

УДК 523.98

И. А. Будзиновская, Л. И. Цветков, Ю. Ф. Юровский

Научно-исследовательский институт «Крымская астрофизическая обсерватория»
98409 Крым, п. Научный**Радионаблюдения солнечного затмения 31 мая 2003 года
на волнах $\lambda\lambda = 8.2$ и 13.5 мм**

Наблюдения радиозатмения Солнца 31 мая 2003 года в НИИ КраО на стационарном радиотелескопе РТ-22 в миллиметровом диапазоне волн позволили выяснить, что радиояркость короны на расстояниях 350 и 700 тыс. км от фотосферы на волнах миллиметрового диапазона одинакова с точностью $\Delta T_K = 11$ К. На диске Солнца обнаружен компактный радиоисточник с угловым размером $3.36''$ и яркостной температурой $T_{\text{я}} = 3.18 \cdot 10^6$ К. Над лимбом Луны во время затмения появляется область повышенной радиояркости, возникновение которой можно объяснить рефракцией радиоволн в слое околосолнечной плазмы высотой 12–20 км с электронной концентрацией в максимуме 10^3 см^{-3} .

РАДИОСПОСТЕРЕЖЕННЯ СОЛЯНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 31 ТРАВНЯ 2003 РОКУ НА ХВИЛЯХ 8.2 І 13.5 ММ, Будзиновська І. А., Цветков Л. І., Юровський Ю. Ф. — Спостереження радіозатмнення Сонця 31 травня 2003 року в НДІ КраО на стаціонарному радіотелескопі РТ-22 у міліметровому діапазоні хвиль дозволили з'ясувати, що радіояскравість корони на відстанях 350 і 700 тис. км від фотосфери на хвилях міліметрового діапазону однакова з точністю $\Delta T_K = 11$ К. На диску Сонця виявлене компактне радіоджерело з кутовим розміром $3.36''$ і ефективною температурою $T_{\text{я}} = 3.18 \cdot 10^6$ К. Над лімбом Місяця під час затемнення з'являється область підвищеної радіояскравості, виникнення якої можна пояснити рефракцією радіохвиль у прошарку білямісячної плазми висотою 12–20 км з електронною концентрацією в максимумі 10^3 см^{-3} .

RADIO OBSERVATIONS OF THE SOLAR ECLIPSE ON 31 MAY, 2003 AT WAVELENGTHS OF 8.2 AND 13.5 MM, by Budzinovskaya I. A., Tsvetkov L. I., Yurovsky Yu. F. — The observations of the radio eclipse of the Sun on 31 May, 2003 at the Crimean Astrophysical Observatory with the stationary radiotelescope RT-22 over millimeter range of waves allowed us to find out that the radio brightness of corona at distances of 350 000 and 700 000 km above the photosphere is identical with the accuracy $\Delta T_K = 11$ K. A compact radio source with an angular size of $3.36''$ and brightness tempera-

ture $T_b = 3.18 \cdot 10^6$ K is detected on the solar disc. During the eclipse an area of an increased radio brightness occurs above the limb of the Moon. Its occurrence can be explained by refraction of radio waves in a plasma layer with a height from 12 to 20 km and a maximum electronic concentration of 10^3 cm⁻³.

ВВЕДЕНИЕ

Положение Луны известно с высокой точностью, поэтому радиозатмения используются для локализации радиоисточников, измерения их угловых размеров и для определения распределения радиояркости в пределах источника, так как при этом исключаются погрешности измерений, связанные с рефракцией радиоволн в атмосфере Земли и неточностями в привязке диаграммы направленности антенны к небесным координатам. Полоса солнечного затмения 31 мая 2003 г. проходила по территории лаборатории радиоастрономии НИИ КраО, что позволило использовать для наблюдений на волнах $\lambda = 13.5$ и 8.2 мм обладающий высокой чувствительностью большой радиотелескоп РТ-22. Благодаря применению стационарной аппаратуры были получены некоторые детали процесса затмения, обычно не заметные при наблюдениях на небольших экспедиционных инструментах.

ПАРАМЕТРЫ РАДИОТЕЛЕСКОПА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Супергетеродинный радиометр радиотелескопа на волне $\lambda = 8.2$ мм регистрировал интенсивность I , а на волне $\lambda = 13.5$ мм измерялись параметры Стокса I и V [7]. Флуктуационная чувствительность радиометров при постоянной времени τ составляла около 1 К, уровень паразитного просачивания из канала I в канал V — около 0.2 %. Частота цифровых отсчетов каждого канала составляла 1 Гц. Квантование сигнала производилось на 1024 уровня (0.1 % I_{\max}). Совмещенный рупорный облучатель обеспечивал одинаковую для двух длин волн ширину диаграммы направленности, равную около $2.5'$ на уровне -3 дБ.

Система управления движением радиотелескопа позволяла сопровождать выбранную точку диска Солнца с точностью $20''$. В режиме картографирования диаграмма направленности радиотелескопа «построчно» перемещалась по выбранной площадке относительно центра диска Солнца. Ориентация площадки могла быть выбрана под любым позиционным углом относительно небесных координат.

