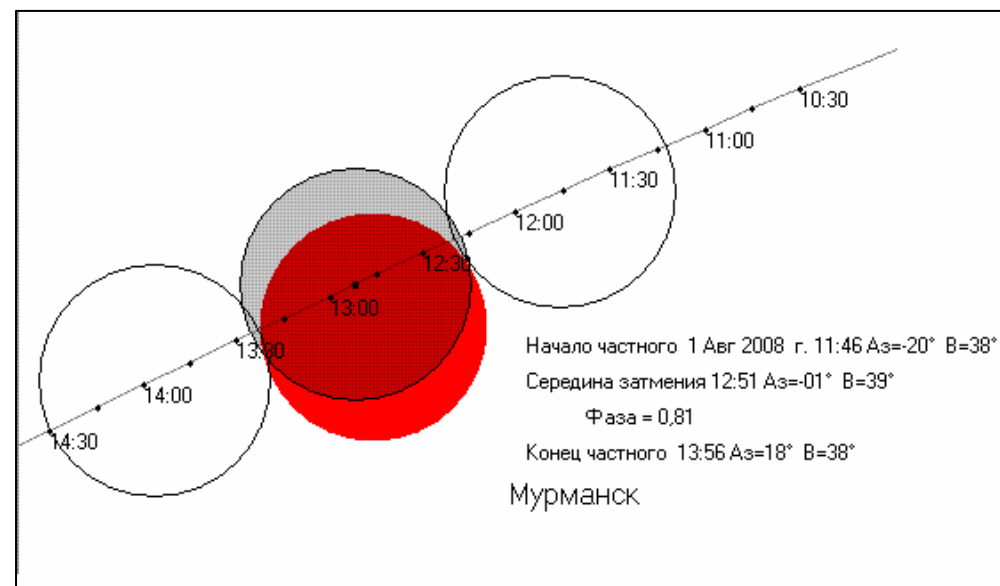
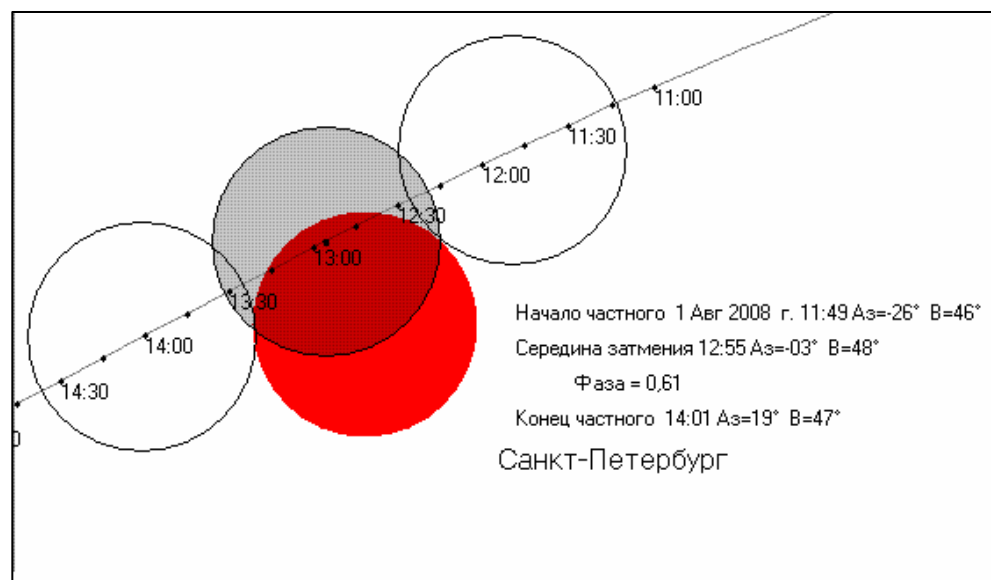
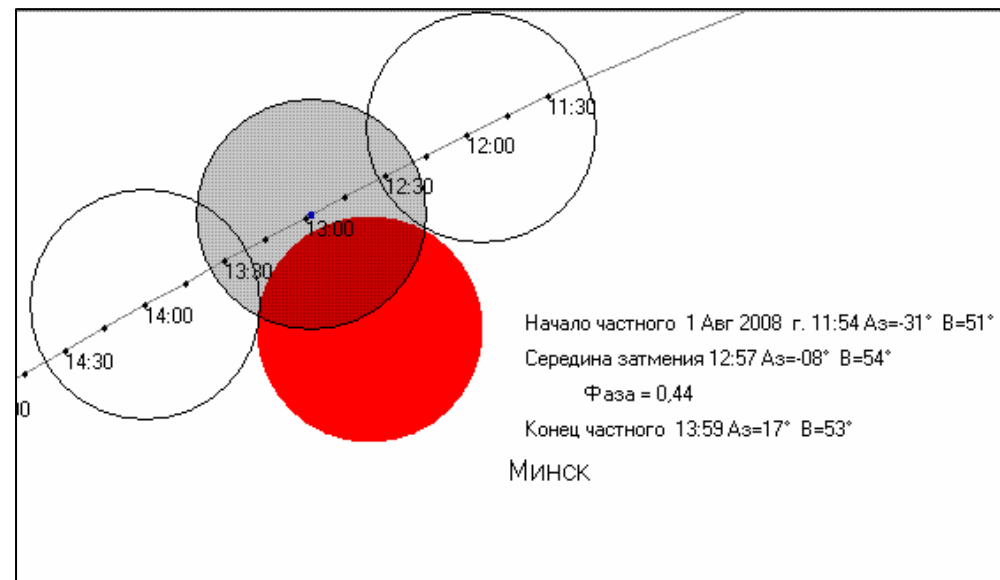


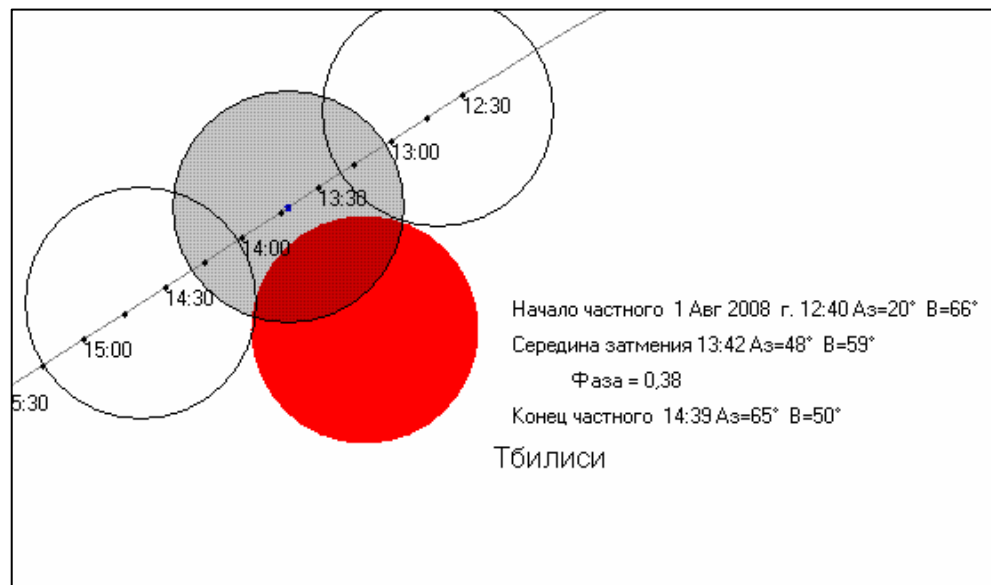
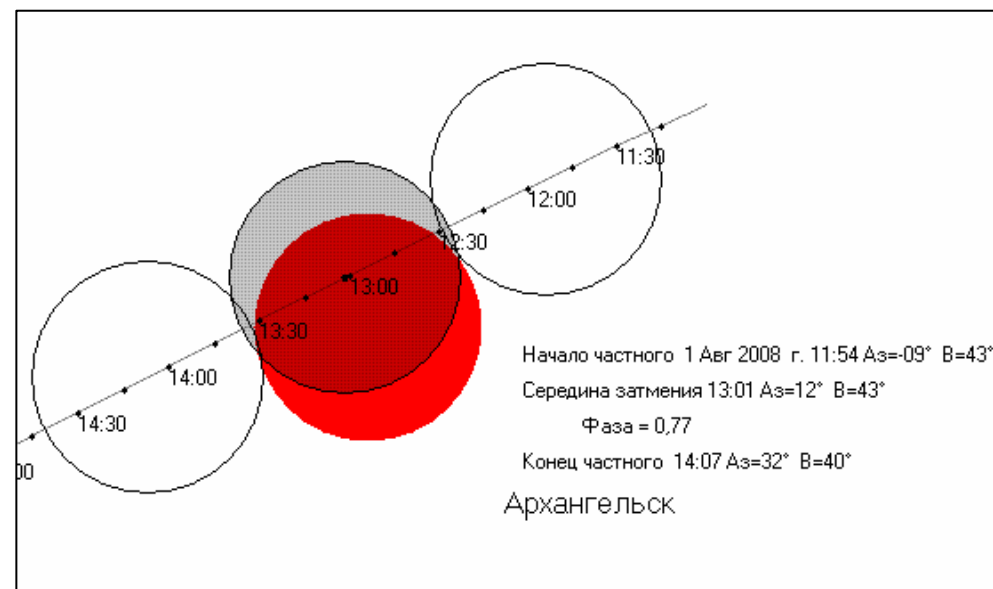
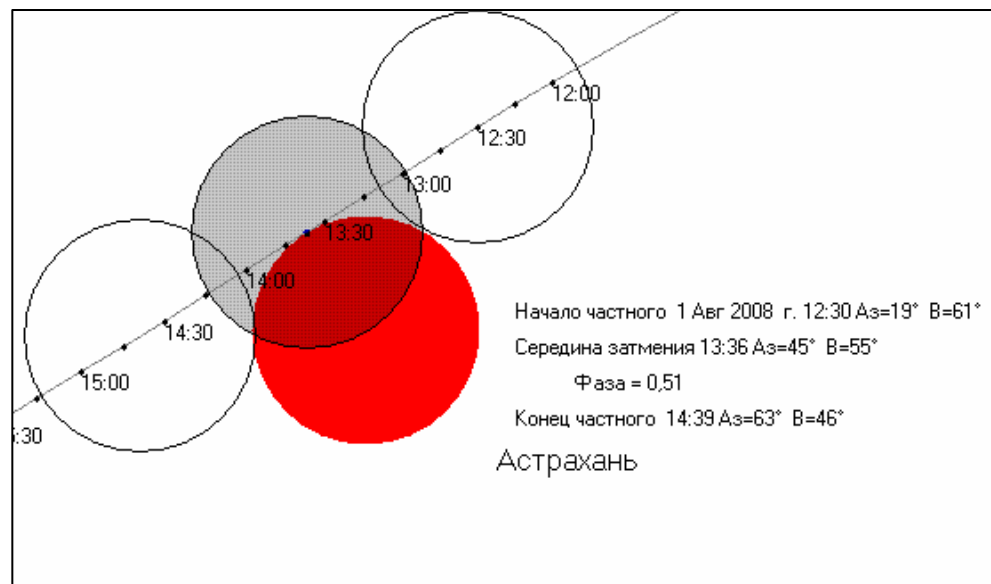
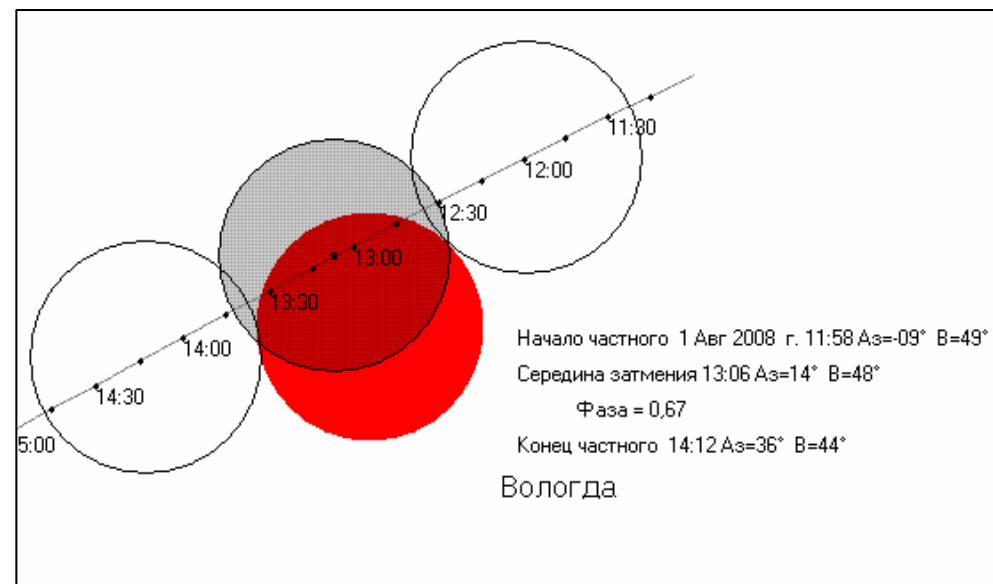
Город	начало	макс.	конец	фаза
Сургут	09:23	10:29	11:31	0,99
Сыктывкар	09:05	10:13	11:19	0,81
Тамбов	09:10	10:17	11:22	0,55
Тбилиси	09:40	10:42	11:39	0,38
Тверь	08:58	10:05	11:10	0,58
Тикси	09:22	10:16	11:08	0,75
Томск	09:39	10:42	11:41	0,99
Тольятти	09:16	10:25	11:30	0,66
Тула	09:04	10:10	11:15	0,54
Тура	09:32	10:30	11:26	0,85
Тюмень	09:24	10:32	11:36	0,88
Улан Уде	09:56	10:53	11:45	0,86
Ульяновск	09:14	10:22	11:28	0,66
Усть_Ордынский	09:54	10:51	11:45	0,87
Усть_Илимск	09:44	10:42	11:37	0,85
Уфа	09:20	10:29	11:34	0,75
Ухта	09:05	10:13	11:18	0,86
Хабаровск (нач.при заходе)	10:00	10:34	-	0,62
Ханты_Мансийск	09:20	10:27	11:30	0,95
Челябинск	09:24	10:33	11:37	0,81
Чебоксары	09:10	10:18	11:24	0,68
Черкесск	09:31	10:33	11:32	0,39
Чита	09:57	10:51	11:43	0,82
Элиста	09:27	10:32	11:33	0,46
Якутск	09:39	10:31	11:21	0,73
Ярославль	09:01	10:08	11:14	0,64

