

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ РАТАН-600 В ДИАПАЗОНЕ 1.35—31.3 см

1. ПОИСК ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАДИЕНТОВ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИОЯРКОСТИ НА НЕСКОЛЬКИХ ЧАСТОТАХ

М. Н. Наугольная

В настоящей статье обсуждается одна из задач изучения Луны на РАТАН-600: исследование температурных градиентов на лунной поверхности по наблюдениям с перископической системой на южном секторе с плоским отражателем. Рассмотрено несколько вариантов возможных моделей Луны. Лучшее соответствие наблюдениям модель лунной поверхности с учетом роста температуры с глубиной, когда $k=0.05, 0.08, 0.2$ на $\lambda=8.2, 13.0, 31.3$ см соответственно ($k=(T_e-T_0)/T_e$, где T_e и T_0 — постоянные составляющие яркостной температуры эффективно излучающего слоя и поверхности соответственно). В этой модели предполагается, что значение диэлектрической постоянной $\epsilon=2 \pm 0.5$ и потемнение к полюсам меняется по закону $\cos^{1/4} \varphi$.

Investigation of the temperature gradients of the Moon's surface from the observations at the radiotelescope RATAN-600 (the south sector with the flat mirror) is discussed. Several variants of possible models of the Moon are considered. The model of the Moon's surface allowing for the temperature rise with depth is in the best agreement with the observations, where it is assumed that $k=0.05, 0.08, 0.2$ at $\lambda=8.2, 13.0, 31.3$ respectively ($k=T_e-T_0/T_e$, where T_e and T_0 are the constant components of the brightness temperature of the effectively emitting layer and the surface respectively). It is supposed in this model that dielectric constant $\epsilon=2 \pm 0.5$ and the blackening to the poles varies according to $\cos^{1/4} \varphi$.

Регулярные исследования Луны на РАТАН-600 начаты в 1977 г. Их основные задачи:

- 1) уточнение температурных градиентов на лунной поверхности по высокоточным относительным измерениям. Для этой задачи целесообразно проводить измерения на достаточно длинных волнах, начиная с 8 см, где практически не сказывается эффект фазы;
- 2) получение более точного значения диэлектрической постоянной ϵ с учетом эффективного рассеяния на неоднородностях различного размера. Как известно, в пассивных измерениях ϵ более точно определяется из поляризационных наблюдений на многих волнах;
- 3) исследование избранных площадок на Луне с целью изучения температурных неоднородностей, локальных неоднородностей ϵ , а также исследование участков лунной поверхности с масконами.

Значительная часть экспериментальных работ по исследованию интегрального излучения Луны в диапазоне волн от 0.87 до 165 см была выполнена в 1960—1967 гг. сотрудниками Горьковского научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ) под руководством В. С. Троицкого [1—3]. В эти же годы А. Е. Саломоновичем, Б. Я. Лосовским и другими в Физическом институте АН СССР [4, 5] был осуществлен большой цикл работ по измерению радиоизлучения Луны в миллиметровом и коротковолновой части сантиметрового диапазонов.

В работах горьковских радиоастрономов получен спектр постоянной составляющей радиояркостной температуры [3], средней по диску Луны (рис. 1). Постоянная составляющая радиотемпературы растет с длиной волны, что указывает на рост температуры с глубиной. Если на Луне, как и на Земле, тем-

пература с глубиной увеличивается благодаря притоку тепла изнутри, то постоянная составляющая радиоизлучения должна увеличиваться с длиной волны. Глубина проникновения электромагнитной волны внутрь Луны (т. е. толщина эффективно излучающего слоя) растет пропорционально длине волны. Согласно работам В. С. Троицкого, спектр постоянной составляющей радиояростной температуры несет информацию о потоке тепла из недр Луны q и о вертикальном градиенте температуры dT/dz вещества верхнего покрова лунной поверхности.

По В. С. Троицкому [3], спектр постоянной составляющей радиоизлучения в диапазоне 0.4—50 см совпадает с расчетом при значении

$$dT/dz = (2 \div 4) \text{ град/м},$$

что при параметре тепловой инерции $J=0.0017$ соответствует потоку тепла

$$q = (2.7 \div 5.4) \cdot 10^{-6} \text{ Вт/см}^2 [1].$$

Последующие прямые измерения вертикального градиента температуры верхнего покрова Луны на космических аппаратах дали близкие результаты.

Так, по данным прямых измерений на «Аполлон-15 и -17» [6] температурные градиенты составляют

$$dT/dz = (2 \div 3) \text{ град/м}^*.$$

Средний поток тепла из недр Луны по прямым измерениям «Аполлон-15 и -17» [7] ока-

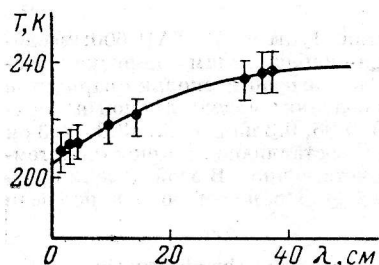


Рис. 1. Спектр средней по диску постоянной составляющей радиояростной температуры Луны [3].

зался $q=3 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/см}^2$, что близко к значению, полученному по наземным радиоастрономическим наблюдениям.

Температурный градиент связан с эволюцией Луны, ее внутренним строением. Одной из интересных задач является выявление неоднородностей в распределении теплового потока по лунной поверхности. По особенностям распределения теплового потока по поверхности можно судить об активности процессов в глубинах верхней мантии, о близости расплавов к поверхности [8].

Еще в 1954 г. В. С. Троицкий впервые указал на возможность частичной поляризации радиоизлучения Луны [9]. Частичная поляризация радиоизлучения возникает при выходе его наружу из-под поверхности Луны за счет того, что радиоволны, поляризованные в плоскости и перпендикулярно к плоскости падения, по-разному отражаются от границы раздела диэлектрик—вакуум.