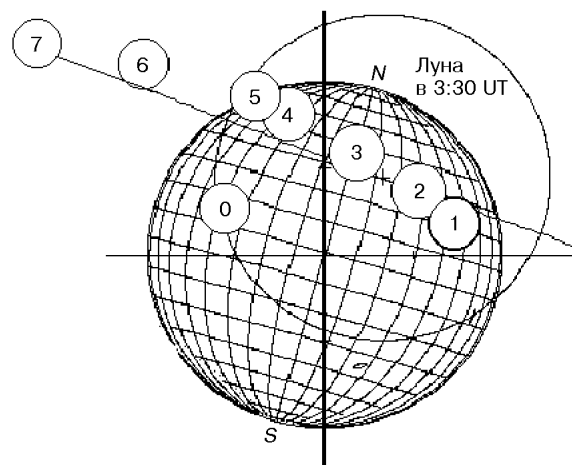


Рис. 1. Зоны, которые сопровождал радиотелескоп в течение затмения

Радиотелескоп в течение затмения поочередно сопровождал восемь зон небесной сферы, положение которых показано на рис. 1.

В течение 12 мин слежения за каждой зоной №№ 0—5 Луна открывала радиоизлучающую поверхность диска Солнца, ограниченную шириной диаграммы направленности радиотелескопа. В зонах № 6 и № 7 за Луной находились более «холодные» на мм-волнах внешние слои солнечной короны. По окончании затмения, начиная с 4:39 UT, картографировался диск Солнца. Направление сканов было параллельным прямому восхождению α с шагом по $\delta = 1'$.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ДЕНЬ ЗАТМЕНИЯ

В день затмения на диске Солнца в оптическом диапазоне по данным SOHO (http://www.sec.noaa.gov/solar_sites.html) наблюдались три группы пятен: NOAA 0365 с координатами 73W 7S; NOAA 0368, 35W 35S и NOAA 0373, 29E 7S. На восточном лимбе просматривалась еще одна восходящая активная область с координатами 90E 12N, которая в то время не была классифицирована. В 2:13 UT в NOAA 0365 произошла вспышка, сопровождавшаяся радиовсплеском, но в нашем пункте наблюдений Солнце в этот момент еще не возшло из-за горизонта.

Наши радиокарты (рис. 2) свидетельствуют о том, что над всеми перечисленными группами пятен на миллиметровых волнах наблюдались источники повышенного радиоизлучения. Солнце появилось из-за горизонта в 3:30 UT. К этому времени наиболее мощный локальный источник над группой пятен NOAA 0365 был уже полностью открыт. Поэтому было решено наблюдать области северной полусферы Солнца вдоль траектории центра Луны, где согласно данным SOHO имелись некоторые оптически видимые неоднородности.

ОТКЛИК РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-22 НА ТЕПЛОВОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЛУНЫ

Радиоизлучение Луны можно рассматривать как тепловое, лишенное какой-либо спорадической активности. Поэтому ее прохождение через диаграмму направленности (рис. 3) дает одномерный скан реальной диаграммы, если

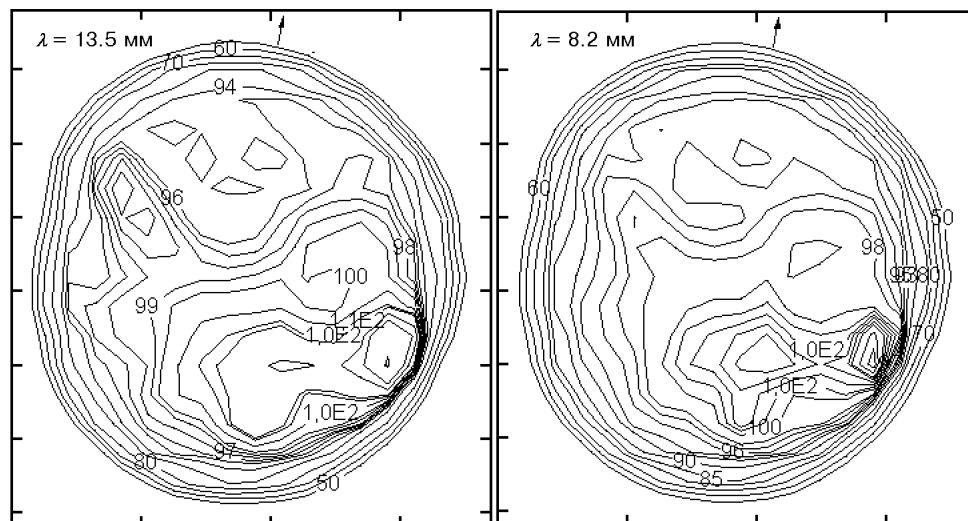


Рис. 2. Радиокарты Солнца 31.05.2003 г.