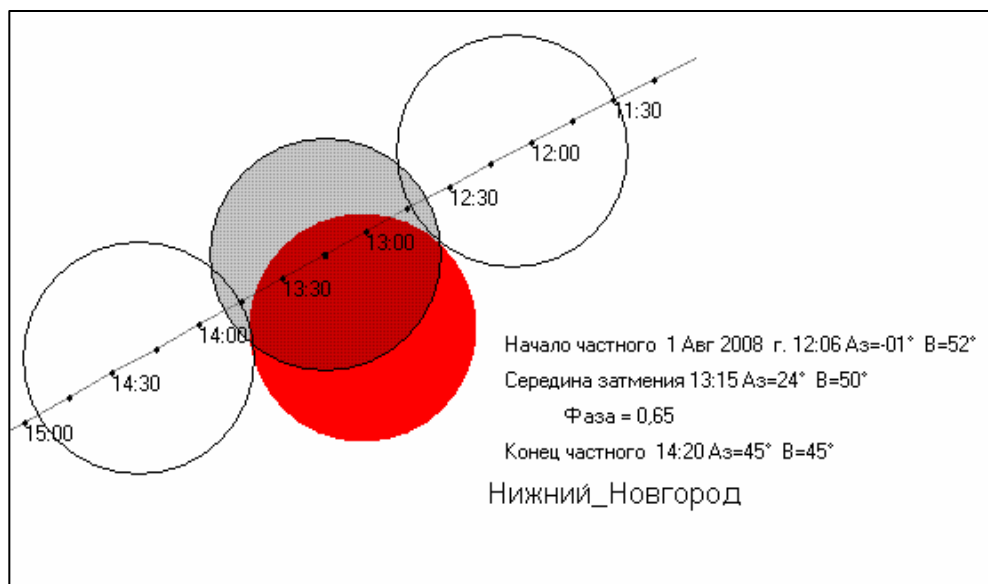
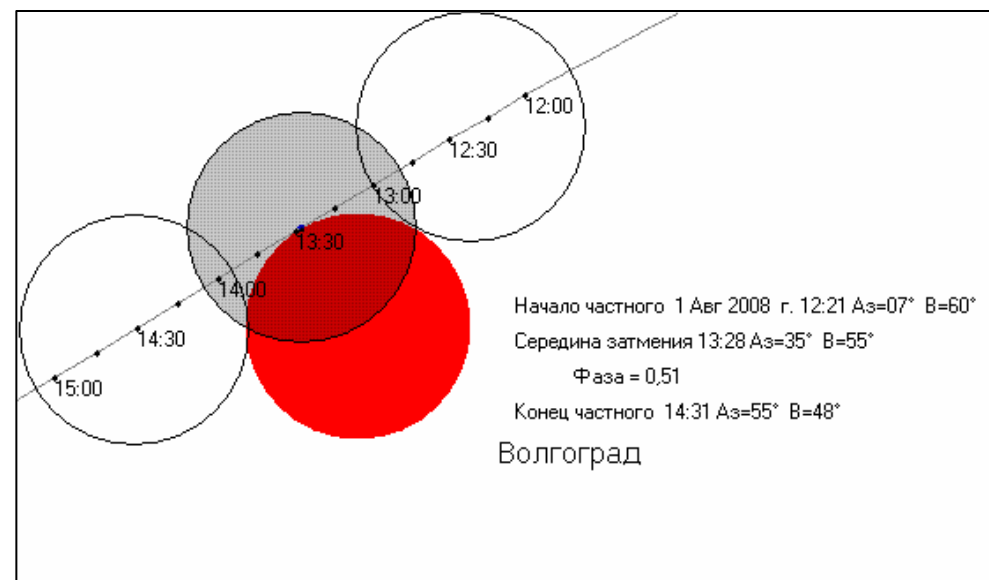
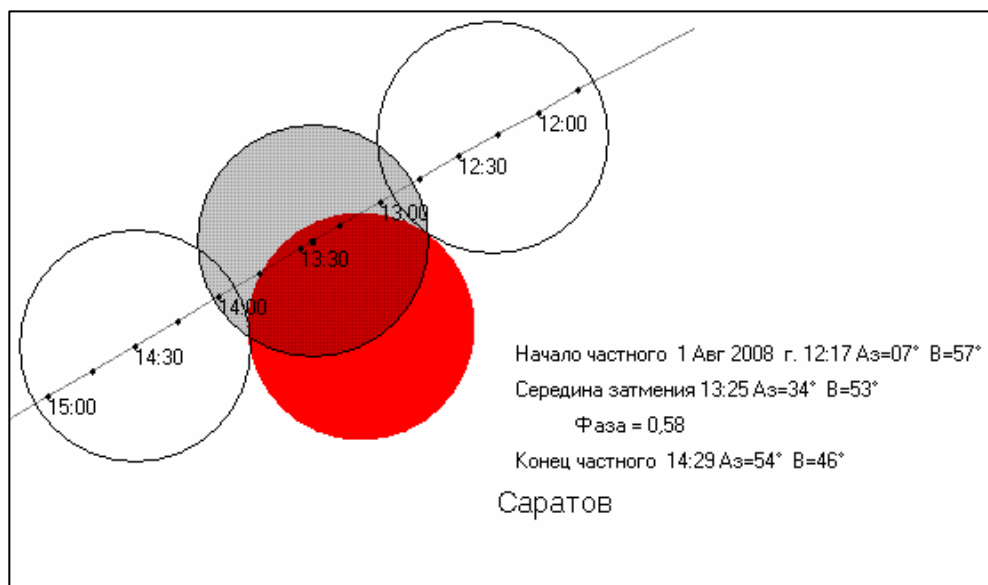
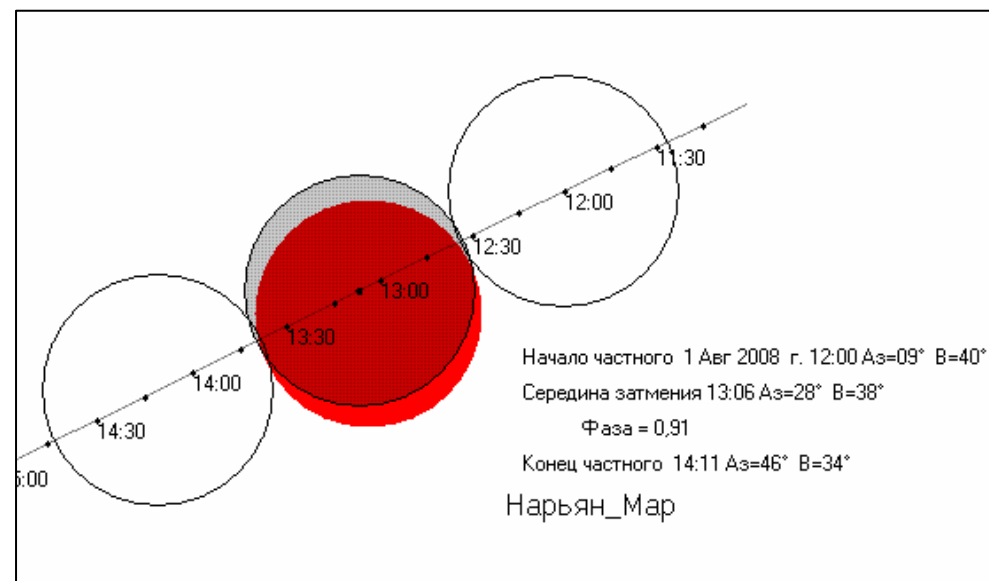
Схемы солнечного затмения  
1 августа 2008 года для городов России и СНГ

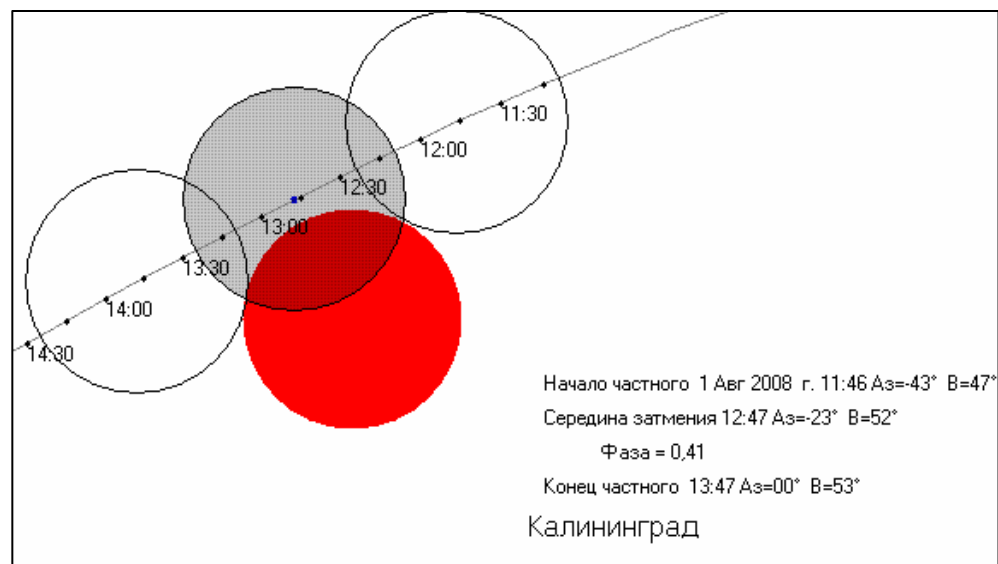
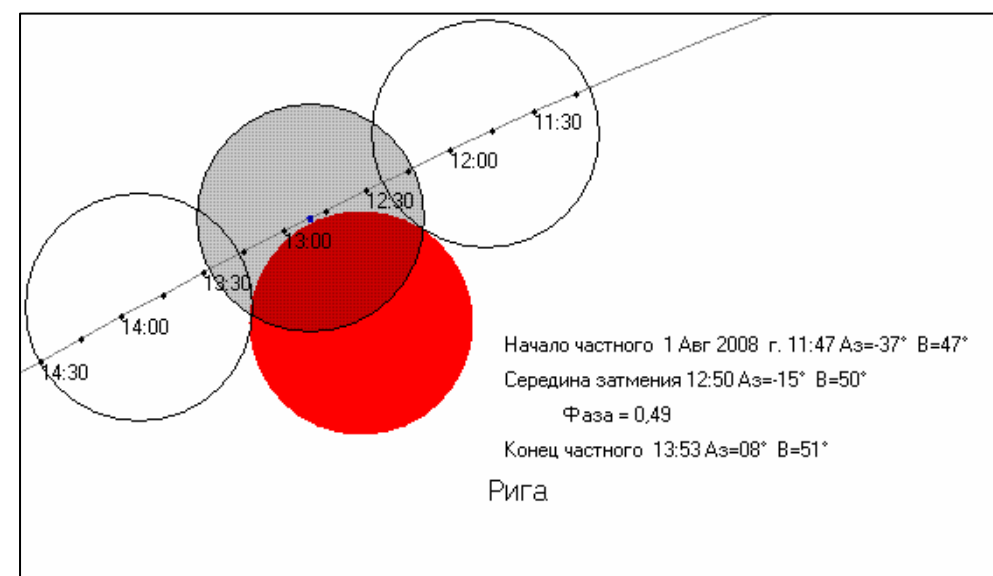
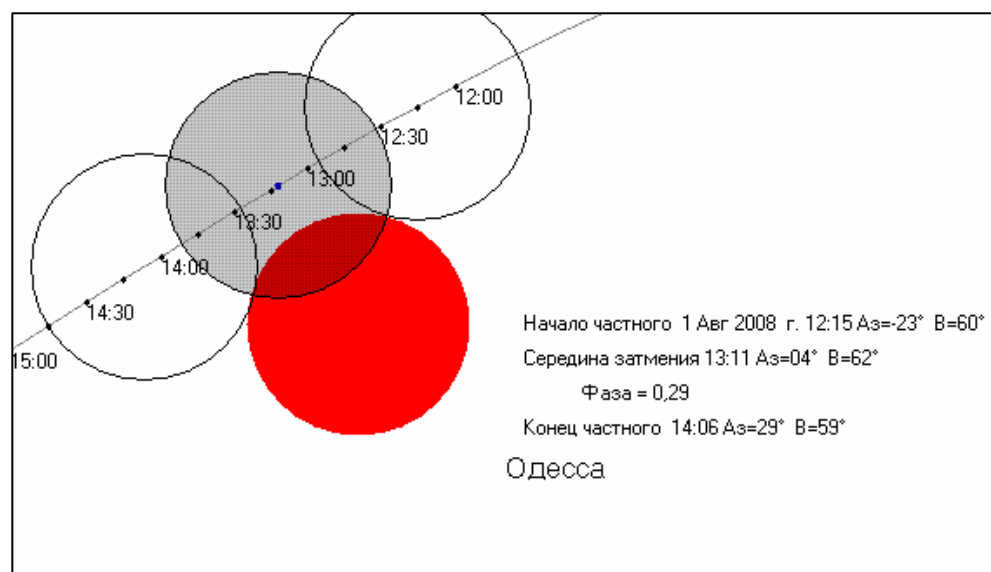
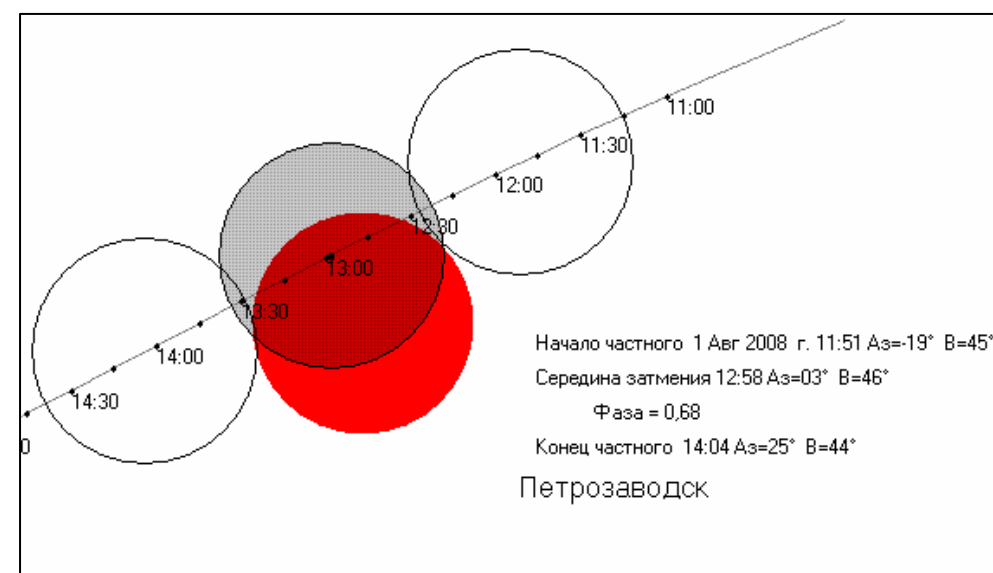
На схемах представлен ход затмения для городов России и некоторых городов СНГ, попадающих в область затмения (последовательность схем идет с равномерным распределением городов с севера на юг и с запада на восток). **Время дано московское без учета летнего времени (UT+3 часа)!** Центральный круг изображает диск Солнца. Три окружности на линии - диск Луны, перемещающийся по ходу затмения. Первая окружность (верхняя правая), изображающая диск Луны, отмечает местоположение Луны в момент первого контакта с солнечным диском (начало затмения). Вторая окружность (центральная) отметит местоположение Луны в середине затмения в момент максимума фазы. Третья окружность (левая) отмечает местоположение Луны в момент последнего контакта с солнечным диском (конец затмения). Отметки на линии движения Луны обозначают московское летнее время нахождения центра лунного диска на данной точке линии. Середина затмения отмечена отдельной точкой на линии. В информационной части схемы даны моменты начала, середины и конца затмения в данном пункте по московскому летнему времени. Кроме этого, указана максимальная фаза затмения и горизонтальные координаты Солнца на моменты контактов и середину затмения. Сокращение «Аз» обозначает азимут Солнца, а сокращение «В» – его высоту над горизонтом в моменты контактов и в середине затмения (без учёта рефракции). Азимут отсчитывается от точки юга. Отрицателен к востоку и положителен к западу от юга.