Метод поляризационных измерений получил детальное развитие в работах Н. С. Соболевой [10—12], В. А. Алексеева и др. [13—16], Б. Я. Лосовского [5], Хэгфорса и Мориэлло [17].

Как следует из этих работ, по наблюдениям поляризации радиоизлучения можно судить о значении диэлектрической постоянной и о степени шероховатости поверхности Луны.

По измерениям на волнах 4 и 8 мм с угловым разрешением 2—3' А. Е. Саломоновичем, Б. Я. Лосовским и А. Г. Кисляковым [18, 4] было показано, что ночные радиояростные температуры в районе Моря Ясности ($\varphi = +18^\circ$, $\lambda = +22^\circ$) выше, чем материка в области кратера Сакробоско ($\varphi = +22^\circ$, $\lambda = -22^\circ$), что свидетельствует о большей пористости материковой области по сравнению с морской [4].

Данных об исследовании избранных площадок на Луне, полученных с помощью радиоастрономических методов, очень мало из-за недостаточной чувствительности используемых радиотелескопов и их разрешающей способности.

* Отметим, что средний градиент материков Земли равен $dT/dz=0.03$ град/м.

В настоящее время мы располагаем главным образом сведениями, полученными с космических аппаратов. По наблюдениям на «Эксплорер-35 в районе кратера Флемстид диэлектрическая проницаемость на длине волны 2.2 м [19, 20] возрастает ($\epsilon=5.5 \div 6.1$) по сравнению с юго-западной частью Океана Бурь ($\epsilon=3 \pm 0.2$).

По измерениям на «Аполлон-14, -15, -17» [21] отмечено уменьшение ϵ до 2.0 на $\lambda=13.1$ см в области Сонного Болота, горном районе южнее Моря Кризисов, в морском районе между кратерами Гершель и Лаланд. На $\lambda=116$ см значение ϵ для этих же районов было 2.8. Эти данные соответствуют резкому увеличению плотности грунта на глубине около полуметра.

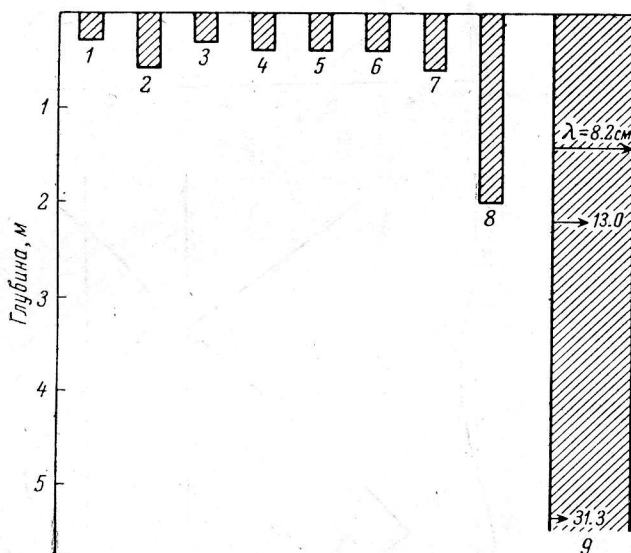


Рис. 2. Глубина, на которой температура лунного грунта определялась космическими аппаратами, а также глубина эффективно излучающего слоя, с которого идет радиоизлучение на волнах 8.2, 13.0 и 31.3 см ($I_{\text{эм}}=17 \lambda$ см [25]).

1 — «Аполлон-11», 1969 г.; 2 — «Аполлон-12», 1979 г.; 3 — «Луна-16», 1970 г.; 4 — «Аполлон-14», 1971 г.; 5 — «Аполлон-15», 1971 г.; 6 — «Аполлон-17», 1972 г.; 7 — «Луна-20», 1972 г.; 8 — «Луна-24», 1976 г.; 9 — РАТАН-600.

Путем анализа неравномерностей в скорости движения космических аппаратов «Лунар Орбитер» выявлены гравитационные аномалии на лунной поверхности (масконы) [22—24], существование которых требует объяснения.

