

А.А. Черемисин, Л.В. Границкий, В.М. Мясников, Н.В. Ветчинкин, В.В. Слабко

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ ТОЧКИ ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АСТРОН» ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ОСВЕЩЕННЫХ СОЛНЦЕМ ДИСКОВ ЗЕМЛИ И ЛУНЫ

По данным особым образом организованных наблюдений освещенных Солнцем дисков Земли и Луны в результате решения обратных задач восстановлена двумерная эффективная функция рассеяния точки для ультрафиолетового телескопа, установленного на космической астрофизической станции «Астрон». Диапазон изменения восстановленных значений функции порядка 10^{13} . Выявлено несколько характерных областей изменения функции, обусловленных особенностями конструкции телескопа. Результаты использованы при интерпретации данных исследований верхней атмосферы Земли.

Детальные исследования аппаратных функций, характеризующих пространственную реакцию оптических систем, позволяют решать вопросы, связанные с качеством инструментов, с их пространственным разрешением, с уровнем фона рассеянного света, что дает дополнительные возможности для редукации и интерпретации данных дистанционного зондирования [1, 2]. Уровень фона паразитного рассеянного света является существенным фактором при проведении исследований из космоса [3], в частности очень важен при исследованиях верхней атмосферы Земли в условиях освещения инструмента такими источниками излучения, как освещенный диск Земли и Солнце.

В лабораторных условиях измерение рассеяния порядка 10^{-4} для образцов материалов или отдельных оптических элементов не является проблемой, тогда как при измерении уровней рассеяния порядка 10^{-6} – 10^{-7} экспериментальные трудности становятся очень серьезными [3]. Исследование рассеяния указанных выше порядков в действующих телескопических системах, тем более больших, становится сложной проблемой. Тем не менее при исследовании из космоса появляются новые возможности для решения такого рода задач.

23 марта 1983 г. была выведена на высокоапогейную орбиту (200 тыс. км) космическая астрофизическая станция (АС) «Астрон». В 1983–1985 гг. с помощью ультрафиолетового телескопа АС [4–6] системы Ричи–Кретьена с диаметром главного зеркала 80 см, эквивалентным фокусным расстоянием 786 см и сопряженного со спектрометром системы Роуланда была проведена серия экспериментов по исследованию верхней атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне длин волн.

В данной статье представлена двумерная функция рассеяния точки (ФРТ) телескопа АС «Астрон», полученная в результате решения обратных задач по данным наблюдений освещенных Солнцем дисков Земли и Луны. Результаты настоящей работы были

использованы при анализе данных исследований атмосферы Земли с АС «Астрон». Детальное исследование ФРТ для телескопа АС позволило исключить возможность влияния рассеянного в телескопе света на результаты дистанционного зондирования атмосферы. Рассеянный свет является причиной сложного немоного характера временных зависимостей сигналов с ФЭУ в каналах спектрометра при удалении луча зрения от края освещенного Солнцем диска Земли, что существенно искажает, например, результаты дистанционного зондирования околоземного космического пространства оптическими методами [7].

Существенным моментом является то, что экспериментальное определение ФРТ позволило провести детальный расчет эффектов сглаживания для наблюдаемых высотных зависимостей спектральной яркости атмосферы на лимбе Земли при касательном зондировании атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне с борта АС [8]. Наиболее важным результатом в аспекте использования ФРТ является вывод о небольшой толщине антропогенного аэрозольного слоя, возникающего на высоте примерно 100 км после пуска таких космических аппаратов, как МТКК «Спейс Шаттл» [9]. Этот вывод был сделан на основе прямого сопоставления контура функции рассеяния линии, рассчитанной на основе ФРТ, с наблюдаемой кривой спектральной яркости для аэрозольного слоя.