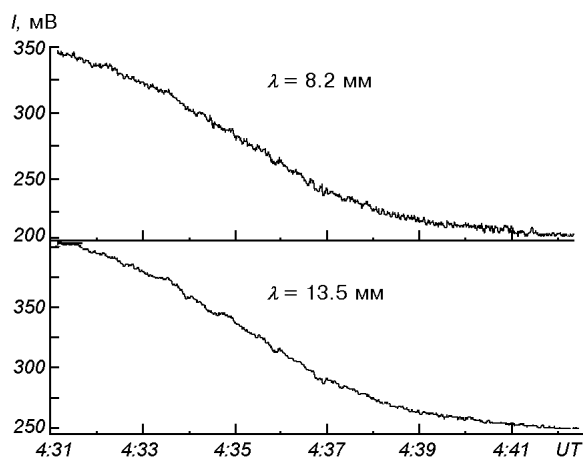


Рис. 3. Изменение интенсивности во время выхода Луны из диаграммы направленности радиотелескопа

при этом Луна проектируется на «холодное» небо. Зеркало радиотелескопа РТ-22 круглое, его облучение стандартное, симметричное, в связи с чем диаграмма также симметрична относительно своей электрической оси, и скан по диаграмме симметричен относительно своего центра. Следовательно, если скан зеркально развернуть справа налево и затем сверху вниз, то полученная зеркальная кривая должна совпадать с исходным (прямым) сканом. Поскольку открытие равномерно «холодного» неба в угловых координатах противофазно, но идентично открытию равномерно яркого фона «спокойного» Солнца, то совмещенную кривую сканов неба в соответствующем масштабе можно использовать для выделения локальных источников на диске Солнца.

Запись интенсивности на обеих волнах наблюдений была сделана в интервале 4:31—4:42 UT непосредственно после окончания затмения. Радиотелескоп сопровождал область неба № 7 на расстоянии приблизительно $R_{\phi} = 700$ тыс. км от лимба Солнца, где по принятым представлениям радиоизлучение короны на миллиметровых волнах несущественно. Эта область в начале интервала наблюдений была закрыта диском Луны, а затем происходило постепенное открытие «холодного» неба.

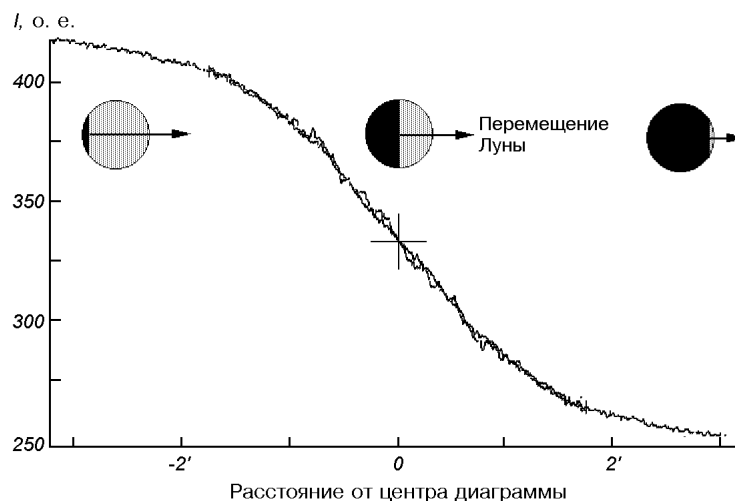


Рис. 4. Запись выхода Луны из диаграммы, совмещенная с зеркальным отображением этой же записи (область № 7, $\lambda = 13$ мм)

Усиление радиометров было увеличено в 33 раза по сравнению с усилением при наблюдениях Солнца, поэтому на записях Луны стали заметны собственные шумы аппаратуры. Результат совмещения записи с ее двойным зеркальным отображением показан на рис. 4. Можно отметить довольно близкое соответствие прямой и зеркальной кривых. Следовательно, за диском Луны находился фон действительно равномерной яркости, а влияющие кривизны лунного лимба не превосходили погрешностей наблюдения.

Для использования этой кривой в качестве базовой при выявлении локальных источников, запись Луны с целью уменьшения шумов была усреднена скользящим средним длительностью 5 с. Сглаженная кривая показана на рис. 5. В дальнейшем она рассматривалась как кривая открытия равномерно яркого радиоизлучения спокойного Солнца, на фоне которого могло происходить открытие локальных источников.

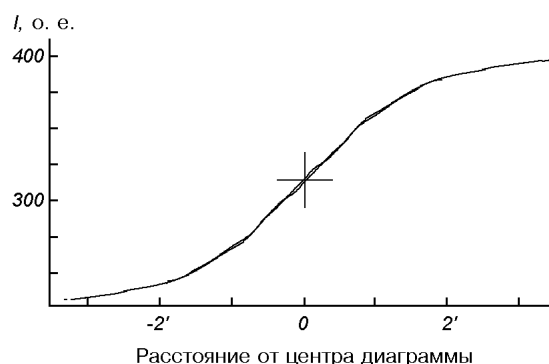
ОЦЕНКА РАДИОЯРКОСТИ КОРОНЫ

В оптическом диапазоне причиной свечения короны является рассеяние фотосферного излучения на свободных электронах в верхних частях солнечной атмосферы [8, с. 54]. Яркость короны падает по мере удаления от края Солнца. Можно предположить, что подобный механизм свечения короны характерен и для миллиметровых волн.