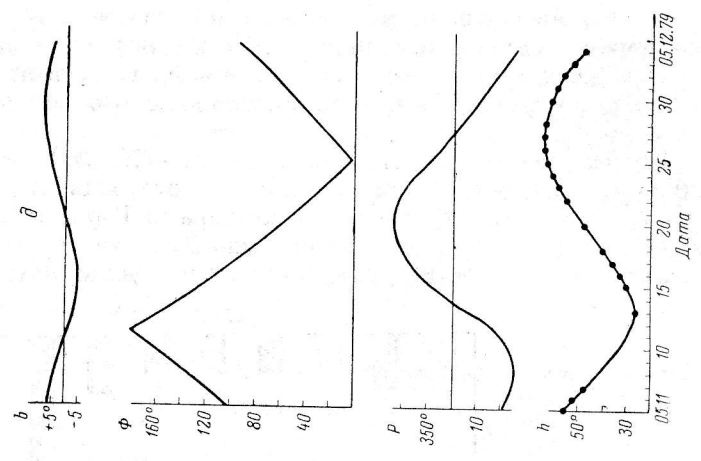
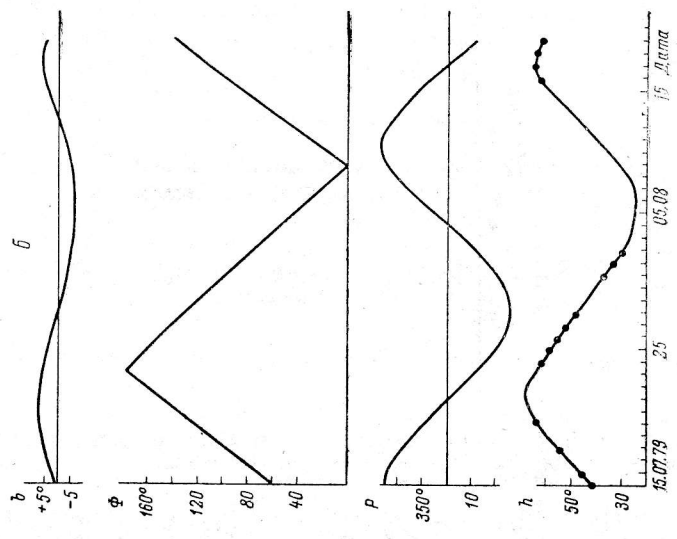
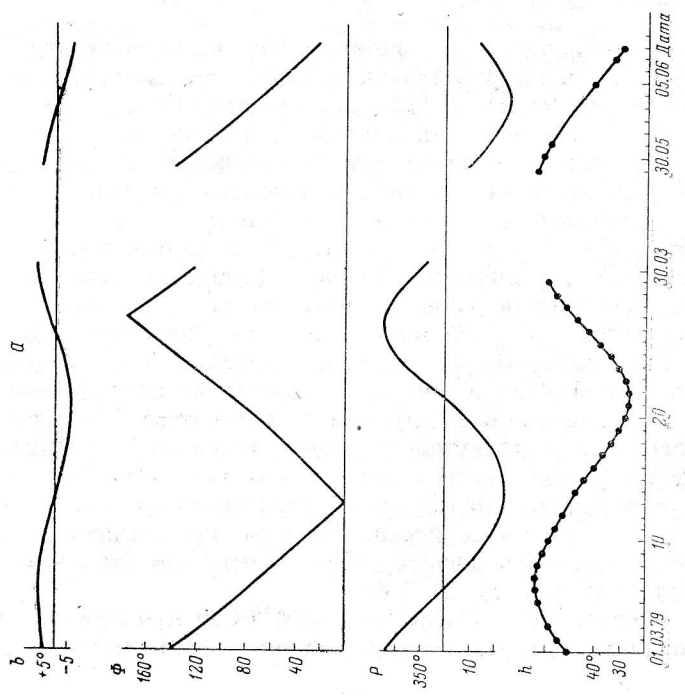
Таким образом, анализируя сказанное выше, можно заключить, что значение наземных радиоастрономических исследований Луны состоит в следующем.

1. Определение средних характеристик лунной поверхности и сравнение их с данными, полученными космическими аппаратами для отдельных точек Луны. На рис. 2 показана глубина, до которой в настоящее время удалось исследовать лунную поверхность в экспериментах на космических аппаратах, а также глубина радиоизлучающего слоя на волнах дециметрового диапазона (по оценкам В. С. Троицкого и Т. В. Тихоновой [25]).

2. Поиск с Земли различных аномалий на лунном диске позволит более целенаправленно проводить космические исследования.

По сравнению с другими инструментами радиотелескоп РАТАН-600 обладает рядом преимуществ, которые помогут успешно решить поставленные задачи исследования Луны. Во-первых, высокая разрешающая способность радиотелескопа (до $10''$ дуги) дает возможность проводить детальные исследования лунной поверхности. Вторым преимуществом является одновременная регистрация всех необходимых параметров Стокса в широком диапазоне длин волн — от 1.35 до 31.3 см.

Исследования Луны на РАТАН-600 проводились на северном, восточном, западном секторах и на перископической системе: южный сектор и плоское