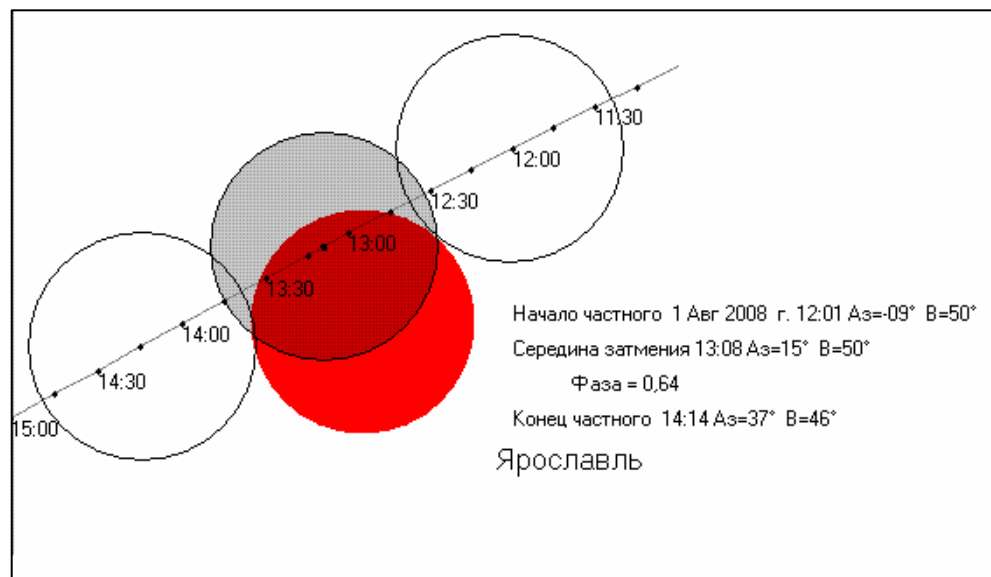
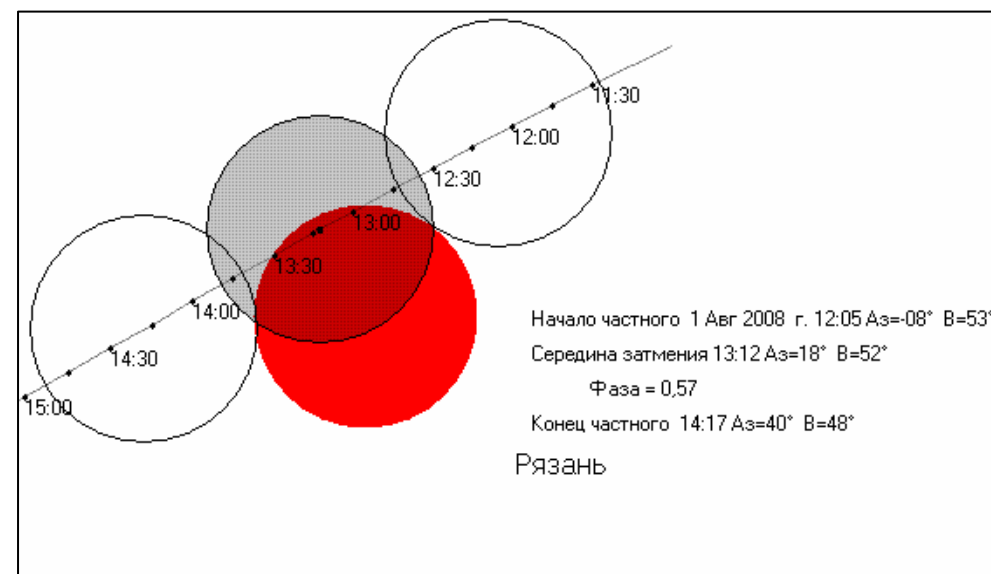
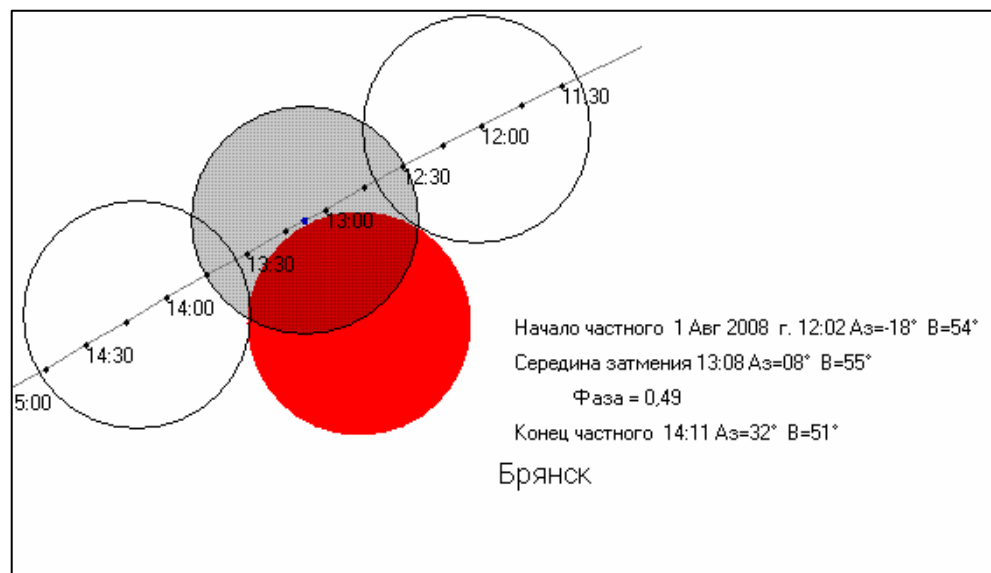
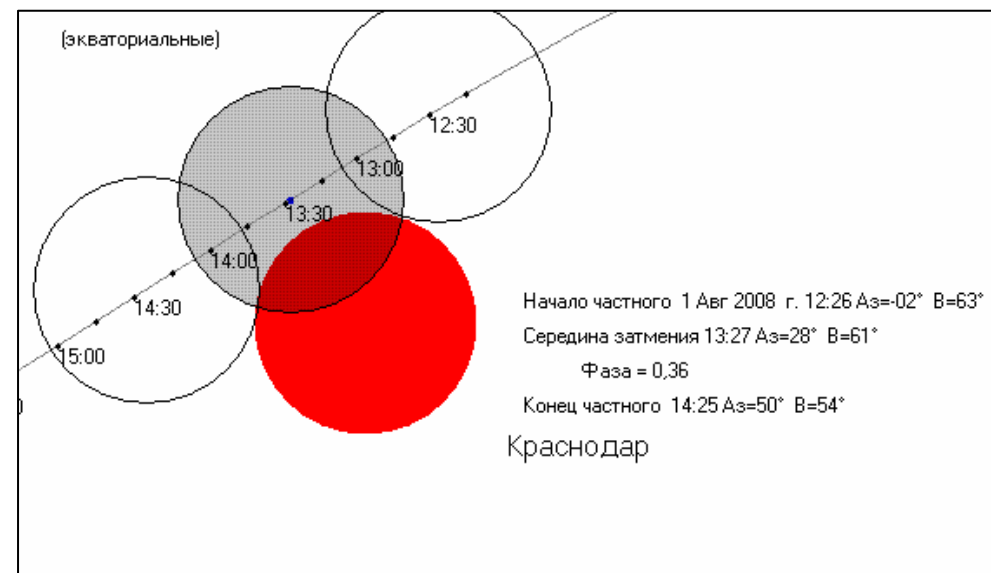


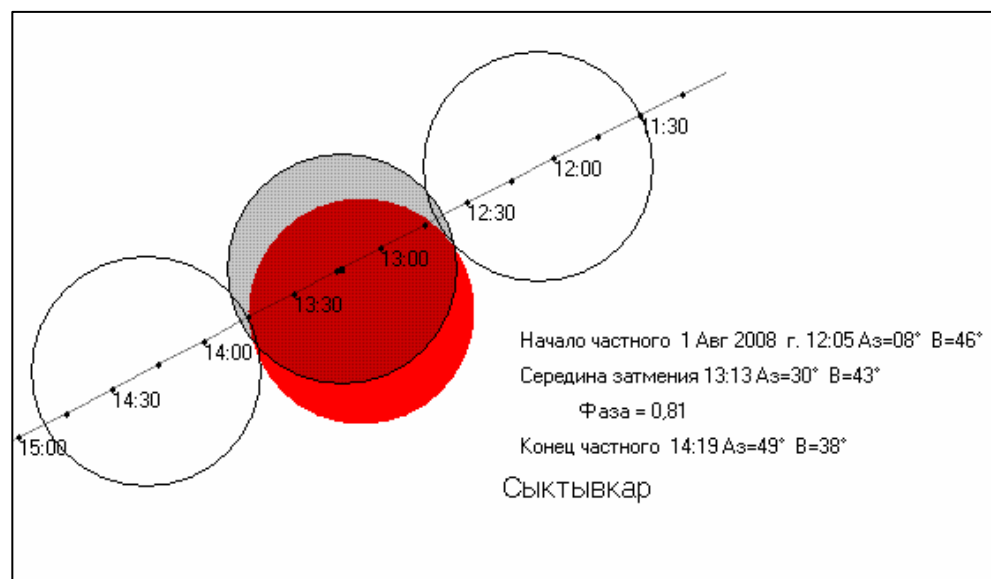
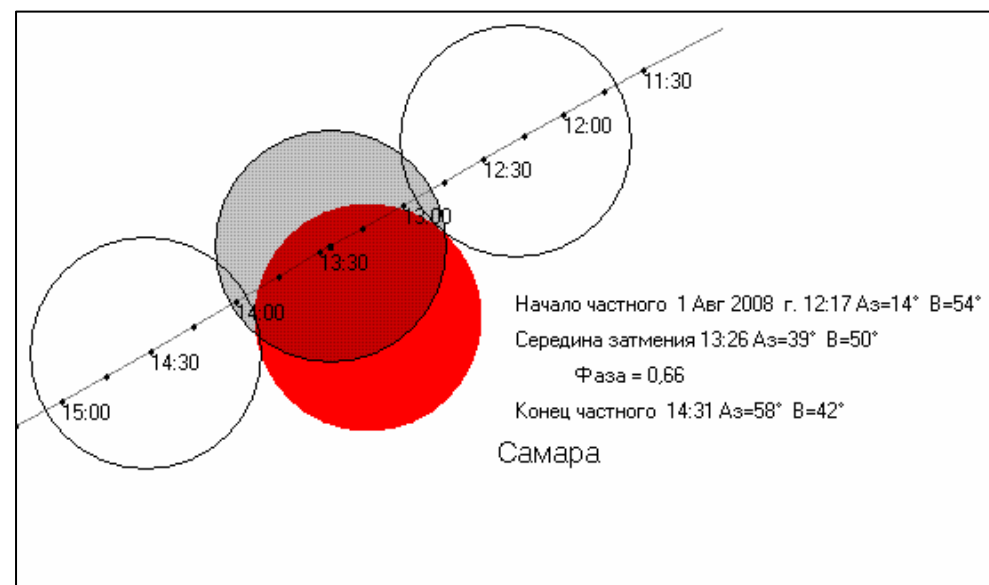
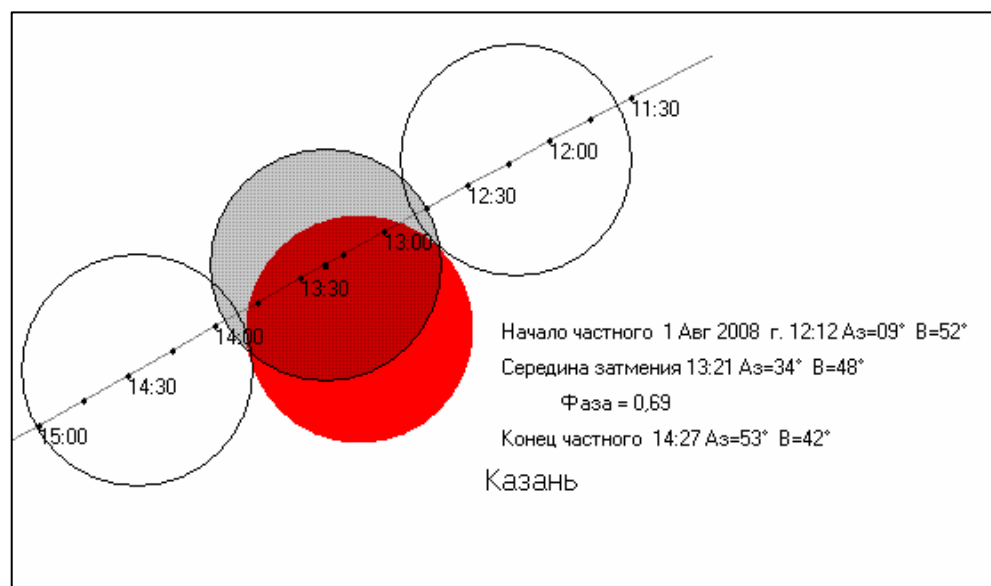
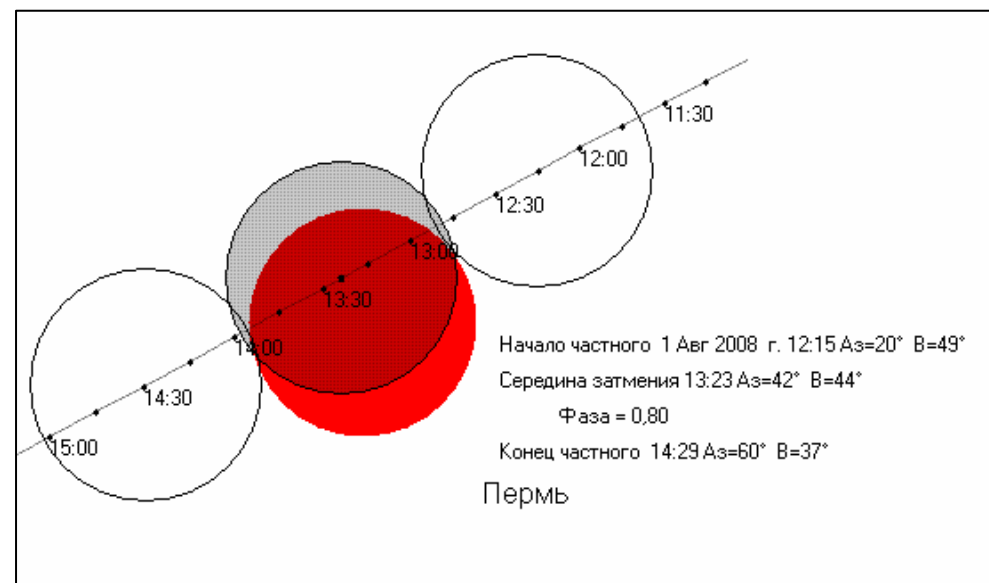
**МОСКВА****МУРМАНСК****С.\_ПЕТЕРБУРГ****МИНСК**