Эксперименты по исследованию рассеянного света от освещенного Солнцем диска Земли были проведены 9 июля 1983 г. при движении аппарата от восходящего узла орбиты к апогею, а 12 июля – при движении от апогея к нисходящему узлу. Был использован режим активной ориентации аппарата. Первоначально Солнце захватывалось сегментным датчиком солнечного прибора, в результате чего фиксировалась в пространстве одна из осей аппарата. Затем с помощью двигателей малой тяги аппарат закручивался вокруг направления на Солнце с периодом обращения 705 с. После этого аппарату при-

давался импульс, вызывающий прецессию оси вращения. За счет вращения вокруг своей оси и за счет медленного углового смещения оси вращения аппарата происходило сканирование 12"-го поля зрения телескопа по интересующей области пространства. По баллистическим данным и данным по ориентации аппарата была осуществлена привязка результатов наблюдений (показаний ФЭУ) к системе координат, жестко связанной с аппаратом.

Двумерная картина распределения относительной интенсивности сигнала I/I_0 , где I_0 – средняя интенсивность сигнала при наблюдении освещенного диска Земли, полученная 9 июля 1983 г., представлена на рис. 1. Здесь угловые координаты θ и φ являются координатами центра наблюдаемого диска Земли относительно аппаратной системы координат. Ориентация осей $\{e_\theta, e_\varphi, e_\gamma\}$ этой системы по отношению к кососрезанной бленде телескопа схематично изображена в правом верхнем углу рисунка. Орт e_γ направлен по оптической оси телескопа – по его лучу зрения. Угловые координаты θ, φ соответствуют переходу в сферическую систему координат с полюсами, расположенными на оси e_γ ; θ – широтный угол; φ – азимутальный угол, отсчитываемый от оси e_γ .

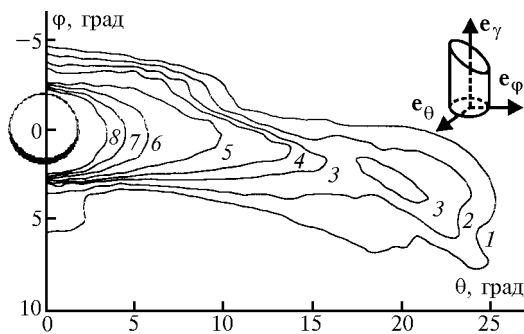


Рис. 1. Двумерная картина распределения интенсивности сигнала I/I_0 при наблюдении с АС «Астрон» освещенного Солнцем диска Земли. Цифрами обозначены изолинии I/I_0 : $1,7 \cdot 10^{-6}$ (1), $4,6 \cdot 10^{-6}$ (2), $1,1 \cdot 10^{-5}$ (3), $1,9 \cdot 10^{-5}$ (4), $4,2 \cdot 10^{-5}$ (5), $1,3 \cdot 10^{-4}$ (6), $2,1 \cdot 10^{-4}$ (7), $4,2 \cdot 10^{-4}$ (8). Линия вблизи границы освещенной части диска Земли – $1,6 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 1 изображен также наблюдаемый диск Земли. Угловой диаметр – $4,2^\circ$. Картина изолиний при $\theta < 0$ симметрично повторяет картину при $\theta > 0$, поэтому она на рисунке не приведена. Эксперимент длился 2 ч 30 мин. За это время было сделано 13 полных оборотов аппарата вокруг направления на Солнце. Сканирование осуществлялось с шагом $0,2^\circ$ по θ и со смещением по φ примерно на 1° для двух последовательных сканов. Было получено примерно 10^3 точек, для которых интенсивность сигнала превышала фоновую. Среднее расстояние до Земли было 177 тыс. км. Из величины исходного сигнала предварительно был вычтен уровень фона, равный 66 импульс/с. Представленная на рисунке граничная изолиния 1 соответствует отношению сигнал-фон, равному единице. Картина распределения интенсивно-

сти сигнала, полученная 12 июля 1983 г. с расстояния от Земли 107 тыс. км, подобна представленной на рис. 1, с отличающимися угловыми размерами диска Земли – $6,8^\circ$.