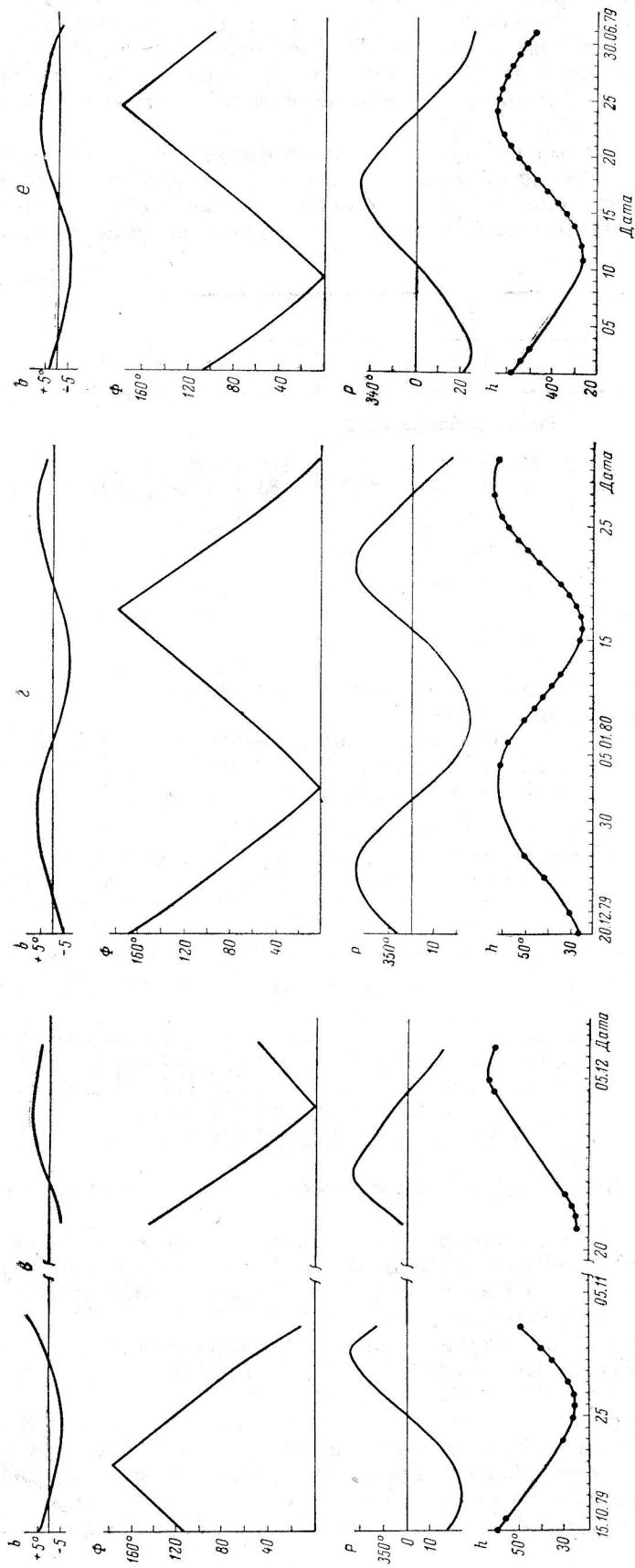


Рис. 3. Значения высоты (*b*), позиционного угла (*P*), оптической фазы (ϕ) Луны и селенографической широты Земли (*h*) в зависимости от даты для различных циклов наблюдения.

Точками отмечены высоты, на которых проводились наблюдения. *a*—*g* — северный сектор; *e* — перископическая система южный сектор с плоским зеркалом.

зеркало. Наиболее полные ряды наблюдений, охватывающие практически все лунные фазы, получены на северном секторе и на перископической системе: южный сектор с плоским зеркалом. Наблюдения проводились одновременно на шести длинах волн от 1.35 до 31.3 см (интенсивность и линейная поляризация). Для увеличения точности регистрировались только два параметра Стокса (либо I и Q , либо I и U).

Режим наблюдений [26] был подобран так, что в фокус всегда помещался один из рупоров 1.35 см (западный или восточный). В результате этого на $\lambda=2.08$ и 3.9 см был всегда один и тот же поперечный вынос облучателя из фокуса: 1.35λ и 2.00λ соответственно. В табл. 1 приведены режимы наблюде-

ТАБЛИЦА 1

Параметр	λ , см					
	1.35	2.08	3.9	8.2	13.0	31.3
Режим наблюдений 1						
Исследуемый параметр	IU	IU	IQ	IU	IQ	I
Вынос из фокуса в длинах волн	0	1.35	2.00	2.83	2.48	2.57
Режим наблюдений 2						
Исследуемый параметр	IQ	IQ	IU	IQ	IU	I
Вынос из фокуса в длинах волн	0	1.35	2.00	2.54	2.66	2.49

ний на всех длинах волн. (На $\lambda=1.35$ см получено две записи поляризации: параметр $Q - 03.07.80$ и параметр $U - 04.07.80$).

В результате проведено 145 наблюдений соответственно по секторам: северный сектор — 91, восточный — 4, западный — 3, перископическая система южный сектор и плоское зеркало — 47. В табл. 2 показано общее число

ТАБЛИЦА 2

Сектор	1.35 см			2.08 см			3.9 см			8.2 см			13.0 см			31.3 см
	I	U	Q	I	U	Q	I	U	Q	I	U	Q	I	U	Q	
Перископическая система южный сектор и плоское зеркало	38	1	1	43	33	17	24	18	18	43	13	28	43	1	1	21
Северный	79	—	—	93	50	22	91	21	47	91	21	47	91	4	10	53
Восточный	1	—	—	2	—	—	2	—	2	4	—	—	2	—	—	2
Западный	—	—	—	2	—	2	2	—	2	—	—	—	1	—	—	3
Всего 1091 запись																

наблюдений параметров Стокса I , Q и U на разных длинах волн для каждого сектора.

На рис. 3 приведены значения высоты h , позиционного угла P , оптической фазы Луны Φ и селенографической широты Земли b в зависимости от даты для различных циклов наблюдений на северном секторе и на перископической системе южный сектор плюс плоское зеркало.

На рис. 4 представлены образцы записей интенсивности (параметр Стокса I) и линейной поляризации Луны (параметр Стокса Q) на всех исследуемых длинах волн.

Измерения проводились на чувствительных приемниках [26]. Так как антенные температуры Луны достаточно высокие (от 150 K на $\lambda=1.35$ см до 15 K на $\lambda=31.3$ см, то погрешность определяется не чувствительностью приемника [27], а различными паразитными эффектами. На длинах волн больше 8 см (рис. 5) это эффекты, связанные с рассеянным фоном под диаграммой направ-

ленности (так называемая «подложка»). При наблюдении с системой южный сектор с перископическим зеркалом «подложка» в основном определяется отсутствием трех центральных элементов в плоском отражателе. Чем меньше длина волны, тем большую роль начинает играть точность установки плоского и кругового отражателей.

