

УДК 523.36.537-96.226.1+3+311.33.533.590

АСТРОНОМИЯ

А. Р. ГОЛОВКИН, Е. А. ДУХОВСКОЙ, Г. Я. НОВИК, Р. Г. ПЕТРОЧЕНКОВ,
член-корреспондент АН СССР В. В. РЖЕВСКИЙИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛУННОГО ГРУНТА
И ЕГО АНАЛОГОВ МЕТОДОМ КУМЕТРА

Исследования электрических свойств верхнего покрова Луны до настоящего времени проводились на основе изучения собственного радиоизлучения Луны (^{1,2}), а также на основе прямых локационных измерений (³). Исследования, проведенные в широком диапазоне от субмиллиметровых до дециметровых волн показали, что грунт Луны является диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1,5-2,8$ (^{2,3}) и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \Delta = 0,005-0,015$ (²). Результаты исследования лунного грунта (пыли), доставленного на Землю экипажем космического корабля «Аполлон-11», а также земных пород аналогичного состава и строения на частоте 450 МГц (⁴) по методике (⁵) дали значения относительной диэлектрической проницаемости 2 и 2,8 при плотностях 1,2 г/см³ и 1,6 г/см³ соответственно.

Ниже описывается методика и результаты исследования относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и удельного электрического сопротивления ρ лунного грунта (пыли), доставленного автоматической межпланетной станцией «Луна-16», и его аналогов (андезито-базальтовый песок и мелкораздробленный базальт) методом куметра. Измерения проводились в диапазоне частот 100 кгц — 12 МГц при разрежении 10^{-6} тор и в атмосфере химически чистого гелия при температуре 20°С на специально разработанном конденсаторе, помещаемом в вакуумную камеру. Для оценки корректности методики параллельно проводились измерения на аналогах на стандартном приспособлении (цилиндрический конденсатор).

Измерительная схема состояла из конденсатора, куметра Е-9-4, проводов, соединяющих куметр с измерительным конденсатором. Обратным проводом служил корпус вакуумной камеры, соединенный с корпусом куметра.

Для измерения электрических свойств грунта, учитывая малый объем пробы, был применен плоский дисковый трехэлектродный конденсатор с частичным заполнением его исследуемым грунтом. Измерительный конденсатор состоял из нижней и верхней заземленных обкладок, средней обкладки, охранного и изолирующего колец между ними. Верхняя обкладка крепилась к поворотному рычагу с ручным приводом извне, позволяющему поднимать, опускать и регулировать силу ее прижатия к охранному кольцу. Рабочая камера конденсатора была образована верхней и средней обкладками и охранным кольцом. Напряжение от куметра подводилось к средней обкладке с помощью медного провода, жестко закрепленного на фторопластовых изоляторах. Расчет элементов конденсатора проводился исходя из объема исследуемого вещества, максимального диаметра зерен исследуемой породы, условий уменьшения и стабилизации паразитных емкостей, обеспечения квазистационарности напряжений на обкладках конденсатора, а также условия максимального уменьшения перераспределения поля внутри конденсатора при заполнении рабочей камеры исследуемым грунтом. Высота рабочей камеры конденсатора

$h = 2,72$ мм, внешний диаметр обкладок 28 мм, диаметр рабочей камеры $D = 20,1$ мм. Расчетная емкость рабочей камеры в вакууме $C_0 = 1,03$ пф. Обкладки конденсатора были выполнены из нержавеющей стали. Охранное и изолирующие кольца изготавливались из алунда ($\epsilon \approx 8,5$; $\operatorname{tg} \Delta = 4 \cdot 10^{-4}$, $\rho = 10^{12}$ ом·м). Так как от точности изготовления элементов конденсатора зависела точность измерений, обкладки конденсатора и торцы охранных колец были строго параллельны и тщательно отшлифованы,

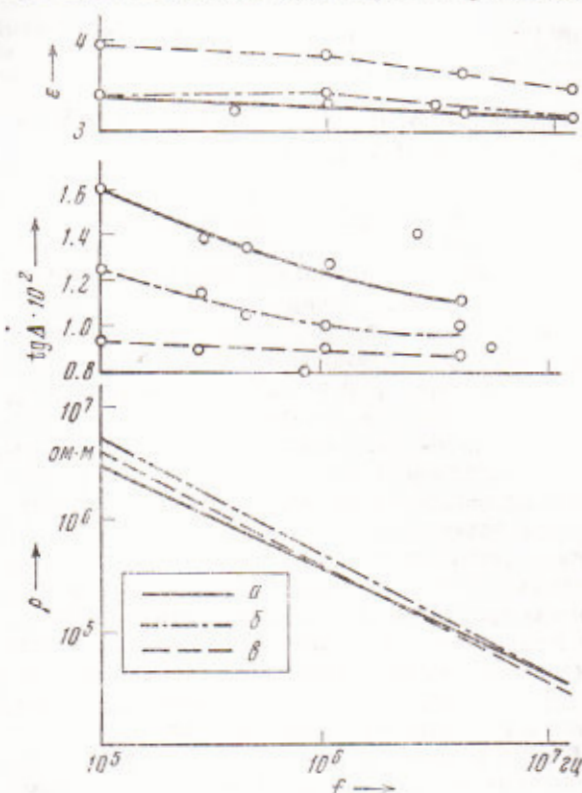


Рис. 1 Зависимость относительной диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \Delta$ и удельного электрического сопротивления ρ лунного грунта α , андезито-базальтового песка β и мелкокораздробленного базальта γ от линейной частоты f