**ТБИЛИСИ****АРХАНГЕЛЬСК****АСТРАХАНЬ****ВОЛОГДА**

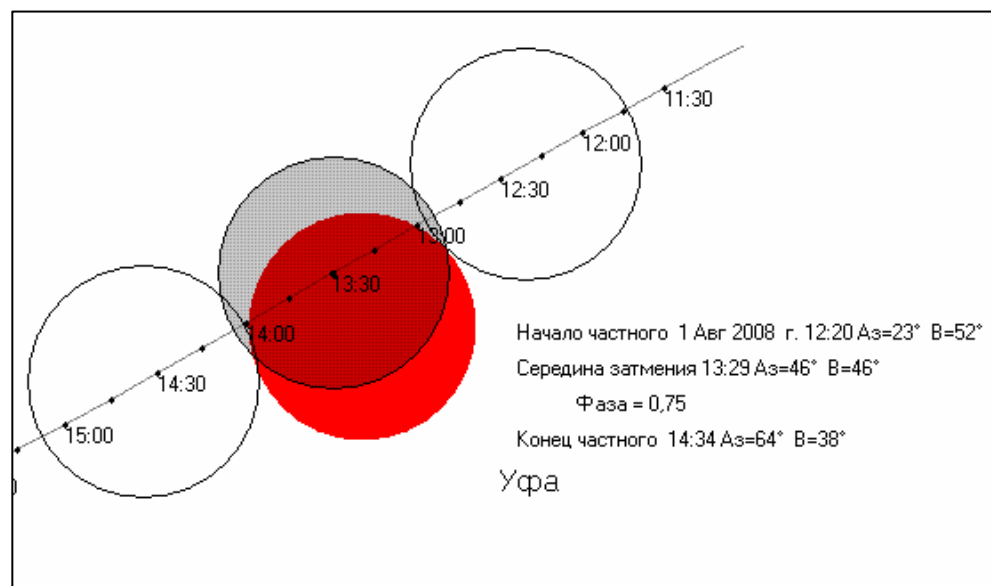
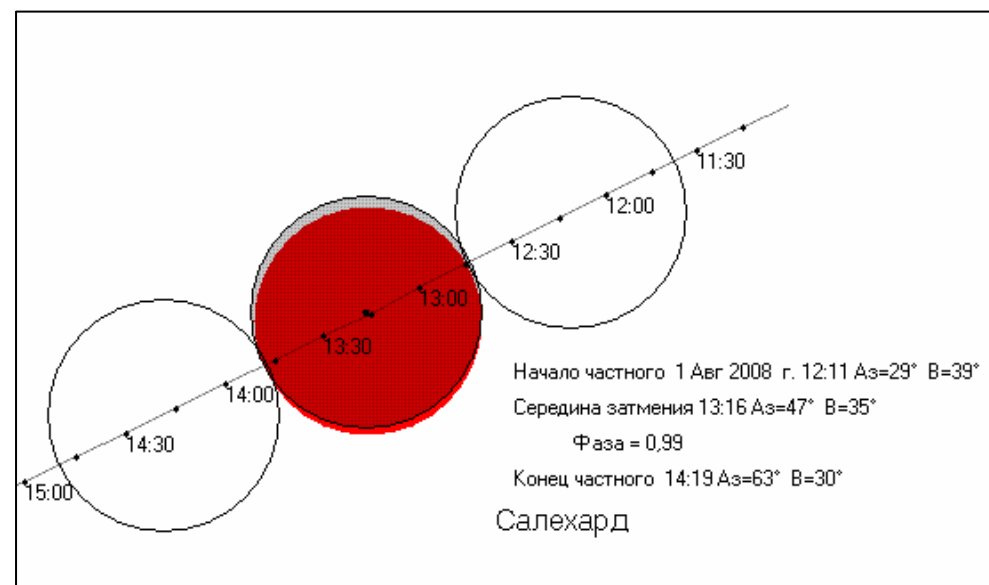
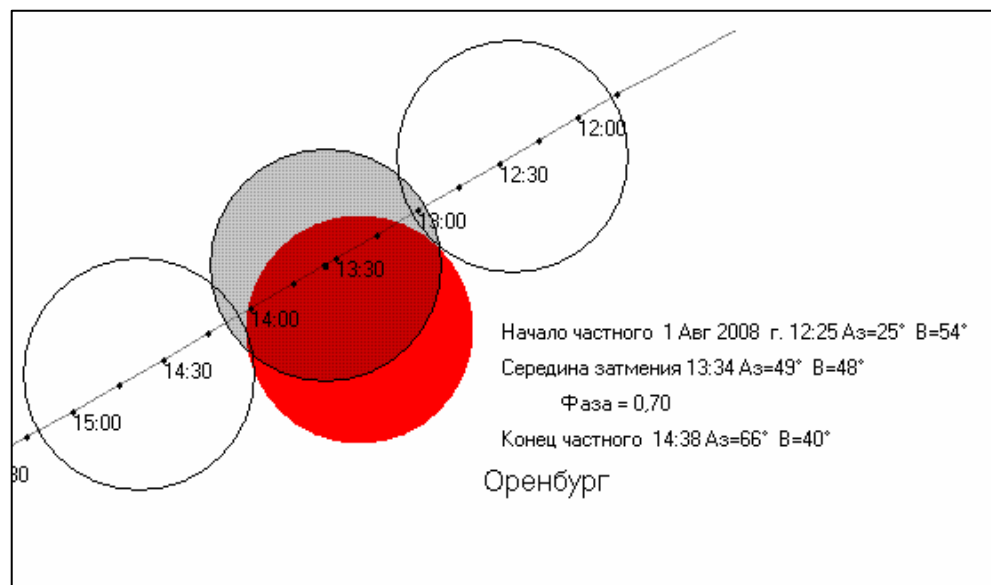
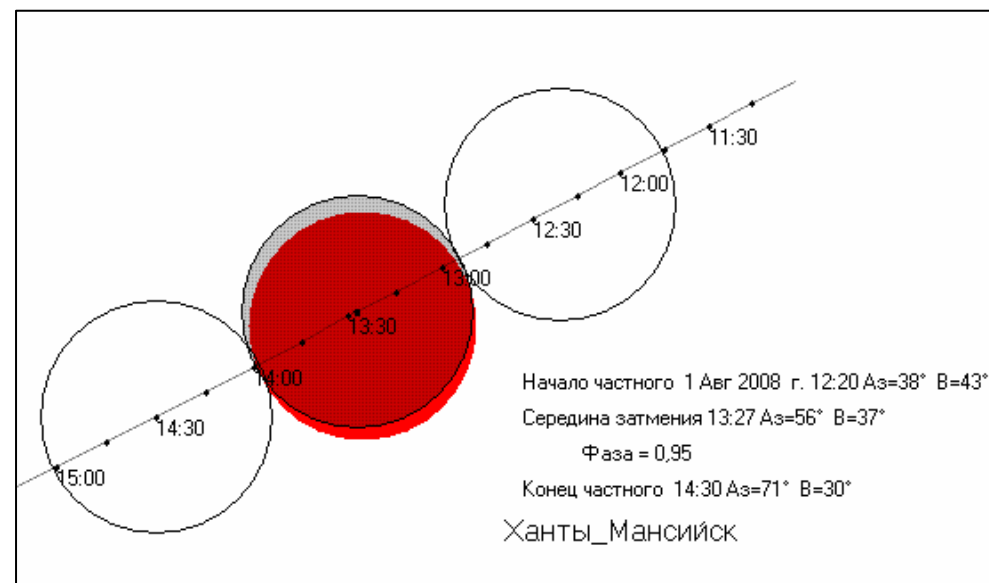
**НИЖНИЙ НОВГОРОД****ВОЛГОГРАД****САРАТОВ****НАРЬЯН\_МАР**

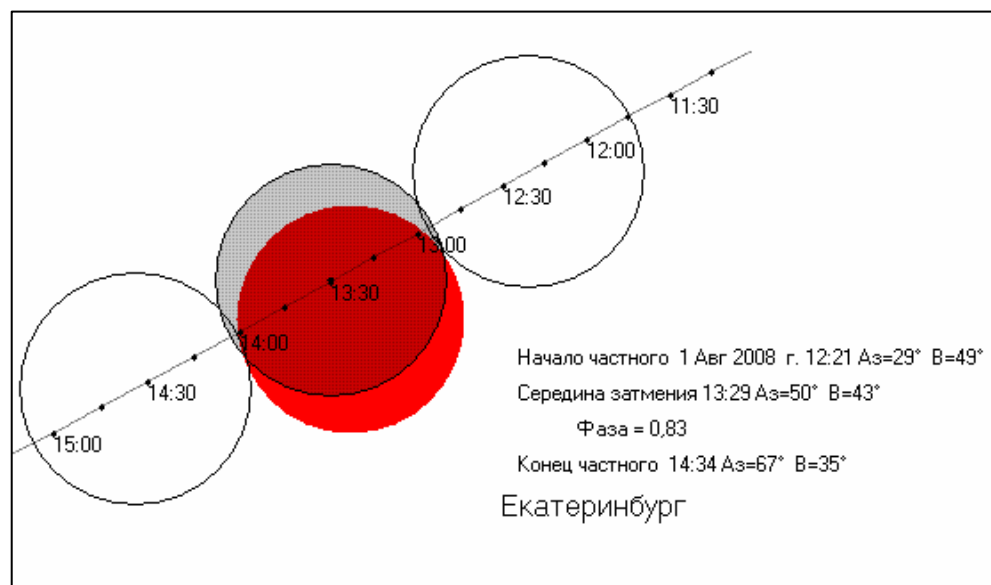
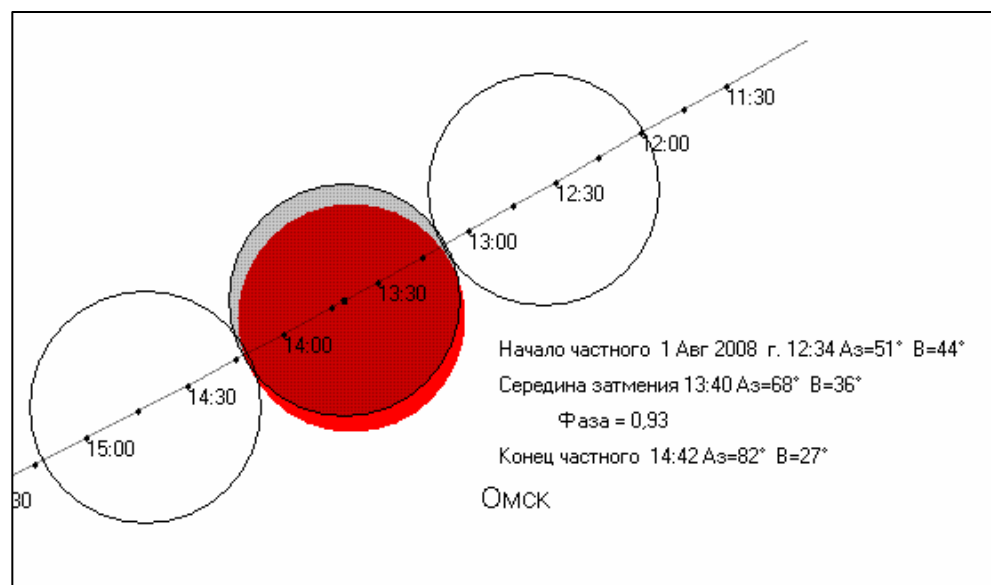
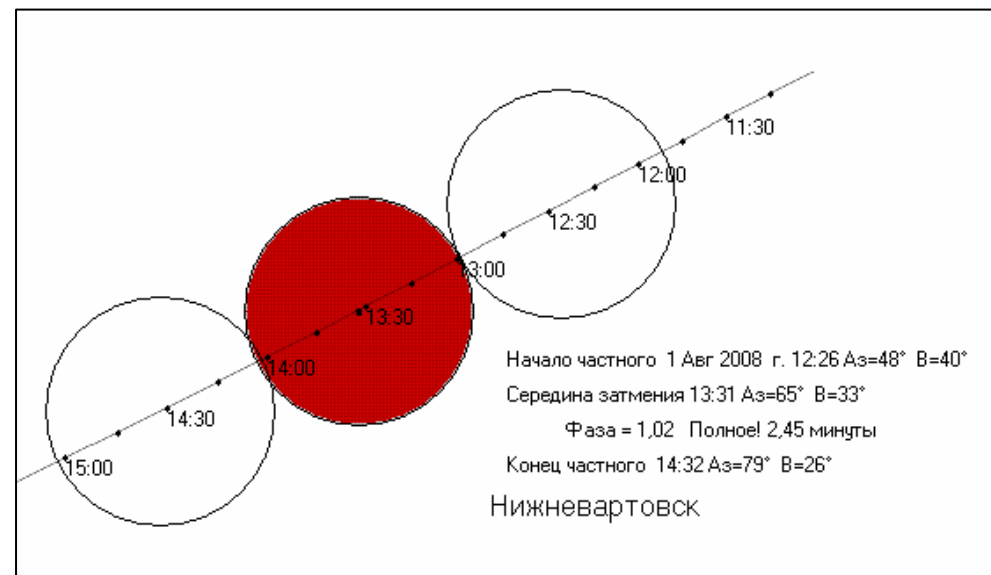
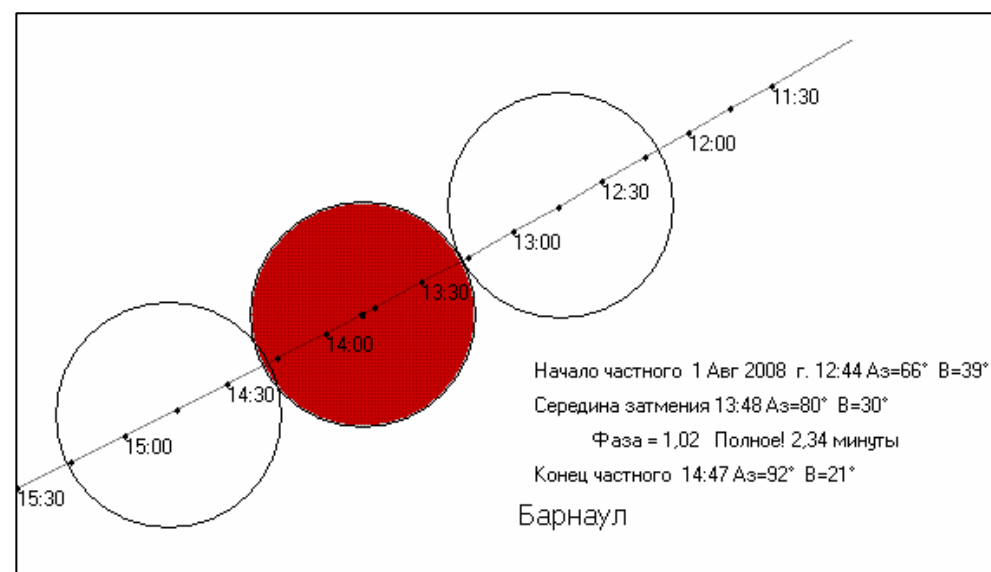
**КАЛИНИНГРАД****РИГА****ОДЕССА****ПЕТРОЗАВОДСК**