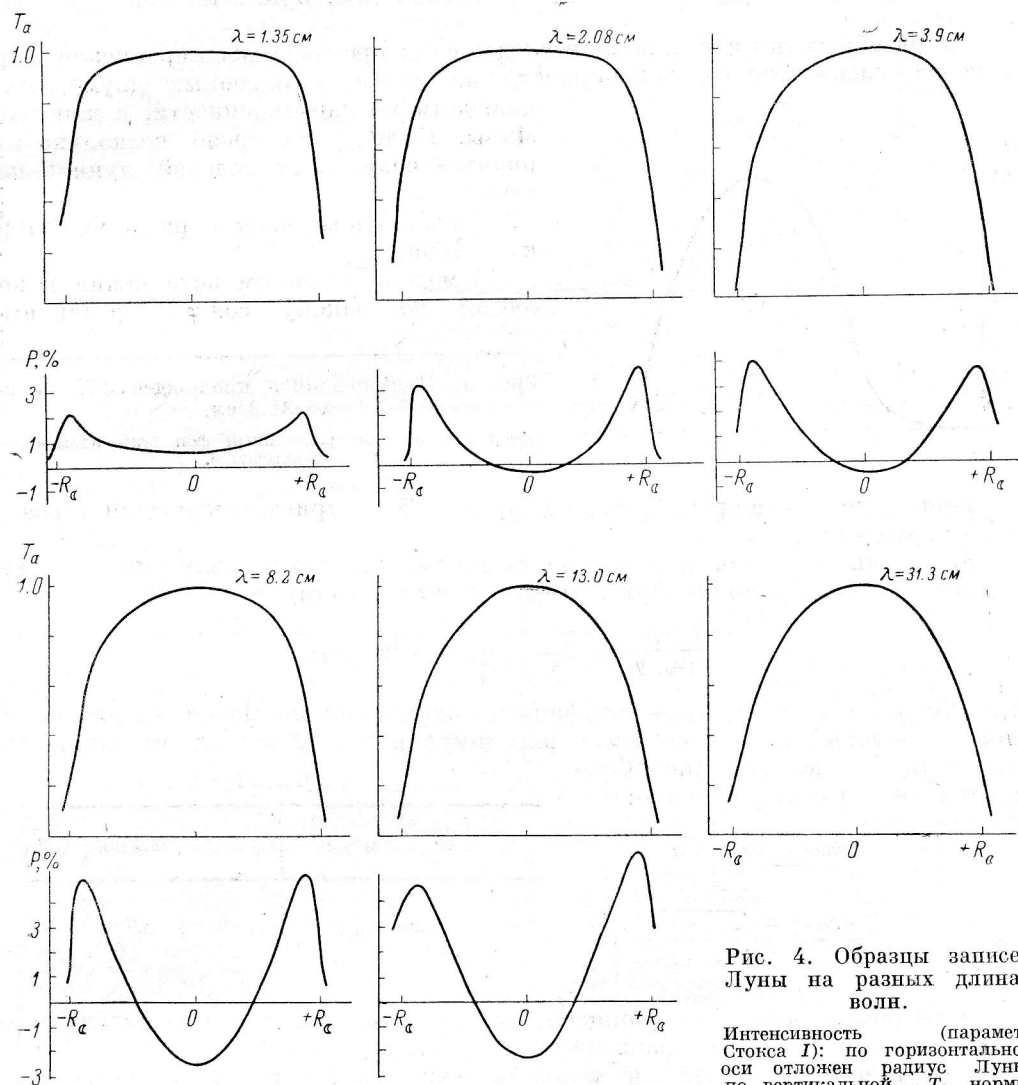


Рис. 4. Образцы записей Луны на разных длинах волн.

Интенсивность (параметр Стокса I): по горизонтальной оси отложен радиус Луны, по вертикальной — T_a , нормированная к единице. Линейная поляризация (параметр Стокса Q): по горизонтальной оси отложен радиус Луны, по вертикальной — процент поляризации P :

$$P = \frac{Q}{2I \text{ центра}} \cdot 100\%$$

Для проверки надежности выделения рассеянного фона проведены наблюдения Крабовидной туманности на $\lambda = 3.9$ см. Полученная запись туманности с «подложкой» сворачивалась с равномерно ярким диском. Результаты свертки хорошо совпадают с наблюдениями Луны.

В первой части работы по изучению Луны исследовались координаты ярких точек на $\lambda = 13.0$ см. Был опробован метод определения координат по наблюдениям в разных азимутах [28].

В настоящей статье мы остановимся на задаче исследования температурных градиентов на лунной поверхности по наблюдениям с перископической системой на южном секторе РАТАН-600 с плоским отражателем. Диаграмма направленности системы южный сектор с плоским отражателем имеет ножевую

форму и с достаточной точностью измерена на волнах 3.4 и 8.2 см. При обработке записей Луны использовались как теоретические расчеты, так и экспериментальные диаграммы направленности [26]. Для 13.0 и 31.3 см диаграммы направленности пересчитывались пропорционально длине волны. В табл. 3 приведены полуширины диаграмм направленности перископической системы южный сектор РАТАН-600 с плоским отражателем, принятые при обработке данных.

Метод обработки заключался в следующем: производилось сравнение ряда моделей распределения радиояркости на диске, сглаженных двумерными диаграммами направленности, с записями Луны. Было рассмотрено несколько вариантов возможных моделей лунной поверхности:

- 1) однородный диск — равномерно яркая Луна;
- 2) модели с учетом потемнения к полюсам по закону $\cos \varphi$ в различных

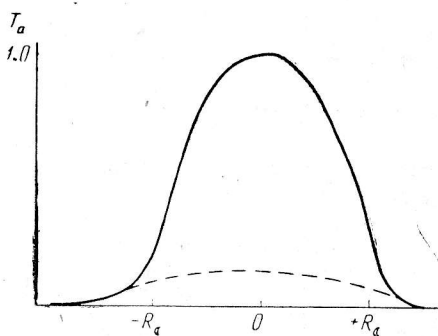


Рис. 5. Пример записи прохождения Луны на $\lambda=31.3$ см.

Штрихами отмечен рассеянный фон (так называемая «подложка»).

степенях (где φ — широта места на Луне). Рассматривались модели с $\cos \varphi$, $\cos^{1/2} \varphi$, $\cos^{1/4} \varphi$;

3) модели с учетом поляризационных характеристик излучения. Интенсивность в каждой точке Луны вычислялась по формуле [9]

$$\frac{I(x, y)}{I(x_0, y_0)} = 2 - R_h(\rho, \epsilon) - R_v(\rho, \epsilon),$$

где $R_h(\rho, \epsilon)$ и $R_v(\rho, \epsilon)$ — коэффициент отражения по мощности для волн, поляризованных в плоскости и перпендикулярно к плоскости падения. Они определяются по формулам Френеля и равны соответственно:

$$R_h(\rho, \epsilon) = \left(\frac{\cos \rho - \sqrt{\epsilon - \sin^2 \rho}}{\cos \rho + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \rho}} \right)^2;$$

$$R_v(\rho, \epsilon) = \left(\frac{\epsilon \cos \rho - \sqrt{\epsilon - \sin^2 \rho}}{\epsilon \cos \rho + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \rho}} \right)^2,$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость; ρ — угол между направлением нормали к поверхности и направлением на наблюдателя.