Вблизи Солнца Луна открывает область, температура которой может отличаться от температуры неба вдали от Солнца. После окончания оптической фазы затмения радиотелескоп с 4:17 до 4:28 UT сопровождал область № 6, расположенную на расстоянии 350 тыс. км от лимба Солнца. Затем с 4:31 по 4:42 UT записывалось радиоизлучение зоны № 7, удаленной на 700 тыс. км от лимба Солнца. В обоих случаях в начале интервала наблюдений зоны были закрыты диском Луны, перемещение которой по небосводу открывало находившиеся за ней области неба. Если яркостная температура этих областей различна, то скорость изменения наблюдаемого потока должна быть разной.

Изменение потока от зоны № 6 за 4 мин в районе центра диаграммы направленности составило приблизительно 90 ± 5 о. е. (рис. 6). Подобная оценка для зоны № 7 дает фактически такое же значение. Принимая радиояркость Луны равной $T = 205$ К [6, с. 177], находим, что радиояркость короны на расстояниях 350 и 700 тыс. км на волнах миллиметрового диапазона одинакова с точностью $\Delta T_K = 5/90 \cdot 205 = 11$ К, определяемой ошибками измерений.

Рис. 5. Сглаженная запись открытия равномерно яркого фона



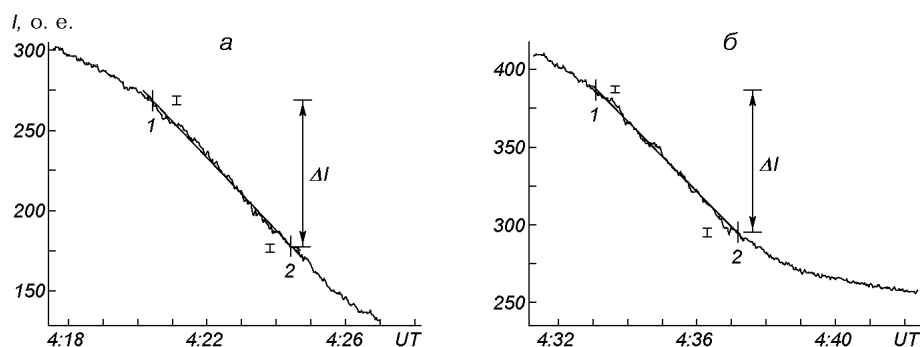


Рис. 6. Изменение потока радиоизлучения во время открытия зон № 6 (а) и № 7 (б), расположенных на расстоянии 350 и 700 тыс. км от лимба Солнца

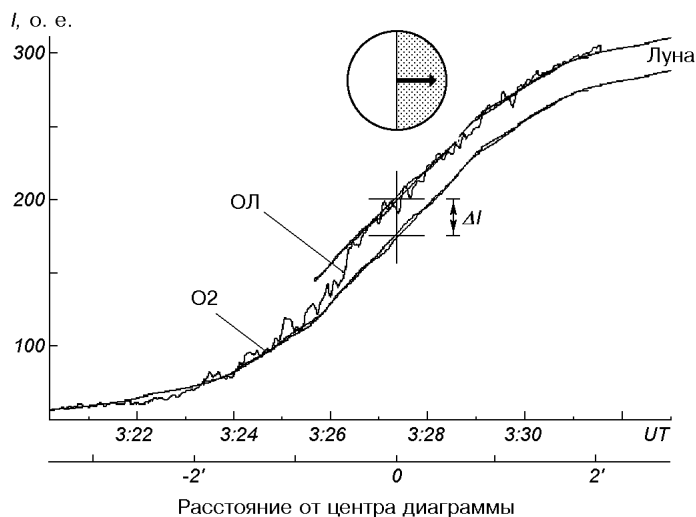


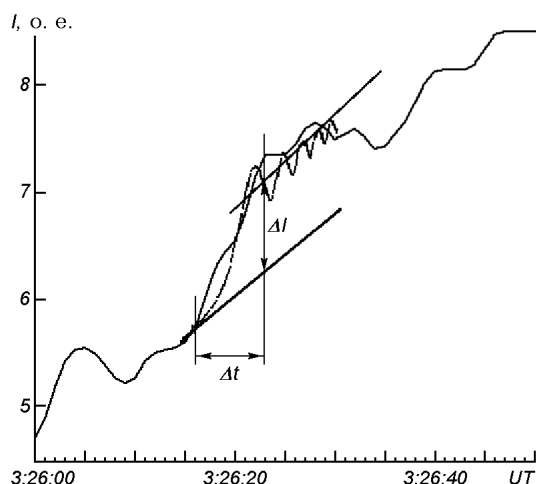
Рис. 7. Открытие компактного источника в области № 2

КОМПАКТНЫЙ РАДИОИСТОЧНИК

При открытии зоны № 2 на записи в 3:26:15 UT зафиксировано резкое возрастание потока, свидетельствующее об открытии в этот момент компактного радиоисточника (рис. 7). Для его выделения на запись изменения потока Солнца была наложена в соответствующем масштабе кривая открытия диаграммы направленности радиотелескопа, полученная по результатам наблюдения Луны. Возрастание ΔI потока составило приблизительно 10 % от потока спокойного Солнца, или около 1.3 СЕП ($1 \text{ СЕП} = 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$).