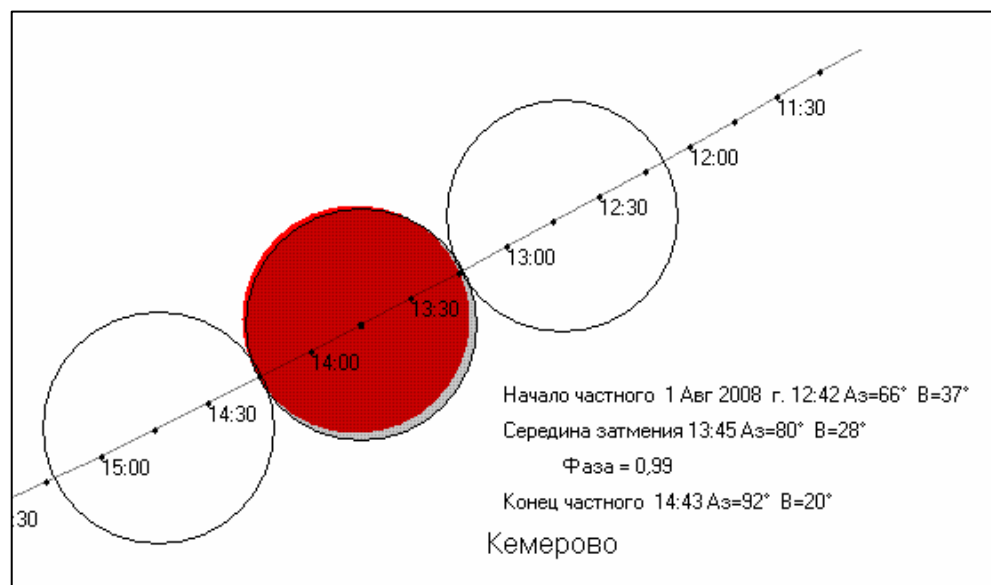
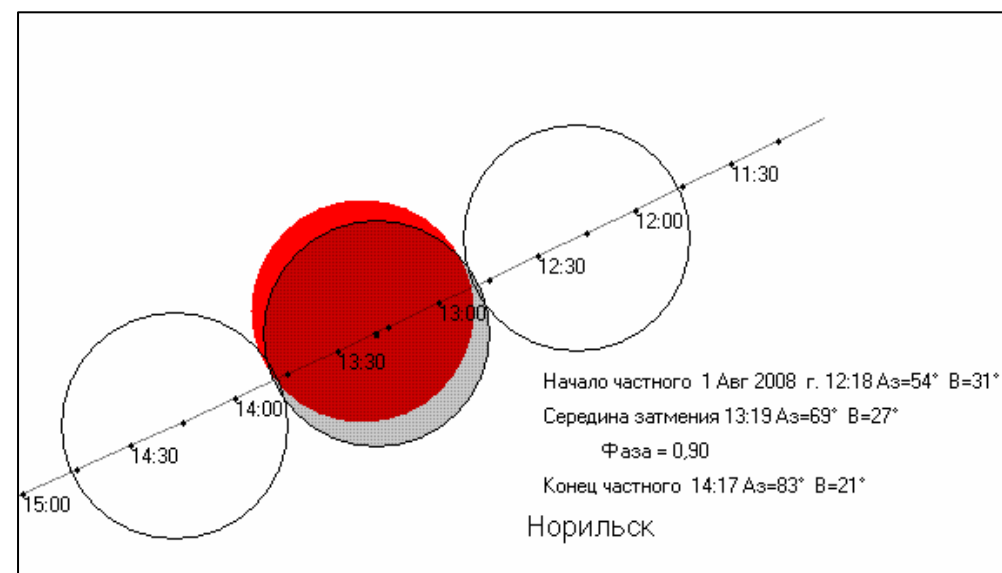
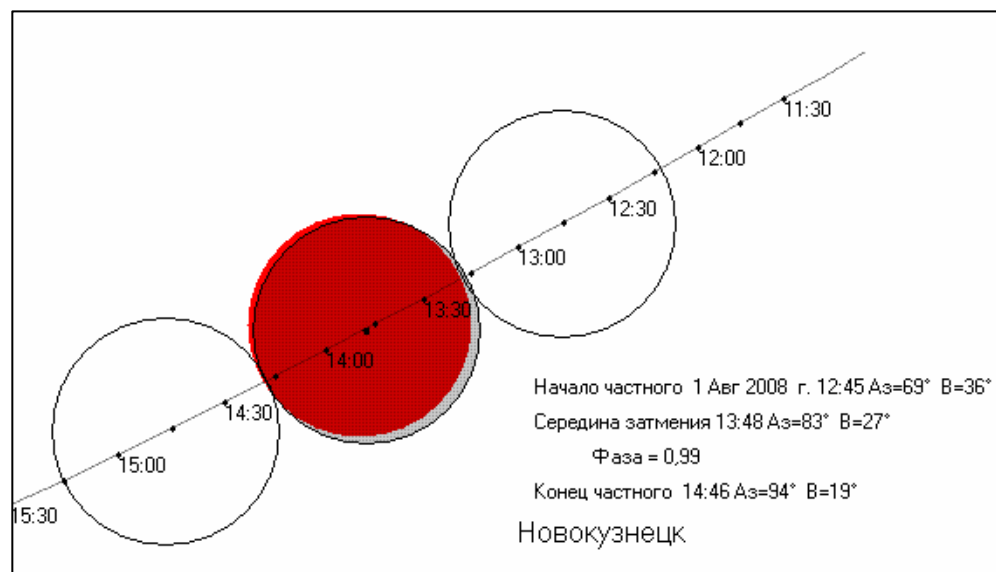
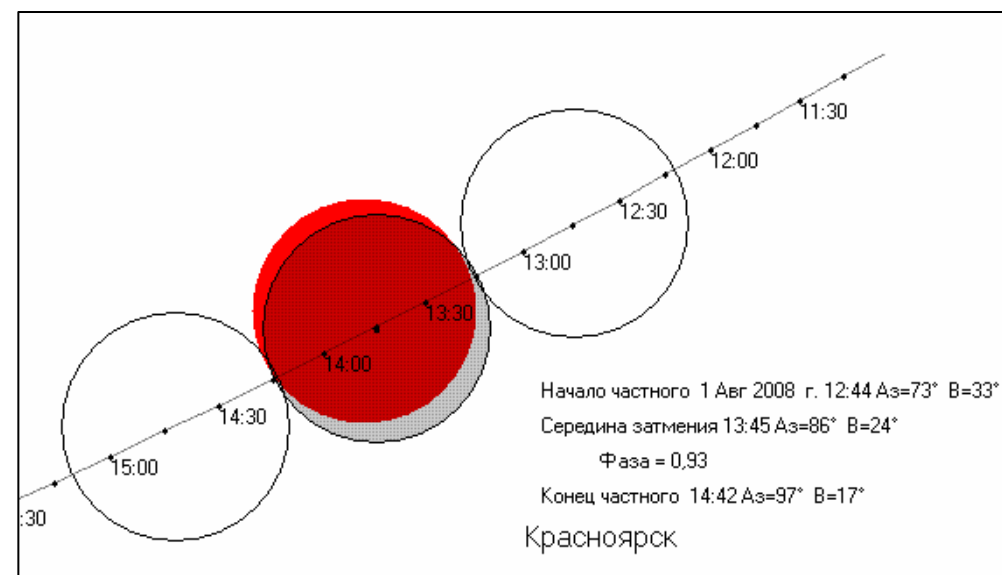
**ЯРОСЛАВЛЬ****РЯЗАНЬ****БРЯНСК****КРАСНОДАР**

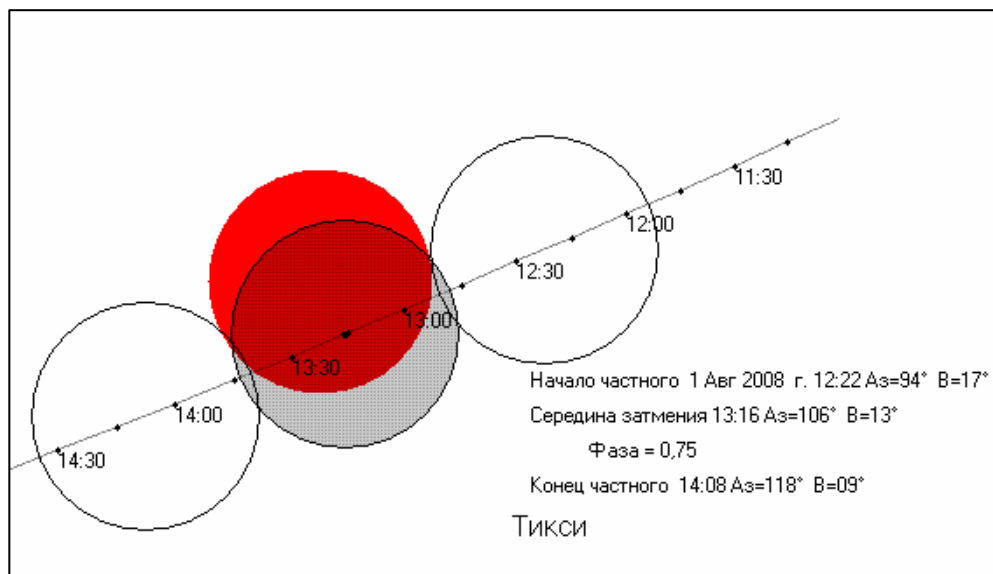
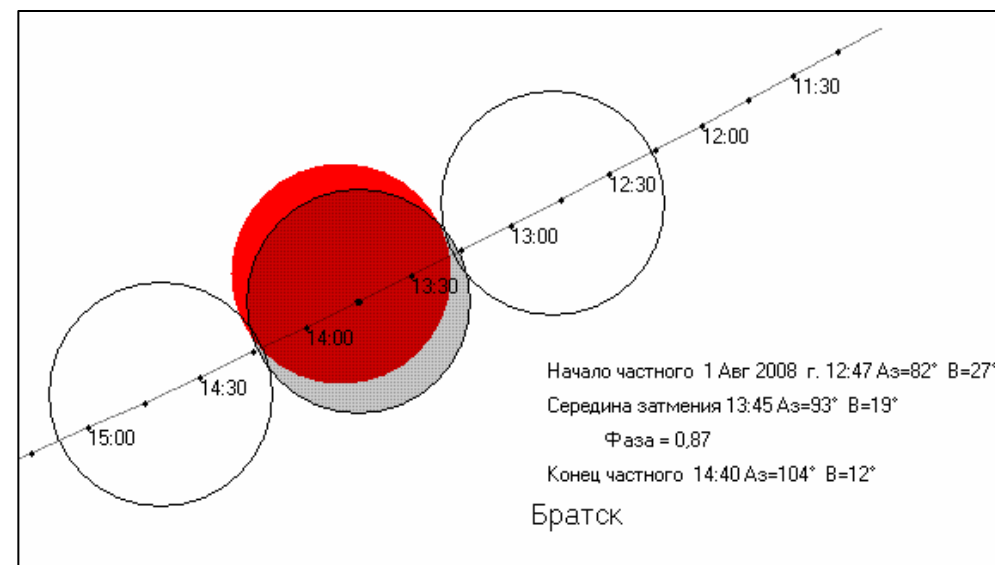
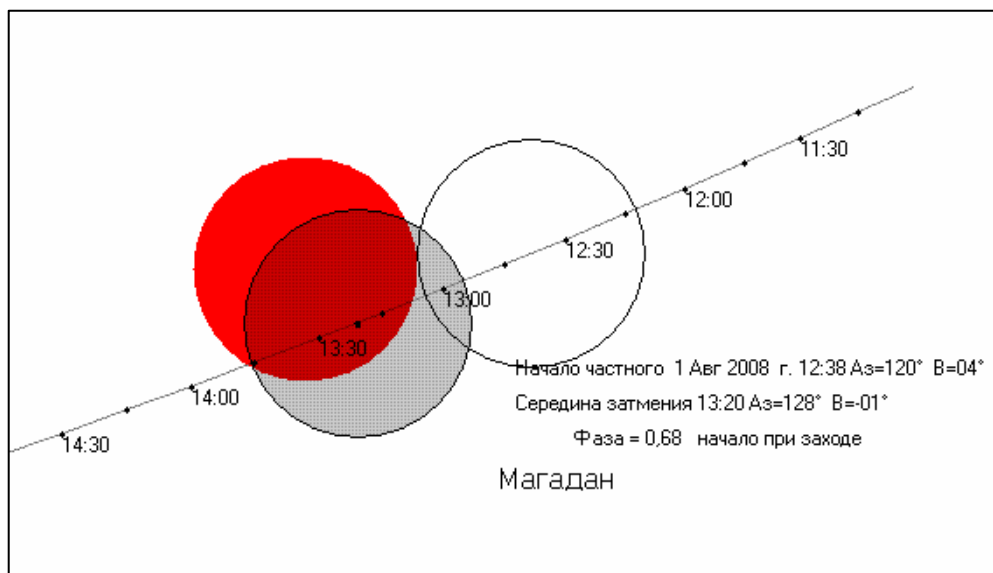
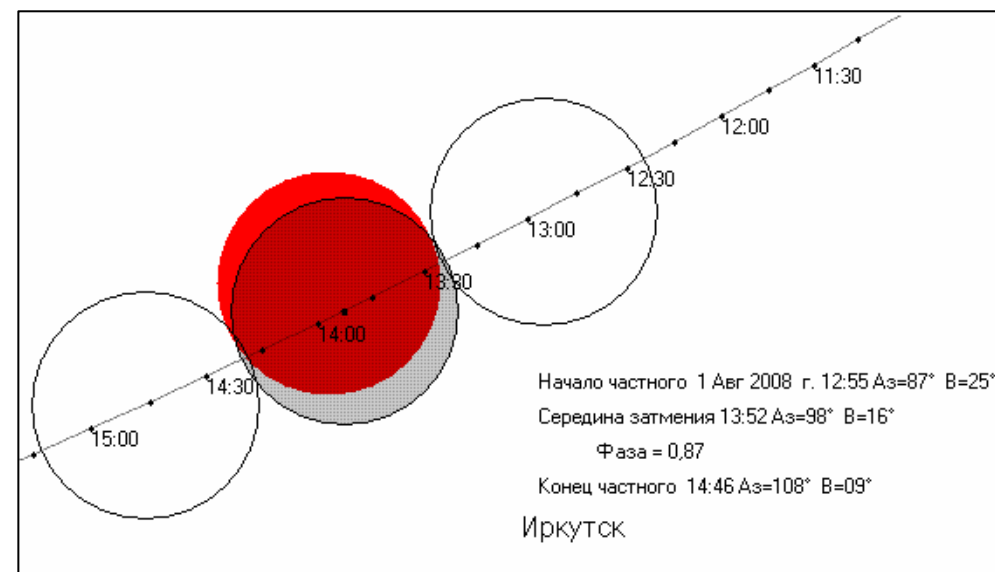
**СЫКТЫВКАР****САМАРА****КАЗАНЬ****ПЕРМЬ**

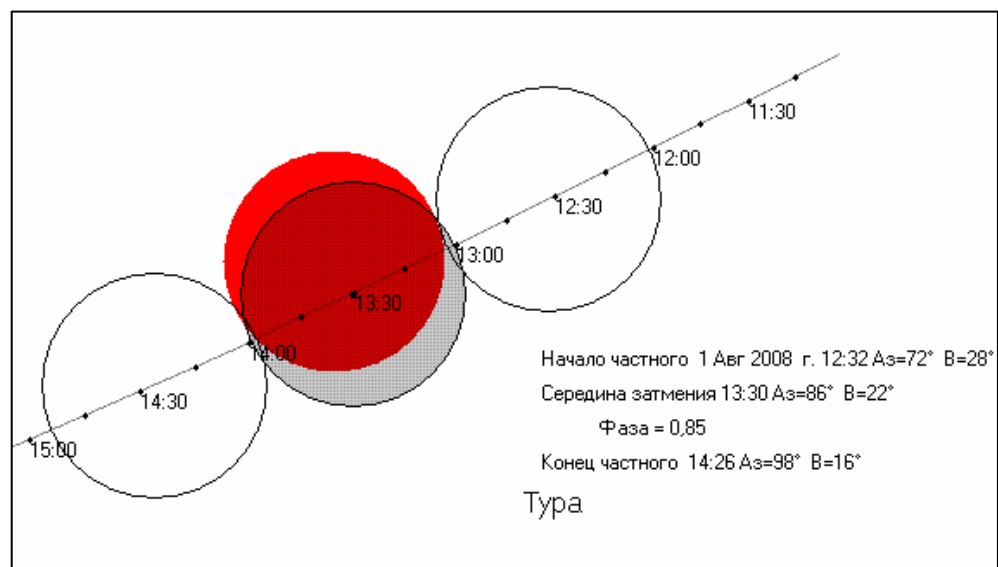
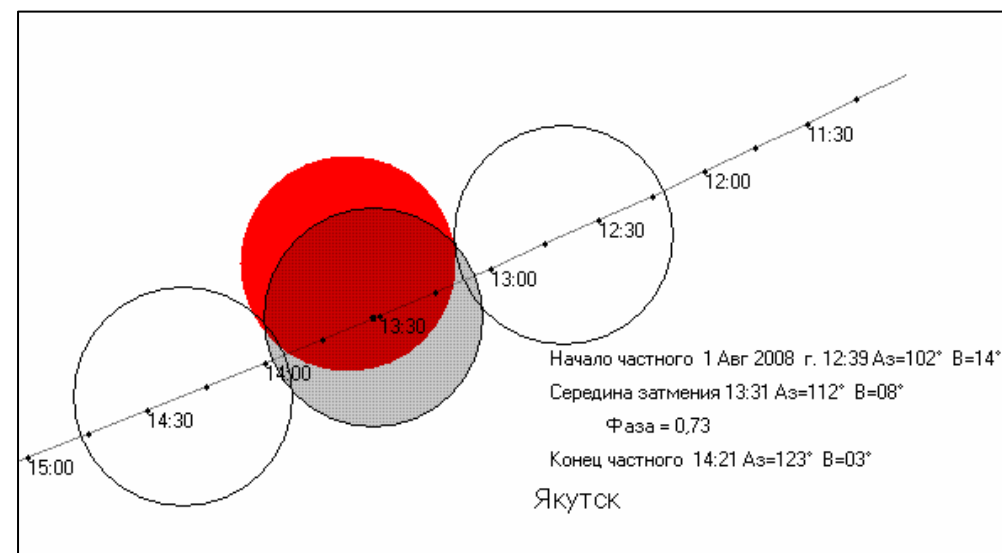
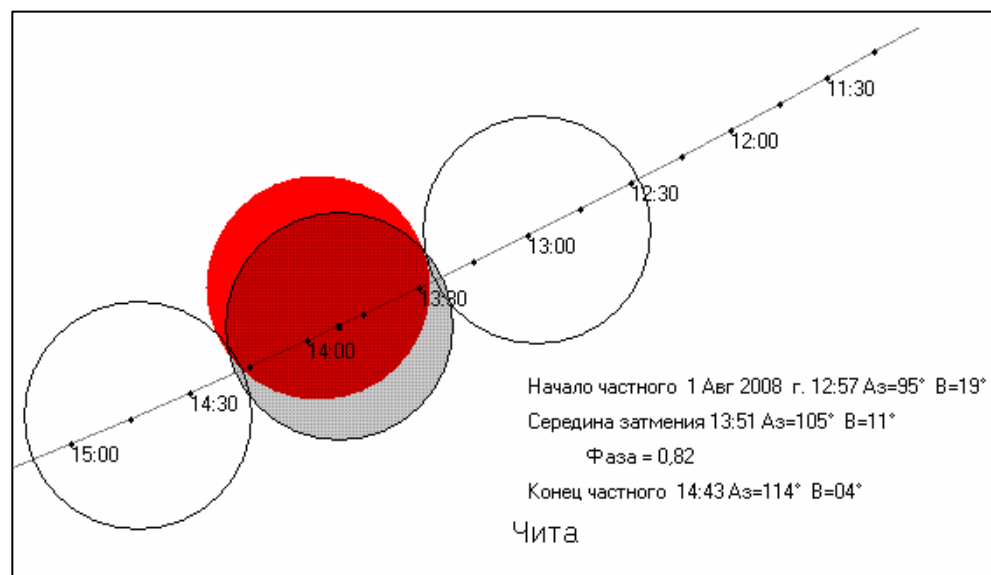
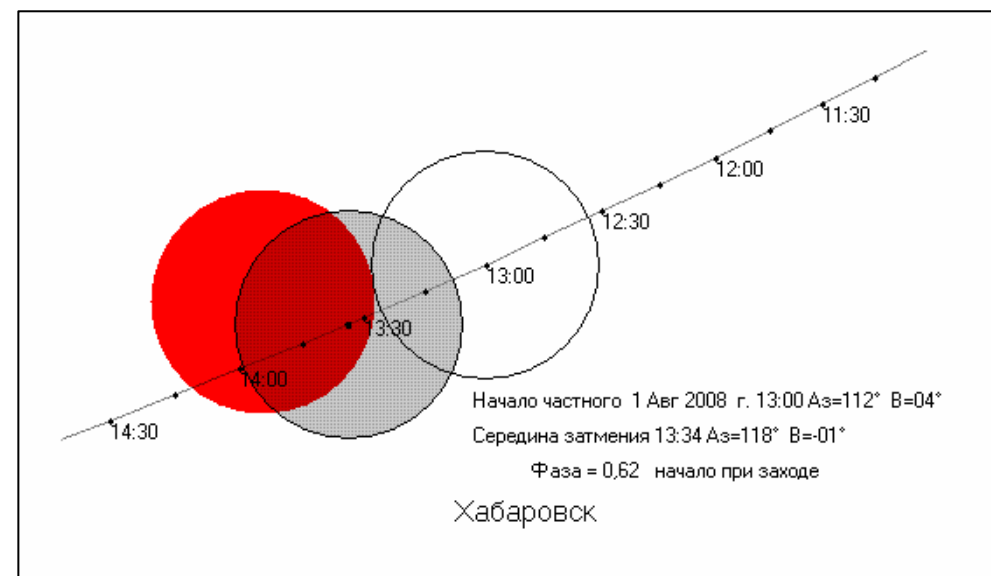