Симметрия наблюдаемой картины связана с конструктивной симметрией телескопа (включая конструкцию входной «щели» спектрометра) относительно плоскости $\theta = 0$, а также с особенностью ориентации аппарата относительно Солнца. Важно отметить, что приведенная на рис. 1 пространственная картина интенсивности сигнала фактически симметрична относительно плоскости Солнце – центр Земли – аппарат, тогда как углы между этой плоскостью и плоскостями эклиптики и экватора были равными 51 и $60,5^\circ$ соответственно.

Интенсивность сигнала $I(\Omega')$ можно связать с распределением яркости $B(\theta, \varphi)$ для источника излучения, если ввести аппаратную функцию (эффективную функцию рассеяния точки) $A(\theta, \varphi)$ следующим образом:

$$I(\Omega') = k \int_{\Omega'} B(\theta, \varphi) A(\theta, \varphi) d\Omega, \quad (1)$$

где k – калибровочный коэффициент; θ, φ – координаты точки источника излучения в аппаратной системе координат; Ω' – область источника излучения, по которой ведется интегрирование; $d\Omega = \cos\theta d\theta d\varphi$; $\theta, \varphi \in \Omega'$. $I(\Omega')$ выражает функциональную зависимость интенсивности сигнала от положения протяженного источника излучения.

Уравнение (1) можно упростить, если локальную яркость источника $B(\theta, \varphi)$ приближенно заменить на ее среднюю величину B_0 , а условие нормировки для $A(\theta, \varphi)$ выбрать следующим образом:

$$\int_{4\pi} A(\theta, \varphi) d\Omega = 1. \quad (2)$$

Поскольку основной вклад в интеграл в выражении (2) вносят точки в окрестности поля зрения 12"-диаграммы, то в соответствии с (1) можно с хорошей точностью положить: $kB_0 = I_0$, где I_0 – средняя интенсивность сигнала, регистрируемого при непосредственном наблюдении точек источника излучения, например освещенной части диска Земли. Тогда уравнение (1) можно привести к виду

$$\frac{I(\Omega')}{I_0} = \int_{\Omega'} A(\theta, \varphi) d\Omega. \quad (3)$$

Функция рассеяния точки телескопа $a(\theta, \varphi | \theta'', \varphi'')$ [1] характеризует, по определению, плотность излучения в точке (θ'', φ'') в фокальной плоскости телескопа как реакцию на действие точечного источника излучения с координатами (θ, φ) . Экспериментальное определение ФРТ можно свести

к измерению потока излучения ΔW , падающего на заданный элемент площади ΔS в фокальной плоскости. Конечная величина ΔS определяет соответствующий масштаб усреднения для ФРТ. В данном случае $A(\theta, \varphi)$ характеризует поток излучения, прошедший через 12"-ю входную диафрагму спектрометра, площадь которой 0,16 мм². Теоретически ФРТ определяется через излучение, падающее на элемент поверхности ΔS из верхней полусферы в пределах 2π ср. Экспериментально всегда есть некоторые ограничения на диапазон углов для падающего излучения. В данном случае ограничение по углам связано со светосилой спектрометра. $A(\theta, \varphi)$ характеризует поток излучения, падающего в пределах входного апертурного угла спектрометра. Это излучение отражается дифракционной решеткой спектрометра и дает вклад в сигнал, в частности в нулевом порядке спектра. Так как относительные отверстия питающей оптики и дифракционной решетки согласованы между собой (1:10), то для источников излучения, координаты которых находятся в области поля зрения 12"-й диафрагмы или вблизи от него, функция $A(\theta, \varphi)$ практически соответствует полному, падающему на ΔS из верхней полусферы потоку излучения от точечного источника. При отклонении источника, по крайней мере, более чем на 1 угл. мин от оптической оси диафрагмы должна наблюдаться пропорциональность между $A(\theta, \varphi)$ и $a(\theta, \varphi | 0, 0)$.