Для вычисления яркостной температуры источника определим его угловые размеры по геометрическим обстоятельствам затмения. Расстояние до Луны $z = 384$ тыс. км составляет около 0.0025 от расстояния до Солнца. Поэтому ширина зон Френеля на орбите Луны и на поверхности Земли приблизительно одинакова. По этой же причине скорость лунной тени на Земле также приблизительно равна скорости Луны относительно Солнца. По эфемеридам затмения Луна перемещалась на величину своего диаметра 3476 км за 3382 с. Отсюда скорость лунной тени относительно наблюдателя $V_{\text{л}} = 1030$ м/с. Ширина дифракционной кривой на поверхности Земли от уровня 0.25 до конца первой зоны Френеля равна $\Delta A = \sqrt{z\lambda} = 2234$ м [4].

Рис. 8. Сравнение записи открытия компактного источника в области № 2 с расчетной дифракционной кривой



Это расстояние лунная тень проходит за время $2234/1030 = 2.17$ с. Полное время открытия точечного источника будет приблизительно вдвое больше, так как надо добавить время изменения сигнала от 0 до уровня 0.25 в области «полной тени». По этим оценкам можно ожидать, что время открытия точечного источника должно составлять около 5 с.

Точную продолжительность открытия реального источника определить затруднительно из-за наличия флуктуаций на записи. Однако сравнение записи с теоретической кривой дифракции (рис. 8) показывает, что размеры источника были близки к «точечным», но дифракционные лепестки на записи отчетливо не выявляются. Следовательно, либо источник был не точечным, либо край Луны был недостаточно ровным для этой длины волны. Известно, что край экрана можно считать ровным, если его неоднородности меньше ширины первой зоны Френеля [4]. Лунные горы достигают высоты 1500 м, т. е. в рассматриваемом случае неровности экрана сравнимы с шириной первой зоны, а это приводит к сглаживанию максимумов и минимумов дифракционных полос. Поэтому для определения протяженности радиоисточника будем пользоваться геометрическими представлениями.

Источник открылся за 7 с, в течение которых край Луны переместился на $3.36''$. Так как имеется только одномерный скан по источнику, то для определенности будем полагать, что источник обладал круговой симметрией. Тогда его телесный угол равен $\Omega_{\text{и}} = 2 \cdot 10^{-10}$ стер. Отсюда находим яркостную температуру источника:

$$T_{\text{я}} = \frac{S\lambda^2}{2k\Omega_{\text{и}}} = 3.18 \cdot 10^6 \text{ К.}$$

Так как найденное значение превосходит кинетическую температуру короны, то можно заключить, что источник имел нетепловую природу. По-видимому, механизм его излучения был когерентным.

РЕФРАКЦИЯ РАДИОВОЛН В ОКОЛОЛУННОЙ ПЛАЗМЕ

Корона Солнца, солнечный ветер, плазменная оболочка Земли и Луны связаны между собой совокупностью физических процессов, обеспечивающих передачу электромагнитной и кинетической энергии от Солнца к Земле. Во время затмения радиоизлучение Солнца проходит вблизи поверхности Луны и возникающие при этом вариации потока позволяют выяс-

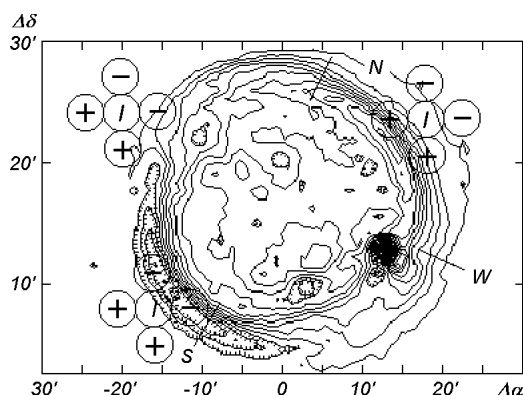


Рис. 9. Радиокарта поляризованного излучения Солнца 31.05.2003 г. ($\lambda = 13.5$ мм)