**УФА****САЛЕХАРД****ОРЕНБУРГ****ХАНТЫ\_МАНСИЙСК**

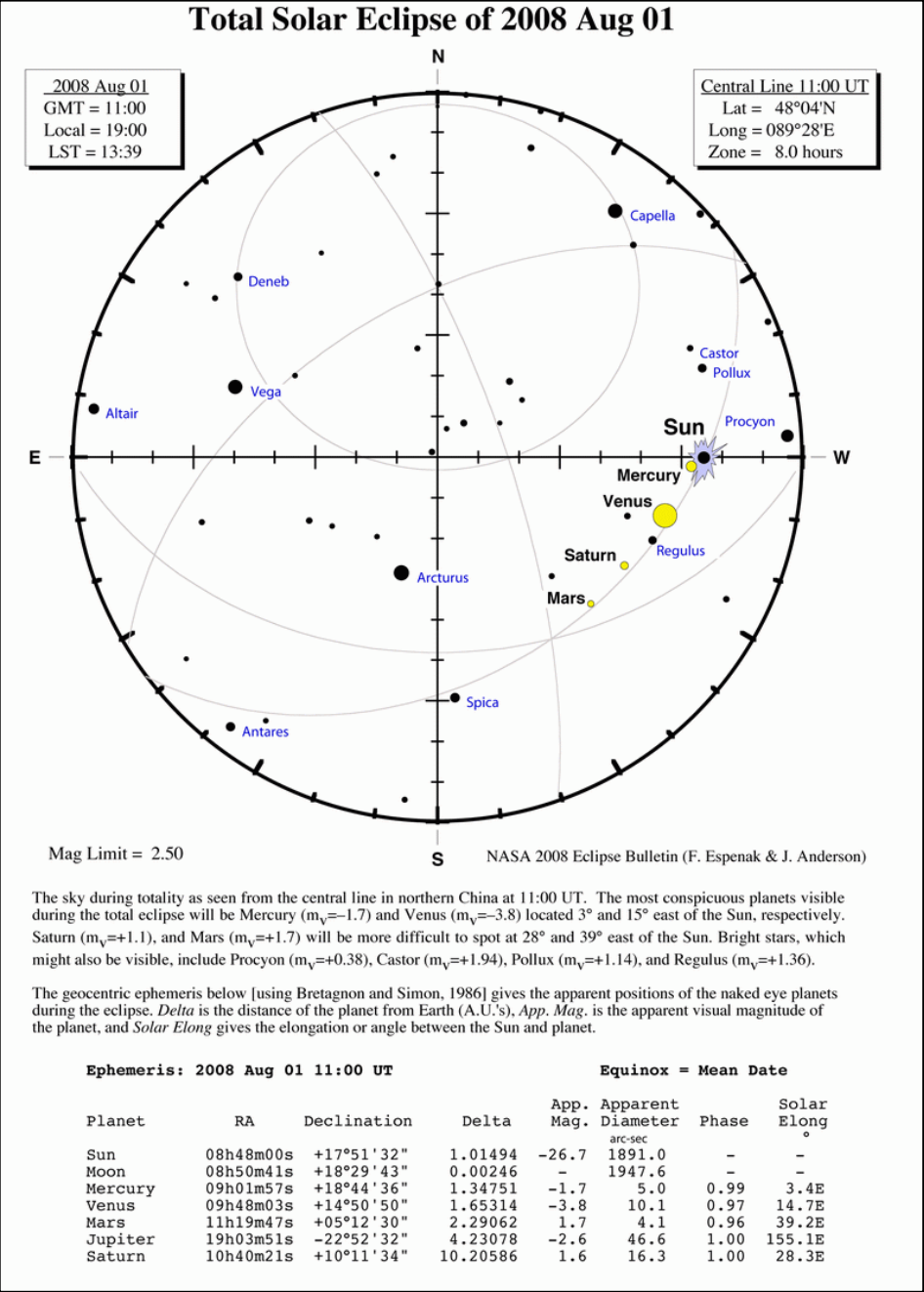
**ЕКАТЕРИНБУРГ****ОМСК****НИЖНЕВАРТОВСК****БАРНАУЛ**

**КЕМЕРОВО****НОРИЛЬСК****НОВОКУЗНЕЦК****КРАСНОЯРСК**

**ТИКСИ****БРАТСК****МАГАДАН****ИРКУТСК**

**ТУРА****ЯКУТСК****ЧИТА****ХАБАРОВСК**

Вид неба в 11 часов 00 минут по всемирному времени из пункта с максимальной фазой затмения.



Обстоятельства солнечного затмения 1 августа 2008 года в городах России, попадающих в полосу полного затмения.

В таблицу обстоятельств солнечного затмения 1 августа 2008 года в городах России, СНГ и Зарубежья, попадающих в полосу полного затмения включены крупные населенные пункты и административные центры России. Для пунктов попадающих в полосу полного затмения приводится другая таблица, содержащая не только крупные населенные пункты, но небольшие поселки городского типа. В данную таблицу включены только пункты, находящиеся на территории России. В таблице дается время в часах, минутах и секундах 2 и 3 контактов и момента максимальной фазы (время 2кн, время 3кн и время max), величина фазы (фаза) и продолжительность полной фазы в минутах и секундах (Т) солнечного затмения в данном пункте. **Время приводится всемирное (UT).**

Пункт	Время 2кн	Время max	Время 3кн	фаза	Т
Алтайский	10 50 35	10 51 43	10 52 51	1.017	2 15
Барнаул	10 47 31	10 48 38	10 49 46	1.015	2 16
Белокуриха	10 50 24	10 51 30	10 52 37	1.015	2 19
Бердск	10 44 43	10 45 42	10 46 51	1.017	2 19
Бийск	10 49 29	10 50 36	10 51 44	1.017	2 15
Горно-Алтайск	10 50 50	10 51 56	10 53 02	1.015	2 12
Искитим	10 44 56	10 46 04	10 47 14	1.016	2 18
Когалым	10 27 39	10 28 38	10 29 36	1.009	1 56
Кош Агач	10 55 22	10 56 14	10 57 05	1.006	1 43
Лангепас	10 29 38	10 30 37	10 31 35	1.007	1 57
Мегион	10 30 00	10 31 08	10 32 17	1.012	2 16
Муравленко	10 23 49	10 24 59	10 26 09	1.017	2 21
Надым	10 20 12	10 21 25	10 22 38	1.019	2 26
Нижевартовск	10 30 22	10 31 32	10 32 43	1.015	2 22
Новоалтайск	10 47 30	10 48 39	10 49 48	1.017	2 18
<b>Новосибирск</b>	<b>10 44 02</b>	<b>10 45 11</b>	<b>10 46 20</b>	<b>1.017</b>	<b>2 18</b>
Ноябрьск	10 25 51	10 27 01	10 28 12	1.019	2 21
Онгудай	10 53 13	10 54 18	10 55 22	1.017	2 10
Стрежевой	10 31 10	10 32 22	10 33 34	1.017	2 24
Тальменка	10 46 27	10 47 37	10 48 46	1.017	2 18
Тогучин	10 44 36	10 45 08	10 45 41	1.002	1 06
Троицкое	10 48 24	10 49 32	10 50 40	1.018	2 17
Черепаново	10 45 38	10 46 47	10 47 57	1.019	2 19
Чулым	10 43 28	10 44 17	10 45 05	1.005	1 38

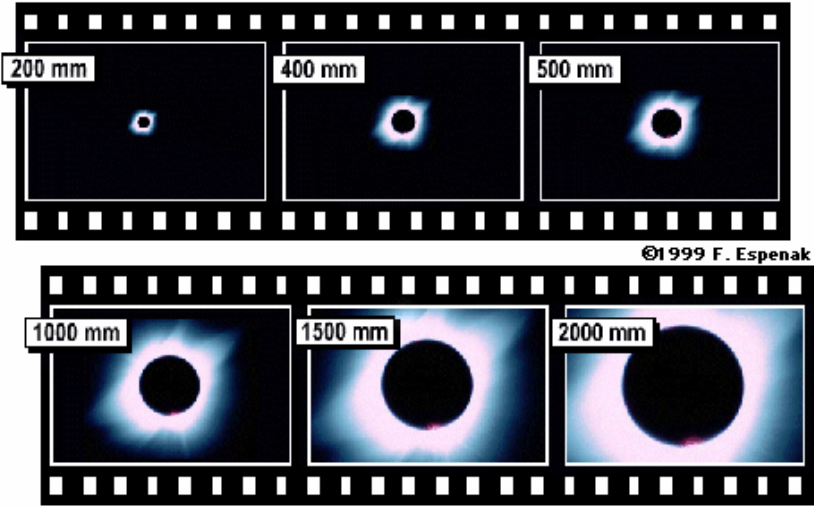


Для пунктов, не попавших в обе таблицы, обстоятельства могут быть выяснены по картам видимости затмения или приблизительно по близлежащим городам, схемы видимости затмения для которых приводятся. Полоса полной фазы определяется двумя близкими линиями по обе стороны которой отмечены изолинии (изофазы). Изофазы даны через фазу 0.1, т.е. каждая следующая изолиния меньше предыдущей на  $\Phi=0,10$ , если считать от полосы полной фазы. Величина фазы для той или иной изолинии отмечена по краям карты затмения. Все пункты, находящиеся на той или иной изолинии, будут иметь одинаковую максимальную фазу затмения.

Одинаковая фаза затмения будет, например, в городах Москва и В.Новгород (0,58), Пермь и Кудымкар (0,80). Для определения примерной фазы затмения в пунктах, не попавших в таблицы обстоятельств затмения, необходимо по карте затмения определить положение Вашего пункта. Затем, разбив на 10 частей промежуток между двумя соседними изофазами, куда попадает Ваш пункт, отмерить расстояние от Вашего пункта до ближайшей изофазы. Примерное время контактов находится по ближайшему к Вашему населенному пункту городу, указанному в одной из таблиц обстоятельств затмения. Как правило оно отличается от ближайшего города на несколько минут. Если Ваш пункт находится северо-западнее указанного в таблице города, то затмение у Вас начнется раньше, а если Ваш пункт находится юго-восточнее указанного в таблице города, то затмение начнется позже.

Таково в общих чертах солнечное затмение 1 августа 2008 года – второе полное солнечное затмение, которое смогут наблюдать жители России в 21 веке. За оставшееся время до затмения, любители астрономии смогут хорошо подготовиться к наблюдениям этого замечательного явления: подготовить телескопы и фотоаппараты, всевозможные электронные устройства, изготовить самостоятельно приборы для наблюдений солнечного затмения.

Для представления о величине изображения затмившегося Солнца, получаемого при съемке с различным фокусным расстоянием фотоаппарата, приводится схематический рисунок. Фокусные расстояния даны от 200 до 2000 мм.



Облегчить попадание в экспозицию при фотографировании солнечного затмения вам поможет таблица, составленная Fred Espenak . Если вы предпочитаете установить выдержку и диафрагму вручную минуя автоматическое экспонирование (что иногда бывает полезно), то выбирайте ее согласно значений из этой таблицы. Например, при фотографировании солнечной короны на расстоянии одного солнечного радиуса, попасть в экспозицию при чувствительности пленки 200 единиц ISO и диафрагме 8 вам даст выдержка 1/8. Этот способ можно применять и для цифровых фотокамер, заранее переведя режим экспонирования из автоматического в ручной. Более точную экспозицию можно вычислить по формуле, имеющейся внизу данной таблицы. Успешной подготовки к наблюдениям затмения!