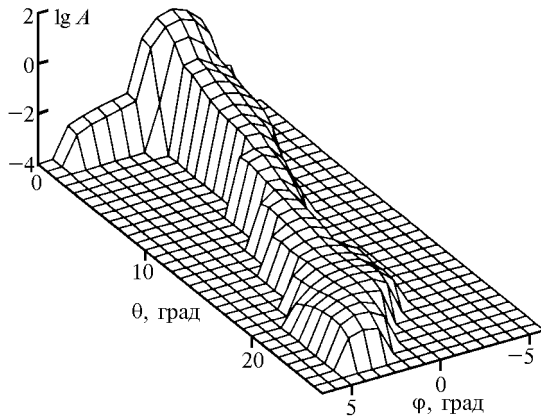


Рис. 2. Эффективная функция рассеяния точки для телескопа АС «Астрон» в области $0,3^\circ < r < 26^\circ$, полученная по данным наблюдения освещенного диска Земли

При использовании двумерного массива данных, представленного на рис. 1, нами в результате решения интегрального уравнения (3) восстановлены значения неизвестной двумерной функции $A(\theta, \varphi)$. Результаты приведены на рис. 2. Для удобства представления данных в логарифмическом масштабе значения функции вблизи нуля заменены на величину 10^{-4} . Ненулевые значения функции меняются от 10^{-4} до 5. В силу некорректности задачи решение интегрального уравнения (3) было получено в рамках

метода регуляризации по Тихонову [10]. Использован известный стабилизатор Тихонова второго порядка. Значения $A(\theta, \varphi)$ вычислялись в узлах двумерной сетки, заданной в области $0 < \theta < 28^\circ$, $-7^\circ < \varphi < 9^\circ$ ($0,3^\circ < r < 28^\circ$, $r = \sqrt{\theta^2 + \varphi^2}$). Вне этой области полагалось $A(\theta, \varphi) = 0$. Симметрия задачи учитывалась условием $A(\theta, \varphi) = A(-\theta, \varphi)$. При составлении функционала использовались весовые множители, пропорциональные (I/I_0) . Параметр регуляризации был согласован с ошибкой экспериментальных данных на основе критерия невязки. Относительная погрешность определения I/I_0 оценивалась величиной от 3 до 10%.

Основной вклад в погрешность, согласно оценкам, внесла неопределенность задания координат позиций наблюдения. Учитывалась также погрешность счета фотонов. При расчете интегралов учитывалась точная форма видимого освещенного диска Земли (см. рис. 1). Погрешность расчета интегралов не превышала 2%. В целом функция $A(\theta, \varphi)$ характеризуется наличием особенности – значения ее резко возрастают при значениях r , стремящихся к нулю. Вследствие этого, а также по причине ограничений на ресурсы вычислительной машины в различных подобластях определения сеточной функции использовались сетки с различным шагом. Так, в подобласти $r < 2,5^\circ$ шаг сетки был равен шагу скана $\Delta\theta = \Delta\varphi = 0,2^\circ$, тогда как при $r > 2,5^\circ$ оказалось возможным ограничиться сеткой с шагом в 1° . В результате наблюдается хорошее соответствие экспериментальных и рассчитанных по восстановленным значениям аппаратной функции $A(\theta, \varphi)$ зависимостей интенсивности сигнала I/I_0 . Следует еще раз отметить, что временные зависимости интенсивности сигнала имеют сложный и немонотонный характер при регистрации рассеянного света [7].