а рабочая цилиндрическая поверхность охранного кольца строго коаксиальна и отшлифована.

Поскольку длина соединительного провода была много меньше минимальной длины электромагнитной волны, то этот провод рассматривался как система с сосредоточенными параметрами: сопротивлением $R_{\text{пр}}$, индуктивностью $L_{\text{пр}}$, соединенных последовательно, и емкостью $C_{\text{пр}}$, параллельной емкости измерительного конденсатора, который был подключен к клеммам куметра по параллельной схеме.

С учетом индуктивности и емкости проводов, емкость рабочей камеры конденсатора с грунтом определяли по формуле

$$C_x = \frac{\Delta C}{1 + \omega^2 L_{\text{пр}} \Delta C - (C_{\text{пр}} + C_{\text{пк}})}, \quad (1)$$

где ΔC — разность в показаниях куметра при отключенном и подключенном конденсаторе с поро-

дой, $C_{\text{пк}}$ — паразитная емкость конденсатора, ω — круговая частота, на которой проводились измерения.

Общее сопротивление грунта и охранных колец R определялось с учетом сопротивления проводов $R_{\text{пр}}$ по формуле

$$R = R_0 \frac{(1 + \omega^2 L_{\text{пр}} \Delta C)^2}{(1 - \omega^2 R_0 R_{\text{пр}} \Delta C^2)}, \quad (2)$$

где R_0 — эквивалентное сопротивление измерительной цепи,

$$R_0 = Q_1 Q_2 / [(Q_1 - Q_2) \omega C_1], \quad (3)$$

где Q_1 , Q_2 — добротность на куметре при подключенном конденсаторе без грунта и с грунтом соответственно, C_1 — емкость на куметре при отключенном конденсаторе.

Формулы (1) и (2) справедливы при условиях $\omega R_0 \Delta C \gg 1$ и $\omega^2 L_{\text{пр}} (C_x + C_{\text{пр}} + C_{\text{пк}}) < 1$, которые полностью выполнялись.

Паразитные параметры R_{np} и L_{np} определяли на куметре. Емкость $C_{np} + C_{ик}$ и сопротивление охранных колец R_k определяли по формулам, аналогичным (1) и (2), по замерам на пустом конденсаторе.

Общее сопротивление грунта в рабочей камере вычисляли по формуле

$$R_x = R_k R / (R_k - R). \quad (4)$$

Конечные формулы, используемые для расчета ϵ , $\operatorname{tg} \Delta$, ρ , таковы:

$$\epsilon = C_x / C_0; \quad \operatorname{tg} \Delta = 1 / (\omega R_x C_x); \quad \rho = \pi R_x D^2 / (4h). \quad (5)$$

Измерения электрических свойств лунного грунта и его аналогов проводились при постоянной плотности $1,8 \text{ г/см}^3$. Результаты определения ϵ , $\operatorname{tg} \Delta$, ρ лунного грунта и его аналогов представлены на рис. 1. Из графиков видно, что электрические свойства лунного грунта и выбранных аналогов в исследуемом диапазоне частот весьма близки.

Значение ϵ , $\operatorname{tg} \Delta$ и ρ в вакууме и гелии в пределах ошибки эксперимента $\pm 7\%$ одинаковы. Частотные зависимости ϵ , $\operatorname{tg} \Delta$ и ρ лунного грунта подобны частотным зависимостям плотных и рыхлых земных пород аналогичного состава, а также сухим песчаным почвам.

Авторы благодарят акад. А. Ю. Ишлинского за плодотворное обсуждение работы.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт оптико-физических измерений
Московский горный институт

Поступило
10 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Д. Кротиков, В. С. Троицкий, УФН, 81, № 4, 588 (1963). ² В. С. Троицкий, Изв. высш. учебн. завед., Радиофизика, 10, № 10, 1266 (1967). ³ J. V. Evans, J. Res. Nat. Bur. Stand., 69D, № 12, 1637 (1965). ⁴ T. Gold, M. J. Campbell, B. T. O'Leary, Science, 167, № 3918, 707 (1970). ⁵ M. J. Campbell, J. Ulrichs, J. Res., 74, 5867 (1969).