TABLE 2  
SOLAR ECLIPSE EXPOSURE GUIDE

ISO	f/Number									
25	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32
50	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	44
100	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	44	64
200	4	5.6	8	11	16	22	32	44	64	88
400	5.6	8	11	16	22	32	44	64	88	128
800	8	11	16	22	32	44	64	88	128	176
1600	11	16	22	32	44	64	88	128	176	

Subject	Q	Shutter Speed									
Solar Eclipse											
Partial <sup>1</sup> - 4.0 ND	11	—	—	—	14000	12000	11000	1500	1250	1125	
Partial <sup>1</sup> - 5.0 ND	8	14000	12000	11000	1500	1250	1125	160	130	115	
Baily's Beads <sup>2</sup>	11	—	—	—	14000	12000	11000	1500	1250	1125	
Chromosphere	10	—	—	14000	12000	11000	1500	1250	1125	160	
Prominences	9	—	14000	12000	11000	1500	1250	1125	160	130	
Corona - 0.1 R <sub>s</sub>	7	12000	11000	1500	1250	1125	160	130	115	18	
Corona - 0.2 R <sub>s</sub> <sup>3</sup>	5	1500	1250	1125	160	130	115	18	14	12	
Corona - 0.5 R <sub>s</sub>	3	1125	160	130	115	18	14	12	1 sec	2 sec	
Corona - 1.0 R <sub>s</sub>	1	130	115	18	14	12	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	
Corona - 2.0 R <sub>s</sub>	0	115	18	14	12	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec	
Corona - 4.0 R <sub>s</sub>	-1	18	14	12	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec	30 sec	
Corona - 8.0 R <sub>s</sub>	-3	12	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec	30 sec	1 min	2 min	

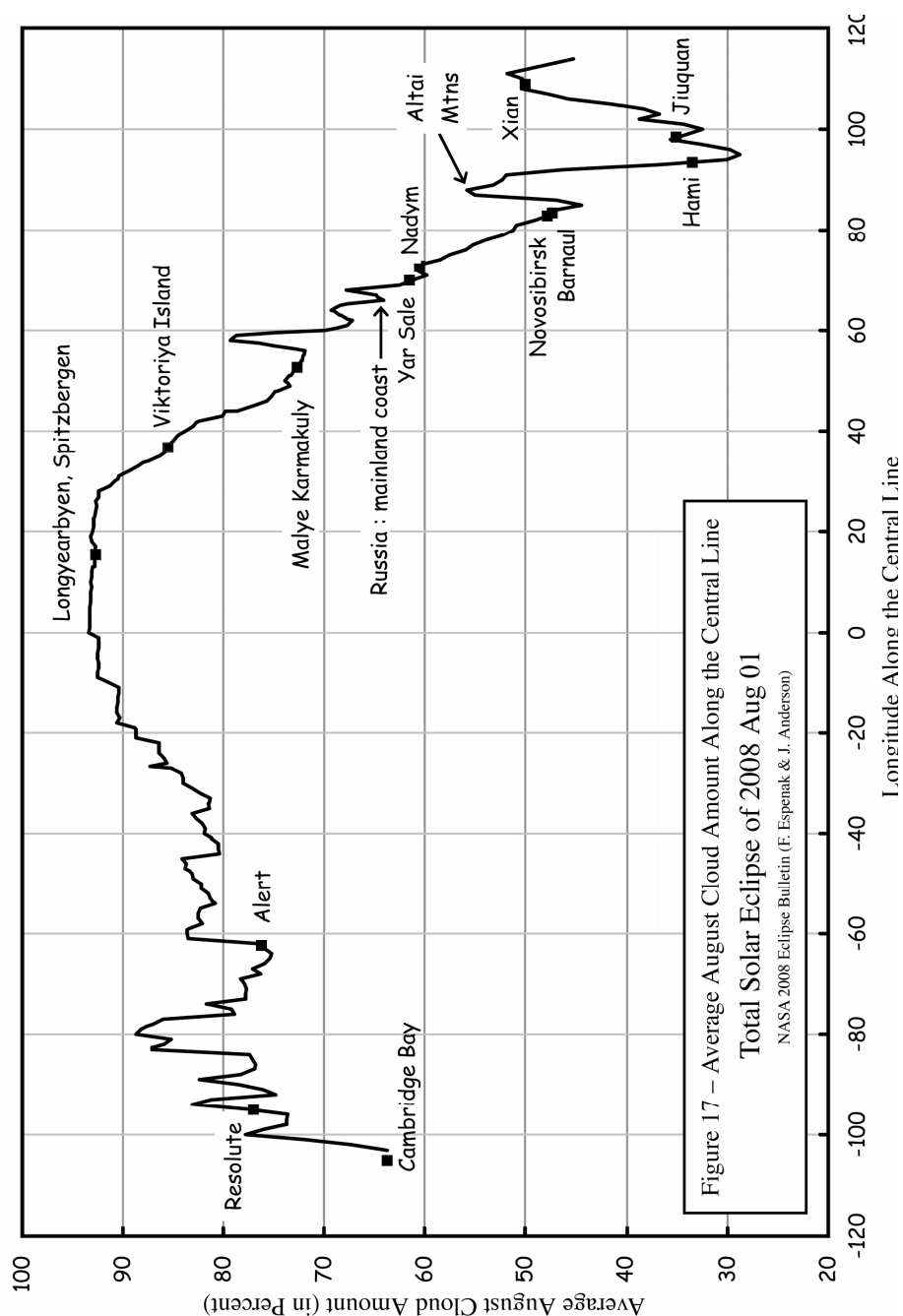
Exposure Formula:  $t = f^2 / (I \times 2^Q)$  where: t = exposure time (sec)  
f = f/number or focal ratio  
I = ISO film speed  
Q = brightness exponent

Abbreviations: ND = Neutral Density Filter.  
R<sub>s</sub> = Solar Radii.

Notes: <sup>1</sup> Exposures for partial phases are also good for annular eclipses.  
<sup>2</sup> Baily's Beads are extremely bright and change rapidly.  
<sup>3</sup> This exposure also recommended for the 'Diamond Ring' effect.

F. Espenak - 1996 March

### Прогноз вероятной облачности в % на день затмения ( по долготе вдоль полосы полного затмения)



### Вид Земли из космоса во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 года (в центре изображения видна лунная тень)



### Уважаемые любители астрономии!



Надеюсь, что «Солнечное затмение 1 августа 2008 года» (двенадцатая книга из серии «Астробиблиотека») послужит Вам неизменным спутником при подготовке к наблюдениям этого замечательного явления. В серии «Астробиблиотека», кроме данной книги, вышли в свет четыре выпуска «Астрономического календаря», четыре выпуска сборника «Астрономические хроники», книга о противостоянии Марса, книга о наблюдениях комет и книга о солнечном затмении 2006 года.

Если Вы хотите быть в курсе всех основных астрономических явлений месяца, то Вам поможет ежемесячник «Календарь наблюдателя» и ежегодник «Астрономический Календарь», который Вы можете заказать по e-mail: [sev\\_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru](mailto:sev_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru) или скачать по сети Интернет. Журнал «Небосвод» поможет опубликовать Ваши статьи и фото затмения и других небесных объектов и явлений. Если у Вас есть доступ к Интернет, то Вы всегда можете узнать самые свежие астрономические новости в рассылке [http://content.mail.ru/pages/p\\_19436.html](http://content.mail.ru/pages/p_19436.html) и много другой информации по астрономии на сайтах автора <http://astrogalaxy.ru> и <http://moscowaleks.narod.ru> Эти сайты - Ваш неизменный спутник в мире астрономии!

Связаться с автором можно по e-mail: [sev\\_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru](mailto:sev_kip2@samaratransgaz.gazprom.ru). Ваши отзывы и предложения по поводу журнала, книг, рассылки и сайтов с благодарностью будут приняты автором.

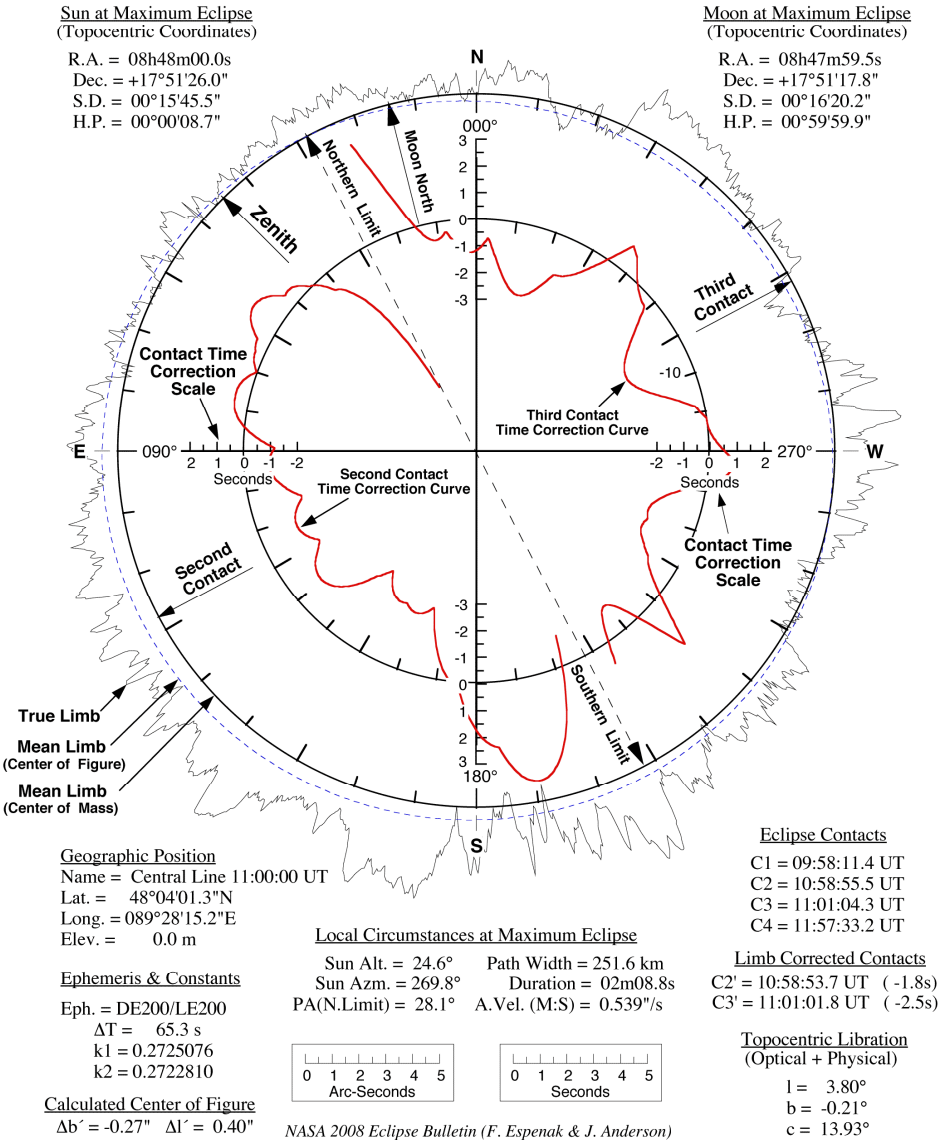
Искренне Ваш

Козловский А.Н.

Схема полного солнечного затмения

FIGURE 16 - LUNAR LIMB PROFILE FOR AUG 01 AT 11:00 UT  
Total Solar Eclipse of 2008 Aug 01

Moon/Sun Diameter Ratio = 1.0367



ПРИЛОЖЕНИЯ

- 1. Схема полного солнечного затмения
- 2. Прогноз вероятной облачности в % на день затмения 1 августа 2008 года
- 3.Список солнечных затмений до конца 21 века

Список солнечных затмений до конца 21 века

	Дата	Н. Ч.	Н. Ц.	Максимум	К. Ц.	К. Ч.	Фаза	Вид
24	Окт	2079	15:45	17:26	18:09	18:52	0,97	К (Ю)
21	Март	2080	10:08	–	12:16	–	0,88	Ч (Ю)
13	Сент	2080	14:39	–	16:34	–	0,87	Ч (С)
10	Март	2081	12:20	13:31	15:20	17:10	0,96	К (Ю)
3	Сент	2081	06:31	07:28	09:04	10:40	1,03	П (С)
27	Фев	2082	11:45	12:54	14:44	16:35	0,96	К (С)
24	Авг	2082	22:37	23:37	01:14	02:50	1,01	П (Ю)
16	Фев	2083	15:53	–	18:04	–	0,94	Ч (С)
15	Июль	2083	23:51	–	00:10	–	0,01	Ч (С)
13	Авг	2083	10:44	–	12:33	–	0,62	Ч (Ю)
7	Янв	2084	15:33	–	17:26	–	0,87	Ч (Ю)
3	Июль	2084	23:09	00:40	01:47	02:54	0,97	К (С)
27	Дек	2084	06:38	07:37	09:11	10:44	1,01	П (Ю)
22	Июнь	2085	00:19	01:23	03:18	05:13	0,98	К (Ц)
16	Дек	2085	19:51	20:52	22:35	00:18	0,99	К (Ц)
11	Июнь	2086	08:36	09:50	11:04	12:19	1,00	П (Ю)
6	Дек	2086	03:21	–	05:37	–	0,93	Ккс (С)
2	Май	2087	16:13	–	18:01	–	0,80	Ч (С)
1	Июнь	2087	00:26	–	01:25	–	0,21	Ч (Ю)
26	Окт	2087	09:57	–	11:42	–	0,47	Ч (Ю)
21	Апр	2088	07:54	08:53	10:29	12:04	1,02	П (С)
14	Окт	2088	12:00	13:10	14:44	16:19	0,98	К (Ю)
10	Апр	2089	19:54	20:58	22:42	00:26	0,99	К (Ю)
4	Окт	2089	22:31	23:29	01:12	02:55	1,01	П (Ц)
31	Март	2090	01:26	–	03:36	–	0,78	Ч (Ю)
23	Сент	2090	14:48	16:13	16:54	17:34	1,02	П (С)
18	Фев	2091	07:49	–	09:50	–	0,66	Ч (С)
15	Авг	2091	22:21	23:57	00:31	01:04	1,01	П (Ю)
7	Фев	2092	12:23	13:28	15:06	16:45	0,98	К (С)
3	Авг	2092	07:01	08:05	09:56	11:47	0,98	К (Ц)
27	Янв	2093	00:42	01:39	03:19	04:58	0,98	П (Ц)
23	Июль	2093	09:38	10:53	12:30	14:06	0,97	К (С)
16	Янв	2094	16:52	18:22	18:56	19:31	1,01	П (Ю)
13	Июнь	2094	23:16	–	00:17	–	0,17	Ч (Ю)
12	Июль	2094	11:46	–	13:23	–	0,42	Ч (С)
7	Дек	2094	18:07	–	20:01	–	0,71	Ч (С)
2	Июнь	2095	07:34	08:42	10:04	11:25	1,01	П (Ю)
27	Ноя	2095	22:06	23:18	00:59	02:40	0,96	К (С)
22	Май	2096	22:57	23:52	01:34	03:16	1,03	П (Ц)
15	Ноя	2096	21:29	22:38	00:33	02:29	0,95	К (Ц)
11	Май	2097	16:20	17:39	18:32	19:25	1,02	П (С)
4	Ноя	2097	23:33	01:08	01:59	02:49	0,97	К (Ю)
1	Апр	2098	17:54	–	19:58	–	0,81	Ч (Ю)
25	Сент	2098	22:37	–	00:26	–	0,78	Ч (С)
21	Март	2099	19:51	21:02	22:50	00:38	0,96	К (Ю)
14	Сент	2099	14:22	15:20	16:54	18:28	1,02	П (С)
10	Март	2100	19:25	20:34	22:25	00:16	0,96	К (С)
4	Сент	2100	06:08	07:07	08:46	10:25	1,01	П (Ю)
28	Фев	2101	00:01	–	02:14	–	0,98	Ккс (С)
24	Авг	2101	17:36	–	19:35	–	0,74	Ч (Ю)

Дата относится к моменту максимальной фазы!  
Н. Ч. - начало частного затмения для Земли в целом  
Н. Ц. - начало центрального затмения для Земли  
К. Ц. - конец центрального затмения  
К. Ч. - конец частного затмения