Исследования поведения функции $A(\theta, \varphi)$ в области $r < 0,3^\circ$ основывались на использовании данных сканирования диска Луны, полученных 15 июля 1983 г. Во время проведения эксперимента направление аппаратных осей телескопа было фиксировано относительно звезд, сам аппарат проходил апогей орбиты и оставался сравнительно мало подвижным. Перемещение линии визирования телескопа по диску Луны фактически на 90 % происходило за счет собственного движения Луны по орбите вокруг Земли. При этом вектор скорости Луны был почти перпендикулярен линии визирования, угол между ними был равен $73,6^\circ$. Расстояние от аппарата до Земли было 207 тыс. км, до Луны – 516 тыс. км. Траектория луча зрения по видимому диску Луны схематично изображена на рис. 3. Видимая с аппарата фаза Луны была равна 3/4. Угловой диаметр Луны – $0,38^\circ$. Траектория прошла практически по горизонтальной линии симметрии, делящей диск на две части. Угол между траекторией и линией симметрии приблизительно равен 2° . Траектория пересекла линию лунного терминатора южнее залива Зноя моря Островов.

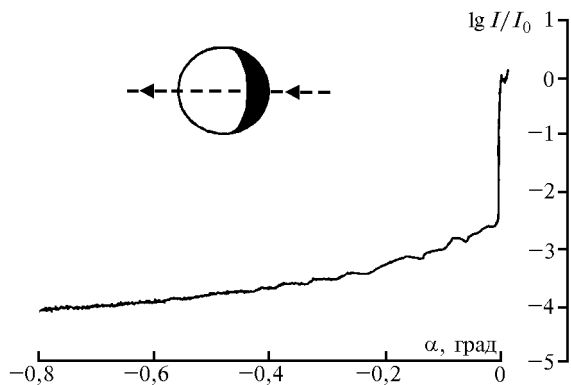


Рис. 3. Результаты наблюдения с АС «Астрон» освещенного Солнцем диска Луны

Экспериментальная зависимость интенсивности сигнала I/I_0 от расстояния α в угловых единицах между лучом зрения телескопа и точкой пересечения траектории с лунным терминатором представлена на рис. 3. Скачок интенсивности на кривой указывает на проход поля зрения телескопа через терминатор. В качестве I_0 принято значение интенсивности сигнала, усредненное по участку кривой рис. 3, соответствующему освещенной части поверхности Луны. Так как сигнал I , согласно (1), определяется локальной яркостью, то это позволяет при восстановлении функции A в пределах поля зрения, согласно уравнению (3), удовлетворить условиям нормировки (2). Указанное усредненное значение меньше среднего значения для всех точек траектории, соответствующих освещенной части Луны, примерно в 1,5 раза. Сигнал отсчитывался каждые 4,9 с, при этом шаг по углу равнялся 2,2 угл. с или 5,5 км по диску Луны. Общее количество точек на кривой рис. 3 примерно 1300. Из экспериментальных значений интенсивности вычтены фоновые значения. Вклад пепельного света в I/I_0 оценивался величиной меньше 10^{-4} и при движении по неосвещенной части Луны ($0,1^\circ < \alpha < 0$) минимум на порядок был меньше величины самого сигнала.

В системе координат, жестко связанной с аппаратом и определенной так же, как и при исследовании освещенного диска Земли (см. рис. 1), траектория движения луча зрения соответствует перемещению центра видимого диска Луны вдоль оси φ при $\theta \approx 0$. Так как восстановление двумерной функции $A(\theta, \varphi)$ в полном объеме невозможно, поэтому было принято, что $A(\theta, \varphi)$ зависит только от r – расстояния от центра поля зрения $(\theta, \varphi) = 0$, т.е. что $A(\theta, \varphi) = A(r)$. Причем ситуация позволила для каждого r ввести две функции: $A_+(r)$, определенную для $\varphi > 0$, и $A_-(r)$ – для $\varphi < 0$. Эти две функции можно заменить одной $A(\varphi)$: $A(\varphi)$ равна $A_+(r)$ при $\varphi > 0$ и равна $A_-(r)$ при $\varphi < 0$. Для восстановления $A(\varphi)$ использован алгоритм с регуляризацией по методу Тихонова.