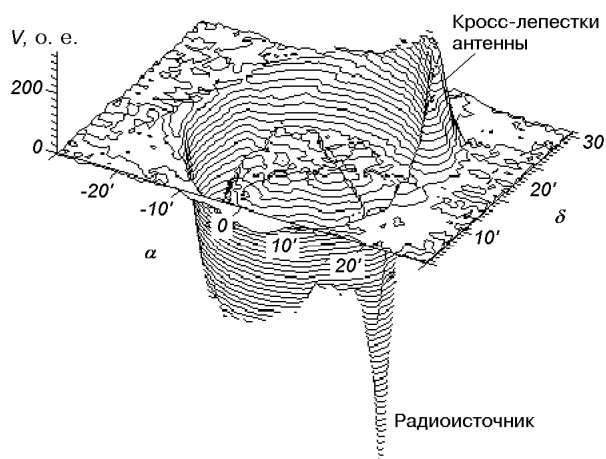


Рис. 10. Радиокарта поляризованного излучения в виде трехмерной поверхности

нить параметры околосолнечной плазмы. На волне 13.5 мм кроме интенсивности записывался также сигнал круговой поляризации (параметр Стокса V — разность право- и левополяризованного излучения). Известно, что параболическая антенна имеет кроссполяризационные лепестки [1]. Лепестки перекрестной поляризации расположены в плоскостях, образующих угол 45° с плоскостью E основного лепестка. Расположение лепестков относительно траектории Луны в течение наблюдения затмения 31.05.2003 г. показано на рис. 9.

Кроссполяризационные лепестки вносят некоторый вклад в измеренное распределение поляризованного излучения по диску Солнца. На радиокarte появляются зоны левой и правой круговой поляризации, отсутствующие в излучении Солнца. Например, при сканировании вдоль суточной параллели в утренние часы (4:30 UT) 31 мая 2003 г. (рис. 9) положение кросс-лепестков было таким, что в квадранте NW неполяризованная интенсивность попадала сразу в два кросс-лепестка, преобразующих излучение в правополяризованное. В диаметрально противоположной стороне диска край Солнца проходил через левополяризованные кросс-лепестки, и на радиокarte появилась зона левополяризованного излучения противоположной полярности. Это нагляднее видно на трехмерном изображении карты, приведенном на рис. 10.

Из-за различного положения лепестков в пространстве Луна во время затмения открывала их поочередно (рис. 11). Открытие правополяризованных лепестков должно было вызвать положительный сигнал P_+ на выходе поляризационного канала. Открытие левополяризованных лепестков при

дальнейшем перемещении Луны должно было привести к компенсации положительного сигнала отрицательным сигналом P_- . Поэтому в результате открытия радиояркого фона, расположенного за Луной, на выходе канала V следовало ожидать появления одногорбой кривой $V = P_+ - P_-$.

Однако изменения, происходившие во время затмения в канале поляризации (рис. 12), оказались несколько иными. Появление циркулярно поляризованного сигнала регистрировалось лишь при открытии радиоизлучающих зон Солнца № 1—4, в то время как выход Луны из диаграммы направленности и открытие «холодного» неба не сопровождалось изменениями поляризации (кривые № 6 и № 7). Отсутствовал циркулярно поляризованный сигнал и из направления максимума основной лепестка диаграммы направленности (координата 0 на рис. 12). При наблюдениях Луны и Солнца усиление радиометра было разным. Поэтому для возможности сравне-

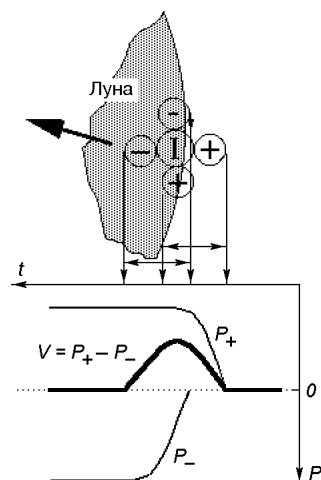


Рис. 11. Эскиз, поясняющий образование одногорбой кривой в канале поляризации при открытии радиояркого фона, расположенного за Луной