Теоретическое обоснование применимости для лунной поверхности указанных формул дано в работах [1—3, 9]. Вычисления проведены для трех значений диэлектрической проницаемости $\epsilon=1.5, 2.0, 4.0$;

4) модели с учетом температурных градиентов. Распределение яркости по поверхности Луны определялось по формуле

$$\frac{I(x, y)}{I(x_0, y_0)} = 2 - R_h(\rho, \epsilon) - R_v(\rho, \epsilon) + k \cos \rho,$$

где $k=(T_e - T_0)/T_0$; T_e и T_0 — постоянные составляющие яркостной температуры эффективно излучающего слоя и поверхности соответственно. Первоначально значения k были взяты из работ В. С. Троицкого [30, 31]: $k=0.047, 0.068, 0.098$ для $\lambda=8.2, 13.0, 31.3$ см соответственно. В дальнейшем вычисления на каждой длине волны проведены для трех значений k .

Для примера на рис. 6 на $\lambda=31.3$ см приведены разности между различными моделями и кривой прохождения Луны, полученной путем усреднения наблюдений Луны (июнь 1979 г.), при которых Луна имела малый позицион-

ТАБЛИЦА 3

Диаграмма	8.2 см	13.0 см	31.3 см
Вертикальная, $\varphi_{0.5}$	38'	62'	146'
Горизонтальная, $\varphi_{0.5}$	1.2	1.9	4.54

ный угол P (меньше $\pm 7^\circ$). Антенные температуры в центре лунного диска нормировались к единице как в моделях, так и в наблюдениях.*

Как видно из рис. 6, зависимость от ϵ не очень сильная. Потемнение к по-

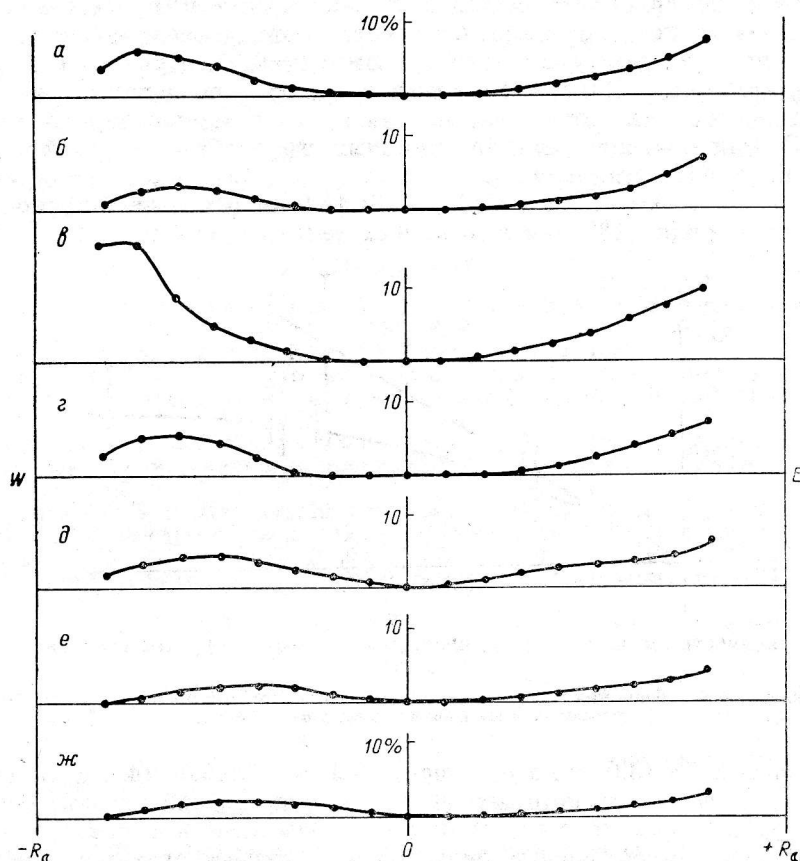


Рис. 6. Разности между различными моделями (а—ж) и кривой прохождения на $\lambda=31.3$ см, полученной путем усреднения наблюдений, при которых Луна имела малый позиционный угол (меньше $\pm 7^\circ$).

а — однородный диск; б — модель с учетом температурного градиента с $k=0.09$; в — модель с учетом потемнения к полюсам по закону $\cos^{1/4} \varphi$ (φ — широта места на Луне); г — модель с учетом потемнения к полюсам по закону $\cos^{1/4} \varphi$ и температурного градиента с $k=0.2$; д — модель с учетом поляризационных характеристик излучения ($\epsilon=2.0$), потемнения к полюсам по закону $\cos^{1/4} \varphi$ и температурного градиента с $k=0.2$; е — модель с учетом поляризационных характеристик излучения ($\epsilon=1.5$) и температурного градиента с $k=0.2$; ж — модель с учетом поляризационных характеристик излучения ($\epsilon=2.0$) и температурного градиента с $k=0.2$.

люсам влияет гораздо больше, чем диэлектрическая постоянная. Наибольшее влияние оказывает температурный градиент. Были проведены расчеты моделей для трех значений k : 0.098, 0.2, 0.3. Наилучшим образом соответствует

* При рассмотрении моделей с учетом поляризационных характеристик излучения нужно помнить, что при наблюдении с горизонтально расположенным анализатором, как это имело место на $\lambda=31.3$ см, фактически регистрируется величина

$$I_y = (I - Q)/2,$$

так как

$$\left. \begin{aligned} I &= I_x + I_y \\ Q &= I_x - I_y \end{aligned} \right\} I - Q = 2I_y,$$

где I_x — горизонтальная составляющая электрического вектора; I_y — вертикальная составляющая; I и Q — параметры Стокса. Значения Q на $\lambda=31.3$ см получены по теоретическим расчетам.