Результаты восстановления функции $A(\varphi)$ по данным экспериментальной зависимости I/I_0 (см. рис. 3)

для области $-0,8^\circ < \varphi < 40''$ представлены на рис. 4. Кривая I есть результат прямой оценки $A(\varphi)$, согласно (3), в области $-0,8^\circ < \varphi < -0,64^\circ$. В силу сравнительно медленного изменения функции и малого углового размера диска Луны оценка проведена при использовании приближенного соотношения

$$I/I_0 = A \Delta\Omega_L,$$

где $\Delta\Omega_L$ – площадь освещенной части диска Луны в угловых единицах, и с учетом положения центра тяжести освещенной части диска. В области $-0,6^\circ < \varphi < +10''$ решалось интегральное уравнение (3) с регуляризацией по методу Тихонова – кривая 2. В окрестности точки $\varphi = 0$, где фактически решалась задача восстановления аппаратной функции в поле зрения $12''$ -й диафрагмы, использовалась сетка с минимальным шагом, равным $2''$, тогда как в основной части области решения слабо зависели от шага сетки $\Delta\varphi$ при его изменении в пределах от 2 до $44''$. Кривая 3 представляет для сравнения значения функции, восстановленные по данным наблюдения диска Земли.

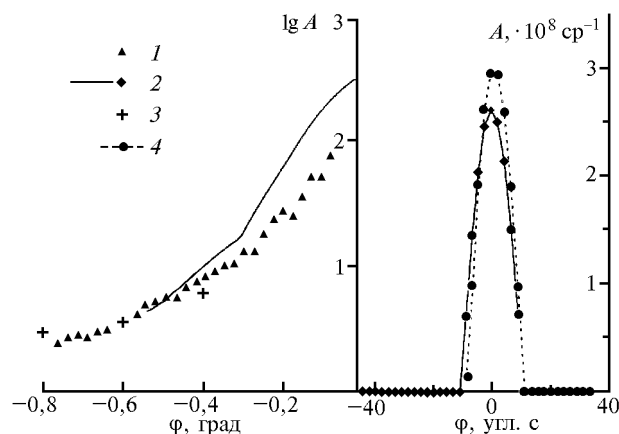


Рис. 4. Эффективная функция рассеяния точки для телескопа АС «Астрон» в области $0 < r < 0,8^\circ$, полученная по данным наблюдения освещенного диска Луны: 1 – простая оценка согласно (3); 2 – результат восстановления по данным рис. 3; 3 – результат восстановления по данным наблюдения освещенного диска Земли; 4 – результат восстановления по данным смещения с освещенного края диска Луны

Как видим, согласованность результатов достаточно удовлетворительная. При этом следует принять во внимание, что такое соответствие получилось при отличии в шаге сеток для кривых 1 и 2 примерно на два порядка и при внесенных при расчете кривой 1 дополнительных предположениях о функциональных особенностях $A(\varphi)$. Рассчитанная по восстановленным значениям функции $A(\varphi)$ зависимость I/I_0 близка к экспериментальной, но является более гладкой, чем экспериментальная. Кривая 4 представляет результаты восстановления функции $A(\varphi)$ по зависимости I/I_0 , полученной при смещении линии визирования телескопа с освещенного диска Луны. По причине того, что в этом случае зависи-

мость I/I_0 получена только до небольшого расстояния от края Луны, восстановление зависимости $A(\varphi)$ было возможно только для небольших значений φ . Отсутствие заметного уширения пика при $\varphi = 0$ на кривой 2 (правая часть рис. 4), по сравнению с пиком на кривой 4, в какой-то мере является апостериорным доказательством того, что при прохождении терминатора фактически наблюдалась узкая граница свет – тень. При смещении с края Луны условие резкой границы свет–тень заведомо выполнялось ($2''$ соответствуют 5 км в линейном масштабе).