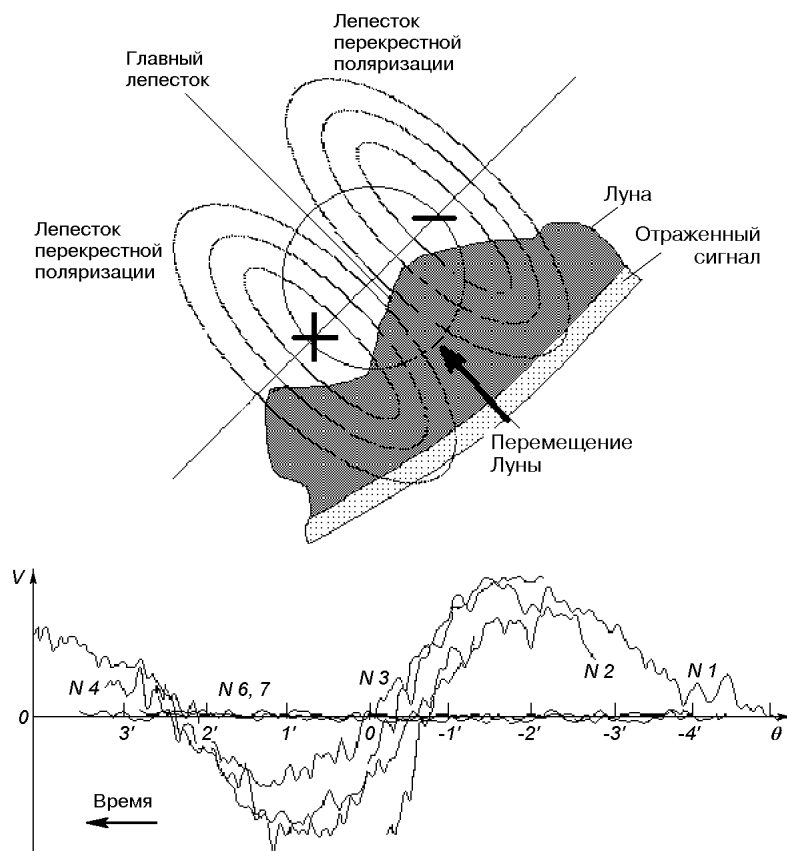


Рис. 12. Изменения в канале круговой поляризации во время затмения

ния кривые на рис. 12 приведены к одному масштабу, т. е. полное приращение антенной температуры при открытии области Солнца принималось за 100 %, и полное изменение антенной температуры при выходе Луны из диаграммы направленности также принималось за 100 %. Записи были предварительно сглажены для уменьшения шумов скользящим средним с эффективным окном 10 с, величина которого существенно не влияла на угловую разрешающую способность. Основное отличие наблюдавшихся кривых от ожидаемых заключалось в том, что записи поляризационного канала оказались двугорбыми и знакопеременными.

Для выяснения причины образования такого характера наблюдаемых изменений поляризации на основе экспериментальной радиокарты был составлен эмпирический эскиз расположения кроссполяризационных лепестков относительно диска Солнца, показанный на рис. 12. В результате выяснилось, что двугорбая знакопеременная кривая может образоваться в том случае, если кросс лепестки пересекает поярчание лимбовой области Луны.

В качестве одной из причин образования поярчания рассмотрим отражение солнечного излучения от поверхности Луны. На миллиметровых волнах поверхность Луны не является идеально гладкой, и в сторону наблюдателя излучение будут отражать только расположенные благоприятным образом участки лунного рельефа. Коэффициент отражения при скользящем падении волны на границу раздела близок к единице [5], поэтому яркостная температура отражающих участков лунной поверхности должна быть сравнима с радиояркостью Солнца. Но в таком случае отраженный сигнал лимбовой области Луны будет сливаться с прилегающей радиояркой поверхностью Солнца и окажется трудно различимым на записи. Следовательно, отражением от диэлектрической поверхности Луны невозможно объяснить наблюдавшийся характер изменений поляризации во время затмения.

Рассмотрим другую возможную причину образования лимбового поярчания. На волнах метрового диапазона радиодиаметр Луны больше оптического [10]. При заходе космического аппарата «Луна-19» за лимб Луны наблюдалось изменение фазы излучаемых им когерентных сигналов дециметрового диапазона [3]. Эти факты свидетельствуют о наличии над поверхностью Луны слоя ионизованного газа. Рефракция радиоволн в этом слое должна приводить к образованию лимбового поярчания.

Пусть над поверхностью Луны существует некоторый слой ионизованного газа ограниченной толщины с убывающей наружу электронной концентрацией (рис. 13). Тогда луч 1, проходящий выше слоя (рис. 13), попадет в точку наблюдений непосредственно. Луч 2, проходящий через середину слоя, за счет рефракции также попадет в точку наблюдений.

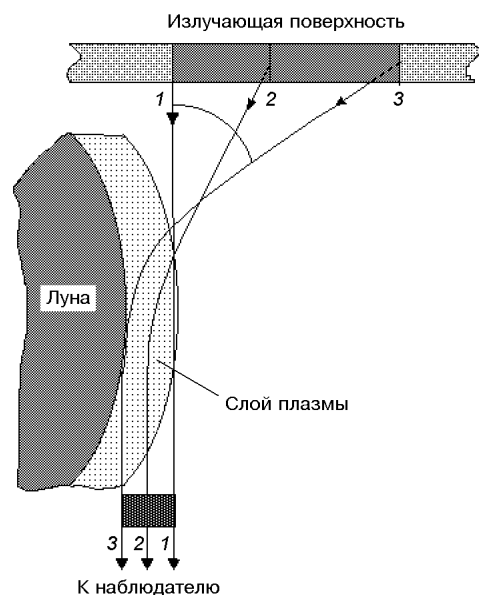


Рис. 13. Эскиз, поясняющий образование радиояркой области на лимбе Луны за счет рефракции радиоволн в околосолнечной плазме

Луч 3, прошедший через область максимальной электронной концентрации и испытавший наибольшее преломление, также должен попасть в точку наблюдений. Таким образом, излучение, выходящее из источника в широком телесном угле, будет сконцентрировано в более узком телесном угле, в результате чего радиояркость видимой области рефрагированного излучения возрастет по сравнению с радиояркостью лежащей за Луной исходной области излучения. Перемещение по лепесткам антенны этой радиояркой окололимбовой области способно вызвать наблюдавшиеся во время затмения вариации поляризованного сигнала. Сначала область попадает в правополярирующий (положительный) лепесток, затем этот сигнал компенсируется сигналом левополяризирующего лепестка, который на некоторое время становится больше из-за выхода поярчания из правополяризованного лепестка, и наконец, поярчание вообще выходит за пределы диаграммы направленности. Таким образом возникает двугорбый знакопеременный отклик в канале поляризации.