Время всемирное (UT)								
Дата	Н. Ч.	Н. Ц.	Максимум	К. Ц.	К. Ч.	Фаза	Вид	
19	Апр	2004	11:29	–	13:33	–	15:37	0,74 Ч (Ю)
14	Окт	2004	00:55	–	02:58	–	05:02	0,93 Ч (С)
8	Апр	2005	17:52	18:54	20:36	22:17	23:19	1,00 КП (Ю)
3	Окт	2005	07:37	08:44	10:32	12:20	13:27	0,97 К (С)
29	Март	2006	07:38	08:36	10:11	11:46	12:45	1,02 П (С)
22	Сент	2006	08:41	09:53	11:41	13:29	14:40	0,96 К (Ю)
19	Март	2007	00:40	–	02:33	–	04:25	0,87 Ч (С)
11	Сент	2007	10:27	–	12:32	–	14:38	0,75 Ч (Ю)
7	Фев	2008	01:38	03:23	03:54	04:25	06:10	0,98 К (Ю)
1	Авг	2008	08:04	09:22	10:20	11:18	12:37	1,01 П (С)
26	Янв	2009	04:58	06:07	07:59	09:51	10:59	0,95 К (Ц)
22	Июль	2009	23:59	00:53	02:35	04:17	05:12	1,03 П (Ц)
15	Янв	2010	04:08	05:19	07:07	08:55	10:07	0,95 К (С)
11	Июль	2010	17:11	18:18	19:34	20:50	21:57	1,02 П (Ю)
4	Янв	2011	06:42	–	08:51	–	11:01	0,86 Ч (С)
1	Июнь	2011	19:25	–	21:15	–	23:06	0,60 Ч (С)
1	Июль	2011	07:55	–	08:40	–	09:25	0,10 Ч (Ю)
25	Ноя	2011	04:23	–	06:19	–	08:15	0,90 Ч (Ю)
20	Май	2012	20:56	22:09	23:52	01:36	02:49	0,96 К (С)
13	Ноя	2012	19:39	20:37	22:12	23:47	00:45	1,02 П (Ю)
10	Май	2013	21:27	22:34	00:26	02:18	03:25	0,97 К (Ц)
3	Ноя	2013	10:06	11:07	12:47	14:27	15:28	1,00 КП (С)
29	Апр	2014	03:54	–	06:04	–	08:14	0,99 Ккс (Ю)
23	Окт	2014	19:40	–	21:46	–	23:52	0,81 Ч (С)
20	Март	2015	07:40	09:11	09:44	10:18	11:48	1,02 П (С)
13	Сент	2015	04:41	–	06:53	–	09:06	0,79 Ч (Ю)
9	Март	2016	23:20	00:17	01:57	03:37	04:34	1,01 П (Ц)
1	Сент	2016	06:13	07:19	09:07	10:54	12:00	0,98 К (Ю)
26	Фев	2017	12:12	13:17	14:54	16:30	17:35	0,99 К (Ю)
21	Авг	2017	15:47	16:50	18:26	20:02	21:04	1,01 П (С)
15	Фев	2018	18:58	–	20:53	–	22:47	0,59 Ч (Ю)
13	Июль	2018	01:47	–	03:00	–	04:13	0,34 Ч (Ю)
11	Авг	2018	08:03	–	09:47	–	11:30	0,73 Ч (С)
6	Янв	2019	23:33	–	01:40	–	03:47	0,72 Ч (С)
2	Июль	2019	16:55	18:02	19:22	20:43	21:50	1,02 П (Ю)
26	Дек	2019	02:30	03:36	05:17	06:58	08:04	0,98 К (С)
21	Июнь	2020	03:47	04:49	06:40	08:31	09:33	0,99 К (Ц)
14	Дек	2020	13:35	14:34	16:13	17:53	18:52	1,00 П (Ц)
10	Июнь	2021	08:14	09:57	10:43	11:28	13:12	0,97 К (С)
4	Дек	2021	05:31	07:05	07:34	08:04	09:37	1,02 П (Ю)
30	Апр	2022	18:44	–	20:40	–	22:36	0,64 Ч (Ю)
25	Окт	2022	08:58	–	10:59	–	13:00	0,86 Ч (С)
20	Апр	2023	01:35	02:37	04:16	05:55	06:58	1,00 КП (Ю)
14	Окт	2023	15:04	16:13	17:59	19:45	20:53	0,97 К (С)
8	Апр	2024	15:43	16:41	18:17	19:54	20:51	1,02 П (С)
2	Окт	2024	15:44	16:55	18:46	20:36	21:47	0,96 К (Ю)
29	Март	2025	08:52	–	10:48	–	12:44	0,93 Ч (С)
21	Сент	2025	17:31	–	19:43	–	21:54	0,86 Ч (Ю)
17	Фев	2026	09:56	11:47	12:11	12:35	14:26	0,98 К (Ю)
12	Авг	2026	15:34	16:59	17:45	18:30	19:56	1,02 П (С)
6	Фев	2027	12:58	14:07	15:59	17:51	19:00	0,95 К (Ц)
2	Авг	2027	07:31	08:25	10:06	11:47	12:42	1,03 П (Ц)
26	Янв	2028	12:08	13:20	15:08	16:56	18:08	0,95 К (С)

	Дата		Н.Ч.	Н.Ц.	Максимум	К.Ц.	К.Ч.	Фаза	Вид
22	Июль	2028	00:29	01:33	02:56	04:19	05:23	1,02	П (Ю)
14	Янв	2029	15:04	-	17:13	-	19:23	0,87	Ч (С)
12	Июнь	2029	02:26	-	04:04	-	05:42	0,46	Ч (С)
11	Июль	2029	14:30	-	15:38	-	16:45	0,23	Ч (Ю)
5	Дек	2029	13:06	-	15:01	-	16:56	0,89	Ч (Ю)
1	Июнь	2030	03:34	04:50	06:27	08:05	09:20	0,96	К (С)
25	Ноя	2030	04:17	05:16	06:50	08:24	09:22	1,01	П (Ю)
21	Май	2031	04:15	05:21	07:15	09:08	10:15	0,97	К (Ц)
14	Ноя	2031	18:25	19:25	21:06	22:48	23:48	1,00	КП (С)
9	Май	2032	11:11	12:48	13:26	14:03	15:41	0,99	К (Ю)
3	Ноя	2032	03:24	-	05:34	-	07:44	0,86	Ч (С)
30	Март	2033	15:59	17:39	18:00	18:21	20:01	1,02	П (С)
23	Сент	2033	11:47	-	13:52	-	15:56	0,69	Ч (Ю)
20	Март	2034	07:40	08:38	10:17	11:56	12:54	1,01	П (Ц)
12	Сент	2034	13:26	14:33	16:17	18:01	19:08	0,98	К (Ю)
9	Март	2035	20:22	21:27	23:05	00:43	01:47	0,99	К (Ю)
2	Сент	2035	23:16	00:16	01:55	03:34	04:35	1,01	П (С)
27	Фев	2036	02:49	-	04:47	-	06:44	0,62	Ч (Ю)
23	Июль	2036	09:32	-	10:29	-	11:26	0,20	Ч (Ю)
21	Авг	2036	15:34	-	17:25	-	19:15	0,86	Ч (С)
16	Янв	2037	07:40	-	09:46	-	11:52	0,71	Ч (С)
13	Июль	2037	00:15	01:26	02:39	03:52	05:02	1,01	П (Ю)
5	Янв	2038	10:59	12:05	13:45	15:26	16:31	0,98	К (С)
2	Июль	2038	10:37	11:39	13:31	15:24	16:26	0,99	К (Ц)
26	Дек	2038	22:20	23:19	00:59	02:38	03:37	1,01	П (Ц)
21	Июнь	2039	14:36	16:07	17:12	18:16	19:48	0,97	К (С)
15	Дек	2039	14:19	15:51	16:23	16:54	18:26	1,01	П (Ю)
11	Май	2040	01:53	-	03:40	-	05:26	0,54	Ч (Ю)
4	Ноя	2040	17:08	-	19:06	-	21:05	0,81	Ч (С)
30	Апр	2041	09:11	10:14	11:50	13:26	14:29	1,00	П (Ю)
25	Окт	2041	22:40	23:49	01:34	03:19	04:28	0,96	К (С)
20	Апр	2042	23:41	00:38	02:16	03:54	04:51	1,02	П (Ц)
14	Окт	2042	22:57	00:07	01:59	03:52	05:02	0,96	К (Ю)
9	Апр	2043	16:57	-	18:57	-	20:56	1,00	Пкс (С)
3	Окт	2043	00:44	-	03:01	-	05:18	0,95	Ккс (Ю)
28	Фев	2044	18:08	20:13	20:22	20:30	22:35	0,98	Ккс (Ю)
23	Авг	2044	23:09	00:47	01:14	01:41	03:20	1,02	П (С)
16	Фев	2045	20:53	22:02	23:54	01:45	02:55	0,95	К (Ю)
12	Авг	2045	15:06	16:01	17:41	19:20	20:16	1,03	П (Ц)
5	Фев	2046	20:05	21:16	23:05	00:54	02:05	0,95	К (С)
2	Авг	2046	07:49	08:52	10:20	11:48	12:50	1,02	П (Ю)
26	Янв	2047	23:22	-	01:32	-	03:42	0,89	Ч (С)
23	Июнь	2047	09:27	-	10:49	-	12:12	0,31	Ч (С)
22	Июль	2047	21:11	-	22:36	-	00:00	0,36	Ч (Ю)
16	Дек	2047	21:53	-	23:47	-	01:42	0,88	Ч (Ю)
11	Июнь	2048	10:08	11:27	12:56	14:26	15:45	0,97	К (С)
5	Дек	2048	13:01	14:00	15:34	17:08	18:06	1,01	П (Ю)
31	Май	2049	10:58	12:03	13:58	15:53	16:59	0,97	К (Ц)
25	Ноя	2049	02:50	03:50	05:32	07:14	08:15	0,99	КП (Ц)
20	Май	2050	18:22	19:48	20:41	21:35	23:01	1,00	КП (Ю)
14	Ноя	2050	11:18	-	13:30	-	15:43	0,89	Ч (С)
11	Апр	2051	00:10	-	02:07	-	04:05	0,99	Ч (С)
4	Окт	2051	19:01	-	20:59	-	22:57	0,60	Ч (Ю)
30	Март	2052	15:53	16:51	18:29	20:08	21:06	1,01	П (С)
22	Сент	2052	20:48	21:56	23:37	01:17	02:25	0,98	К (Ю)
20	Март	2053	04:22	05:27	07:07	08:47	09:51	0,99	К (Ю)
12	Сент	2053	06:52	07:51	09:32	11:13	12:13	1,01	П (С)
9	Март	2054	10:32	-	12:33	-	14:34	0,66	Ч (Ю)

	Дата		Н.Ч.	Н.Ц.	Максимум	К.Ц.	К.Ч.	Фаза	Вид
3	Авг	2054	17:27	-	18:01	-	18:34	0,07	Ч (Ю)
2	Сент	2054	23:11	-	01:08	-	03:04	0,98	Ч (С)
27	Янв	2055	15:46	-	17:50	-	19:55	0,70	Ч (С)
24	Июль	2055	07:35	08:51	09:55	10:58	12:14	1,01	П (Ю)
16	Янв	2056	19:29	20:34	22:14	23:54	00:59	0,98	К (С)
12	Июль	2056	17:24	18:27	20:20	22:12	23:15	0,99	К (Ц)
5	Янв	2057	07:08	08:06	09:46	11:25	12:24	1,01	П (Ц)
1	Июль	2057	20:57	22:21	23:39	00:56	02:21	0,97	К (С)
26	Дек	2057	23:09	00:40	01:13	01:46	03:17	1,01	П (Ю)
22	Май	2058	09:01	-	10:36	-	12:11	0,42	Ч (Ю)
21	Июнь	2058	23:25	-	00:19	-	01:13	0,12	Ч (С)
16	Ноя	2058	01:23	-	03:19	-	05:16	0,77	Ч (С)
11	Май	2059	16:43	17:47	19:19	20:52	21:56	1,00	П (Ю)
5	Ноя	2059	06:22	07:32	09:15	10:59	12:09	0,96	К (С)
30	Апр	2060	07:32	08:28	10:08	11:47	12:43	1,02	П (Ц)
24	Окт	2060	06:19	07:28	09:22	11:16	12:26	0,95	К (Ц)
20	Апр	2061	00:52	02:28	02:55	03:23	04:59	1,02	П (С)
13	Окт	2061	08:10	10:01	10:31	11:00	12:52	0,97	К (Ю)
11	Март	2062	02:12	-	04:23	-	06:35	0,94	Ч (Ю)
3	Сент	2062	06:51	-	08:51	-	10:51	0,97	Ч (С)
28	Фев	2063	04:41	05:51	07:41	09:32	10:42	0,96	К (Ю)
24	Авг	2063	22:45	23:41	01:19	02:57	03:53	1,03	П (Ц)
17	Фев	2064	03:59	05:09	06:59	08:48	09:58	0,95	К (С)
12	Авг	2064	15:11	16:12	17:44	19:17	20:18	1,02	П (Ю)
5	Фев	2065	07:41	-	09:51	-	12:01	0,91	Ч (С)
3	Июль	2065	16:29	-	17:30	-	18:31	0,16	Ч (С)
2	Авг	2065	03:55	-	05:33	-	07:11	0,49	Ч (Ю)
27	Дек	2065	06:42	-	08:36	-	10:30	0,87	Ч (Ю)
22	Июнь	2066	16:39	18:02	19:22	20:42	22:06	0,97	К (С)
17	Дек	2066	21:48	22:47	00:21	01:54	02:53	1,01	П (Ю)
11	Июнь	2067	17:40	18:44	20:40	22:35	23:40	0,98	К (Ц)
6	Дек	2067	11:18	12:19	14:01	15:44	16:45	0,99	КП (Ц)
31	Май	2068	01:31	02:49	03:55	05:00	06:18	1,00	П (Ю)
24	Ноя	2068	19:17	-	21:31	-	23:46	0,92	Ч (С)
21	Апр	2069	08:15	-	10:07	-	12:00	0,90	Ч (С)
20	Май	2069	17:13	-	17:52	-	18:30	0,09	Ч (Ю)
15	Окт	2069	02:24	-	04:16	-	06:07	0,53	Ч (Ю)
11	Апр	2070	23:58	00:57	02:33	04:10	05:09	1,01	П (С)
4	Окт	2070	04:19	05:28	07:06	08:43	09:52	0,98	К (Ю)
31	Март	2071	12:13	13:17	14:59	16:41	17:45	0,99	К (Ю)
23	Сент	2071	14:37	15:36	17:18	19:00	19:59	1,01	П (Ц)
19	Март	2072	18:04	-	20:09	-	22:14	0,72	Ч (Ю)
12	Сент	2072	06:56	08:32	08:57	09:22	10:59	1,02	П (С)
7	Фев	2073	23:49	-	01:52	-	03:55	0,69	Ч (С)
3	Авг	2073	14:57	16:21	17:12	18:03	19:27	1,01	П (Ю)
27	Янв	2074	03:57	05:02	06:41	08:20	09:25	0,98	К (С)
24	Июль	2074	00:12	01:16	03:08	05:00	06:03	0,98	К (Ц)
16	Янв	2075	15:56	16:54	18:33	20:13	21:11	1,01	П (Ц)
13	Июль	2075	03:16	04:35	06:04	07:32	08:51	0,97	К (С)
6	Янв	2076	08:01	09:31	10:05	10:39	12:10	1,01	П (Ю)
1	Июнь	2076	16:07	-	17:27	-	18:47	0,30	Ч (Ю)
1	Июль	2076	05:30	-	06:49	-	08:09	0,27	Ч (С)
26	Ноя	2076	09:44	-	11:39	-	13:34	0,73	Ч (С)
22	Май	2077	00:10	01:15	02:43	04:10	05:16	1,01	П (Ю)
15	Ноя	2077	14:11	15:22	17:05	18:47	19:58	0,96	К (С)
11	Май	2078	15:18	16:13	17:54	19:35	20:30	1,03	П (Ц)
4	Ноя	2078	13:49	14:58	16:53	18:48	19:58	0,95	К (Ц)
1	Май	2079	08:41	10:06	10:48	11:30	12:55	1,02	П (С)



**СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ**  
**1 августа 2008 года**  
**И ЕГО НАБЛЮДЕНИЕ**