Максимальное значение аппаратной функции A_{\max} для центра поля зрения $12''$ -й диафрагмы при $\varphi = 0$ получилось равным примерно $3 \cdot 10^8 \text{ ср}^{-1}$. Это значение находится в хорошем согласии с оценкой значения $A_{\max} = 4 \cdot 10^8$, полученной из геометрических соображений: $A_{\max} \cdot \Delta\Omega_0 \approx 1$, где $\Delta\Omega_0$ – площадь $12''$ -й диафрагмы в угловых единицах. Полуширина пика $\Delta\varphi_{0,5} \approx 12 \div 13''$, а $\Delta\varphi_{0,1} \approx 16''$. При $r > 20''$ аппаратная функция $A(\theta, \varphi)$ слабо меняется на $12''$ -м масштабе и, с учетом ограничений по углам для падающего излучения, становится пропорциональной обычной функции рассеяния точки $a(\theta, \varphi | 0, 0)$. Поэтому $A(\theta, \varphi)$ можно рассматривать как эффективную функцию рассеяния точки. Причем величина $A(\theta, \varphi)$ становится обусловленной вкладом паразитного рассеянного света в телескопе.

Как видно из рис. 4, вне пределов поля зрения $12''$ -й диафрагмы при $\varphi < -20''$ можно выделить область $-0,3^\circ < \varphi < -20''$ по признаку более высокой скорости изменения функции ($d \ln A / d\varphi$), чем это наблюдается при $\varphi < -0,3^\circ$. Физически эта область связана с тем, что в ее пределах первичный пучок должен фокусироваться на конструкции входной «щели» спектрометра (изготовлена из полированной стали в виде четырехгранной пирамидки, в которой имеются круглые отверстия – входные диафрагмы спектрометра). При $\varphi < -0,3^\circ$ ($r > 0,3^\circ$) поведение функции определяется уже другими физическими условиями.

Как видно из рис. 2, на графике двумерной функции $A(\theta, \varphi)$ можно выделить область $0,3^\circ < r < 2^\circ$, в которой функция имеет колоколообразную форму с существенным отличием по величине от значений функции за пределами этой области при $r > 2^\circ$. Характер поведения $A(\theta, \varphi)$ в указанной области физически определяется тем, что при таких значениях углов первичный пучок от точечного источника, отраженный от главного и вторичного зеркал, проходит через центральное отверстие главного зеркала. При больших значениях r оптическая система строит размытое изображение источника на зеркальной поверхности главного зеркала. Как видно из рис. 2, при $r > 2^\circ$ функция $A(\theta, \varphi)$ имеет общий вид неравноплечего креста. Причем при точности восстановления $A(\theta, \varphi)$ до уровня порядка 10^{-4} наиболее длинные плечи тя-

нутся вдоль оси θ до $\pm 26^\circ$, тогда как вдоль оси φ : одно – до $\varphi = +6^\circ$, другое – до $\varphi = -5^\circ$.

Различные области изменения аргумента эффективной функции рассеяния точки $A(\theta, \varphi)$ дают различные вклады в общую интенсивность сигнала. Эти вклады, в соответствии с (3), можно охарактеризовать значениями $(I/I_0)_i = \int A d\Omega_i$, где интегрирование

ведется в пределах соответствующих областей Ω_i изменения аргумента. Так, для области $r < 20''$, включающей поле зрения $12''$ -й диафрагмы, значение интеграла $(I/I_0)_1 \approx 1$; для области $20'' < r < 0,3^\circ$, соответствующей входной «щели» спектрометра, $(I/I_0)_2 \approx 6,6 \cdot 10^{-3}$; для области $0,3^\circ < r < 2^\circ$, когда первичный пучок от точечного источника проходит через центральное отверстие главного зеркала, $(I/I_0)_3 \approx 2,4 \cdot 10^{-3}$; для области $2^\circ < r < 31^\circ$ – $(I/I_0)_4 \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$. В соответствии с этими цифрами при смещении поля зрения телескопа с освещенного диска Луны на расстояние от $20''$ до нескольких минут интенсивность сигнала I/I_0 , обусловленного рассеянным светом (с учетом небольших угловых размеров Луны $0,38^\circ$), должна быть примерно равна величине $(I/I_0)_2/2 \approx 3,3 \cdot 10^{-3}$.