Отмечена некоторая асимметрия в распределении радиояркости. Западная часть диска ярче восточной на величину порядка 4% ($T_a=0.6$ К). Это область Луны, где расположена большая часть масконов.

наблюдениям модель с температурным градиентом, при котором $k=0.2$, учитывающая поляризационный эффект при $\epsilon=2.0$, без заметного потемнения к полюсам.

Аналогичные сравнения моделей с наблюдениями проведены на $\lambda=8.2$ и 13.0 см. На волне 8.2 см наиболее хорошее совпадение с экспериментом дает модель Луны с температурным градиентом с $k=0.05$, с учетом поляризационного эффекта при $\epsilon=2.0$ и потемнения к полюсам по закону $\cos^{1/4} \varphi$. На $\lambda=13.0$ см ближе к наблюдениям модель Луны с температурным градиентом с $k=0.08$, учитывающая поляризационный эффект при $\epsilon=1$, без заметного потемнения к полюсам.

Так же как на $\lambda=31.3$ см, на $\lambda=8.2$ и 13.0 см отмечена западно-восточная асимметрия порядка 1% или в антенных температурах 0.5 К.

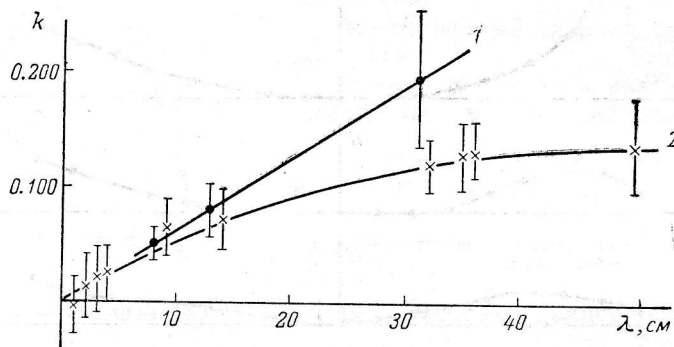


Рис. 7. Зависимость коэффициента k , связанного с температурным градиентом, от длины волны.

1 — значения k по наблюдениям на РАТАН-600; 2 — значения k , полученные из рис. 1 [3]. Вертикальными отрезками отмечены максимальные ошибки.

На волнах 8.2 и 13.0 см модели сравнивались с усредненными наблюдениями 1977 и 1979 гг., при которых Луна имела малый позиционный угол (меньше $\pm 7^\circ$).

Результаты данной работы подтверждают существование температурного градиента [3]. Коэффициент $k=(T_e-T_0)/T_0$ линейно растет с ростом длины волны. На рис. 7 представлены значения k по наблюдениям на РАТАН-600 и полученные из рис. 1. Как следует из рис. 7, наши результаты в пределах ошибок согласуются с данными В. С. Троицкого [30, 31]. Максимальную величину погрешности при определении k мы оцениваем в 30%. Величина погрешности определяется в основном недостаточно надежным выделением рассеянного фона («подложка»), а также неточным знанием вертикальных диаграмм направленности на волнах 13.0 см и короче. Однако сходимость величин k на трех длинах волн свидетельствует о правильности полученного результата.

Кроме того, на всех длинах волн ($\lambda=8.2$, 13.0 и 31.3 см) обнаружена западно-восточная асимметрия в одномерном распределении яркости по диску Луны порядка 1—4%.

Таким образом, по результатам исследования на РАТАН-600 лучше всего соответствует наблюдениям модель Луны с учетом увеличения температуры с глубиной, когда $k=0.05$, 0.08 , 0.2 на $\lambda=8.2$, 13.0 , 31.3 см соответственно.* В модели предполагается, что значение диэлектрической постоянной $\epsilon=2.0 \pm 0.5$ и потемнение к полюсу меняется по закону $\cos^{1/4} \varphi$.

Отметим, что если рассматривать наблюдения на разных волнах как независимые измерения температурного градиента, следует больший вес дать наблюдениям на $\lambda=31.3$ см, так как радиоизлучение на этой волне идет с большей глубины лунной поверхности и, следовательно, эффект будет проявляться сильнее. На этой волне результат меньше всего зависит от знания вертикальной

* Температурный градиент относится к среднему по центральной части диска Луны диаметром примерно $20'$.

диаграммы направленности радиотелескопа, ввиду того что ее размеры существенно больше диаметра Луны.

В дальнейшем будут уточнены значение диэлектрической постоянной по поляризационным наблюдениям на всех длинах волн, а также потемнение к полюсам и западно-восточная асимметрия в распределении радиояркости по наблюдениям Луны на западном и восточном секторах РАТАН-600.

Автор выражает свою глубокую признательность Н. С. Соболевой за постановку задачи и постоянную помощь при выполнении данной работы. Кроме того, автор благодарен Ю. Н. Парийскому за интерес к работе и ценные советы при обсуждении полученных результатов, сотрудникам группы А. Б. Берлина, обслуживающему персоналу ЭВМ М-222.