Связь электронной концентрации в слое с углом рефракции определяется соотношением [2]

$$N_e = 1.24 \cdot 10^4 (f \sin \theta)^2, \quad (1)$$

где f — наблюдаемая частота (МГц), θ — угол падения волны на слой. Однако из наших наблюдений не удастся определить с необходимой точностью угол падения из-за слишком большой ширины кросс-поляризационных лепестков. Поэтому воспользуемся тем обстоятельством, что рефракция в прилунном слое плазмы приводит к аномалиям на кривых затмения локальных источников (ЛИ). На записях затмений 20.05.1966, 07.03.1970 и 24.12.1973 гг. на волне $\lambda = 10$ см из 15 кривых покрытия ЛИ в семи случаях наблюдалось уменьшение интенсивности в начале и максимум в конце открытия величиной около 5 % от потока самого ЛИ (рис. 14). На основе этих данных по формуле (1) можно найти, что $N_e \approx 10^3 \text{ см}^{-3}$, а высота ионизированного слоя — около 12 км [9]. Эти значения согласуются с измерениями параметров окололунной плазмы с искусственных спутников Луны [3].

Таким образом, вариации сигнала в канале поляризации во время солнечного затмения 31 мая 2003 года свидетельствуют о том, что над лимбом Луны возникает область повышенной радиояркости.

Повышение радиояркости можно объяснить рефракцией радиоволн в слое окололунной плазмы высотой 12—20 км с электронной концентрацией в максимуме порядка 10^3 см^{-3} . Влияние слоя плазмы на распространение радиоволн прослеживается до длины волны $\lambda = 13.5$ мм.

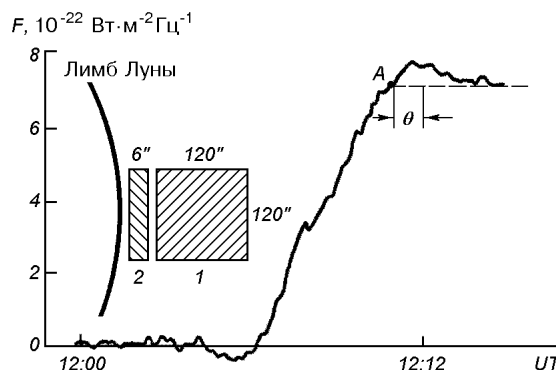


Рис. 14. Отражение локального источника от лимба Луны на волне $\lambda = 10$ см (22.09.1968 г.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения радиозатмения Солнца 31 мая 2003 г. на стационарном радиотелескопе РТ-22 в миллиметровом диапазоне волн позволили выявить следующие свойства радиоизлучения.

1. Радиояркость короны на расстояниях 350 и 700 тыс. км от фотосферы на волнах миллиметрового диапазона одинакова с точностью $\Delta T_K = 11$ К.

2. На диске Солнца обнаружен компактный радиоисточник с угловым размером $3.36''$ и яркостной температурой $T_y = 3.18 \cdot 10^6$ К.

3. Над лимбом Луны во время затмения возникает область повышенной радиояркости, появление которой можно объяснить рефракцией радиоволн в слое окололунной плазмы высотой 12—20 км с электронной концентрацией в максимуме 10^3 см⁻³.

1. *Айзенберг Г. З.* Антенны ультракоротких волн. — М.: Связьиздат, 1957.—699 с.
2. *Альперт Я. Л., Гинзбург В. Л., Фейнберг Е. Л.* Распространение радиоволн. — М., ГИТТЛ, 1953.
3. *Васильев М. Б., Виноградов В. А., Вышков А. С. и др.* Радиопросвечивание окололунного пространства при помощи станции «Луна-19» // Космич. исслед.—1974.—12, вып. 1.—С. 115—121.
4. *Горелик Г. С.* Колебания и волны. М.: ГИФМЛ, 1959.—551 с.
5. *Калитеевский Н. И.* Волновая оптика. — М: Высш. шк., 1978.—383 с.
6. *Кузьмин А. Д., Саломонович А. Е.* Радиоастрономические методы измерений параметров антенн. — М.: Сов. радио, 1964.—184 с.
7. *Моисеев И. Г., Нестеров Н. С., Никитин П. С., Стрелка И. Д.* Всплески радиоизлучения и магнитные поля в активной области по наблюдениям на миллиметровых волнах // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1992.—85.—С. 35—44.
8. *Шкловский И. С.* Физика солнечной короны. — М: ГИФМЛ, 1962.—516 с.
9. *Юровский Ю. Ф., Альварес О.* Дифракция и отражение радиоволн от лимба Луны во время солнечных затмений // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1977.—57.—С. 169—176.
10. *Hazard C., Mackey M. B., Shimmins A. J.* Investigation of the radio source 3C 273 by the method of lunar occultation analysis // Nature.—1963.—197, N 4872.—P. 1037.

Поступила в редакцию 08.11.04