Согласно рис. 3 при переходе лунного терминатора наблюдается резкое уменьшение интенсивности сигнала I/I_0 от 1 до $3 \cdot 10^{-3}$, что хорошо соответствует этой величине. Этот же результат был получен и при смещении с края освещенной части диска Луны. При смещении поля зрения телескопа с края Земли интенсивность рассеянного света должна быть несколько меньше, чем $[(I/I_0)_2 + (I/I_0)_3 + (I/I_0)_4]/2 = 4,7 \cdot 10^{-3}$. Но на рис. 1 граничная изолиния интенсивности сигнала, проходящая по краю освещенной части диска Земли, соответствует величине $I/I_0 = 1,6 \cdot 10^{-3}$. Это было сделано для того, чтобы при грубом шаге сканирования $0,2^\circ$ исключить из массива данных область $r < 0,3^\circ$. Между тем в экспериментах по касательному зондированию атмосферы Земли [7, 8], когда шаг сканирования был меньше $1''$, при сходе с атмосферного лимба регистрируемая интенсивность сигнала в нулевом порядке спектра I/I_0 была равной примерно $4 \cdot 10^{-3}$.

В заключение можно отметить следующее: диапазон изменения восстановленных значений аппаратной функции (эффективной функции рассеяния точки), равный примерно 10^{13} , обусловлен большим диапазоном изменения площадей характерных областей функции ($r < 10''$ и $r < 10^\circ$) – примерно в 10^7 раз, при динамическом диапазоне регистрации потока излучения порядка 10^6 .

1. Валентюк А.Н., Продько К.Г. Оптическое изображение при дистанционном наблюдении. Минск: Наука і техника, 1991. 359 с.
2. Ветерелл В.Б. // Космическая оптика. М.: Машиностроение, 1990. С. 43–72.

3. Беннет Г.Ф., Стэнфорд Ю.Л., Беннет Ю.М. // Космическая оптика. М.: Машиностроение, 1990. С. 461–475.
4. Боярчук А.А., Гершберг Р.Е., Гранецкий Л.В. и др. // Письма в АЖ. 1984. Т. 10. № 3. С. 163–174.
5. Боярчук А.А. // Итоги науки и техники. Астрономия. М.: ВИНТИ, 1986. Т. 31. С. 198–212.
6. Попов Г.М. Современная астрономическая наука. М.: Наука, 1988. 192 с.
7. Гранецкий Л.В., Черемисин А.А. // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Геофизические явления в авроральной зоне». Иркутск: СибИЗМИР, 1988. С. 11.
8. Черемисин А.А., Гранецкий Л.В., Мясников В.М., Ветчинкин Н.В., Слабко В.В. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 12. С. 1424–1432.
9. Черемисин А.А., Гранецкий Л.В., Мясников В.М., Ветчинкин Н.В. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 12. С. 1415–1423.
10. Тихонов А.Н., Гончаровский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990. 232 с.

Научно-исследовательский физико-технический институт
Красноярского государственного университета,
Красноярский государственный технический университет;
Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова, г. Москва

Поступила в редакцию
17 октября 1997 г.

A.A. Cheremisin, L.V. Granitsky, V.M. Myasnikov, N.V. Vetchinkin, V.V. Slabko. **Point-Scattering Function of the Telescope of the Space Astrophysical Station «Astron» According to Data of Natural Observations of the Disks of the Earth and the Moon Illuminated by the Sun.**

According to data of specially organized observations of the disks of the Earth and the Moon, illuminated by the Sun, as a result of an inversion problems solving, the twodimensional effective point-scattering function of the ultraviolet telescope, mounted on board of the space astrophysical station «Astron», has been restored. The range of change in the restored values of function was about 10^{13} . A few characteristic areas of change in values of function, caused by peculiarities of the telescope design, were revealed. The results were used for interpretation of data of researches of an upper atmosphere of the Earth.