Литература

1. Кротиков В. Д., Троицкий В. С. Радиоизлучение и природа Луны. — Успехи физ. наук, 1963, 81, вып. 4, с. 588—639.
2. Troitsky V. S. — J. Res. NBS, 1965, 69D, N 12, p. 1585.
3. Троицкий В. С. Результаты исследования поверхностного слоя Луны по ее собственному радиоизлучению. — Изв. вузов, Радиофизика, 1967, 10, вып. 9—10, с. 1266—1282.
4. Лосовский Б. Я., Саломонович А. Е. О радиоизлучении и различиях верхнего покрова «морских» и «материковых» областей Луны. — Астрон. ж., 1965, 17, № 2, с. 390—397.
5. Лосовский Б. Я. Наблюдения поляризации радиоизлучения Луны на волне 0.8 см с высокой разрешающей способностью. — Астрон. вестник, 1968, 2, вып. 3, с. 129—136.
6. Langseth M. G., Clark S. P., Chute J. L., Keihm S. J. The Apollo 15 Lunar heat flow measurements. — Amer. Geophys. Union Monograph., 1974, N 8, p. 87—190.
7. Langseth M. G., Chute J. R., Keihm S. J. Direct measurement of heatflow from the Moon. — Proc. 4 Lunar Sci. Geochim. Cosmochim. Acta Suppl. 4, 1973, 3, p. 455—456.
8. Любимова Е. А. Термика Земли и Луны. М., «Наука», 1968.
9. Троицкий В. С. К теории радиоизлучения. — Астрон. ж., 1954, 31, вып. 6, с. 511—528.
10. Гольнев В. Я., Соболева Н. С. Наблюдения поляризации радиоизлучения Луны. — Изв. ГАО, 1964, 23, № 3, с. 83—86.
11. Соболева Н. С. Измерение поляризации радиоизлучения Луны с помощью Большого пулковского радиотелескопа. — Астрон. ж., 1962, 39, вып. 6, с. 1124—1126.
12. Соболева Н. С. Поляризация теплового радиоизлучения Луны и планет. — Изв. ГАО, 1967, 24, № 182, вып. 6, с. 205—208.
13. Алексеев В. А., Алешина Т. Н., Кротиков В. Д., Троицкий В. С. Влияние шероховатости верхнего покрова Луны на излучательную способность и распределение радиояркости. — Астрон. ж., 1967, 44, № 5, с. 1070—1074.
14. Алексеев В. А., Алешина Т. Н., Кротиков В. Д. Поляризационные характеристики радиоизлучения шероховатой Луны при учете усредняющего действия диаграммы направленности антенны. — Изв. вузов, Радиофизика, 1967, 10, вып. 5, с. 603—607.
15. Алексеев В. А., Кротиков В. Д. Поляризация интегрального радиоизлучения Луны. — Изв. вузов, Радиофизика, 1968, 11, вып. 8, с. 1133—1137.
16. Алексеев В. А., Кротиков В. Д. Поляризационные характеристики радиоизлучения Луны при учете усредняющего действия диаграммы направленности ножевого типа. — Изв. вузов, Радиофизика, 1969, 12, вып. 1, с. 5—8.
17. Nagfors T., Moriello J. The effect of roughness on the polarization of thermal emission from a surface. — J. Res. NBS (Radio Science), 1965, 69D, N 12, p. 1614—1615.
18. Кисляков А. Г., Лосовский Б. Я., Саломонович А. Е. Радиоизлучение «морей» и «материков» Луны в миллиметровом диапазоне длин волн. — Изв. вузов, Радиофизика, 1963, 6, № 1, с. 192—193.
19. Tyler G. L. Oblique scattering radar reflectivity of the lunar surface: preliminary results from Explorer 35. — J. Geophys. Res., 1968, 73, N 24, p. 7609—7620.
20. Tyler G. L., Simpson R. A. Bistatic radar measurements of topographic variations in lunar surface slopes with Explorer 35. — Radio Science, 1970, 5, N 2, p. 263—271.
21. Tyler G. L., Howard H. T. Dual-frequency bistatic radar investigations of the Moon with Apollos 14 and 15. — J. Geophys. Res., 1971, 76, N 11, p. 2790—2795.
22. Ferrarri A. Lunar gravity: the first farside map. — Science, 1975, 188, N 4195, p. 1297—1300.
23. Мельхиор П. Физика и динамика планет. Ч. 1. Пер. с фр. М., «Мир», 1975, с. 549—566.
24. Щербakov А. М. Объемное распределение плотности Луны. II. — Астрон. вестник, 1978, 12, № 3, с. 143—151.
25. Троицкий В. С., Тихонова Т. В. Результаты исследования поверхностного слоя Луны по ее собственному радиоизлучению. — В кн.: Современные представления о Луне. М., «Наука», 1972, с. 46—64.

26. Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н., Корольков Д. В., Берлин А. Б., Кайдановский Н. Л., Есепкина Н. А., Зверев Ю. К., Копылов А. И., Коркин Э. И., Лавров А. П., Соболева Н. С., Стоцкий А. А., Тимофеева Г. М. Радиотелескоп РАТАН-600. Ввод в действие и исследование первой очереди. — Изв. вузов, Радиофизика, 1976, 19, вып. 11, с. 1581—1593.
27. Берлин А. Б. и др. Мгновенный спектр ЗС84 по наблюдениям на 16 частотах на РАТАН-600. — Письма в АЖ, 1980, 6, № 10, с. 617—619.
28. Наугольная М. Н., Спагенберг Е. Е., Соболева Н. С., Фомин В. А. Определение селенографических координат объектов с помощью радиотелескопа РАТАН-600. — Письма в АЖ, 1978, 4, № 12, с. 562—565.
29. Есепкина Н. А., Бахвалов Н. С., Васильев Б. А., Васильева Л. Г., Темирова А. В. Определение поляризационных характеристик радиотелескопа РАТАН-600 с учетом aberrаций при наблюдении на горизонте. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 15.
30. Троицкий В. С., Тихонова Т. В. Тепловое излучение Луны и физические свойства ее верхнего покрова. — Изв. вузов, Радиофизика, 1970, 13, вып. 9, с. 1273—1311.
31. Кротиков В. Д., Троицкий В. С. Обнаружение потока тепла из недр Луны. — Астрон. ж., 1963, 40, вып. 6.

Поступила в редакцию 02.02.81