

М. Б. ВАСИЛЬЕВ, А. С. ВЫШЛОВ, М. А. КОЛОСОВ, Н. А. САВИЧ,
В. А. САМОВОЛ, Л. Н. САМОЗНАЕВ, А. И. СИДОРЕНКО, Д. Я. ШТЕРН

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОЛУННОЙ ПЛАЗМЫ

(Представлено академиком В. А. Котельниковым 1 VI 1973)

Для исследования интегральных характеристик космической плазмы вдоль трассы связи на автоматической станции «Луна-19», выведенной на орбиту спутника Луны, было установлено передающее устройство дисперсионного интерферометра ⁽¹⁾, излучавшее два когерентных сигнала в диапазонах $\lambda_1 \approx 32$ см и $\lambda_2 \approx 8$ см. На наземном приемном пункте регистрировались амплитуды и приведенная разность фаз этих сигналов, пропорциональная интегральной электронной концентрации вдоль линии связи.

При заходе станции за Луну высота радиолуча над поверхностью постепенно уменьшается и излучаемые сигналы просвечивают окололунное пространство, что можно использовать для обнаружения и определения основных физических характеристик окололунной плазмы, наличие которой должно вызывать дополнительные изменения регистрируемой разности фаз. Основное преимущество метода радиопросвечивания состоит в том, что космический аппарат и измерительные приборы находятся вне исследуемой области, а следовательно, не вносят возмущений в изучаемую среду. Кроме того, при интерпретации результатов измерений не используются существенные априорные модельные представления, что неизбежно при анализе радиоастрономических данных по покрытию радиоисточников Луной.

В течение мая — июня 1972 г. было проведено 15 сеансов измерений, начинавшихся за 20—25 мин. до расчетного момента касания радиолучом поверхности Луны (оптический заход) и заканчивавшихся через 3—5 мин. после него выключением передатчиков от бортового программно-временного устройства.

Поскольку в реальных условиях проводившегося эксперимента бортовые излучающие антенны были разнесены в пространстве, а положение главной оси станции стабилизировано вращением, в измеряемую приведенную разность фаз $\psi(t)$ входила паразитная периодическая составляющая. Поэтому методика обработки экспериментальных данных предусматривала ее исключение путем последовательного нахождения разности значений $\psi(t)$, отстоящих на время, равное периоду вращения станции, который определялся по записям амплитуд сигналов с точностью до $\sim 0,1$ сек. Для дальнейшего анализа использовались полученные таким образом разностные значения $\Delta\psi(t)$, содержащие искомый эффект окололунной плазмы и разницу вкладов ионосферы Земли за время одного оборота станции вокруг собственной оси вращения.

Результаты исследований интегральных характеристик земной ионосферы, выполненные при помощи станций «Луна-14», «Марс-2» и «Луна-19» ⁽¹⁾, а также литературные данные ⁽²⁾ показывают, что при невозмущенном состоянии ионосферы нередко имеют место интервалы времени, в течение которых интегральная электронная концентрация меняется с почти постоянной скоростью. Очевидно, что такие условия наиболее благо-

приятны для обнаружения эффектов околосолнечной плазмы. Достаточная длительность заходных сеансов измерений позволяла по начальному участку графиков $\Delta\psi(t)$ судить о степени возмущенности ионосферы Земли в предзаходный период.

Основываясь на этих соображениях, по результатам предварительного анализа 15 заходных сеансов, для дальнейшей обработки были отобраны шесть, из которых для трех (8 V 1972 г.) поверхность Луны в точке касания луча была неосвещенной (зенитный угол Солнца $\chi \approx 143^\circ$), для трех других (11 VI 1972 г.) поверхность Луны освещалась восходящим Солнцем ($\chi \approx 89^\circ$). Каждая из двух серий измерений проведена на трех

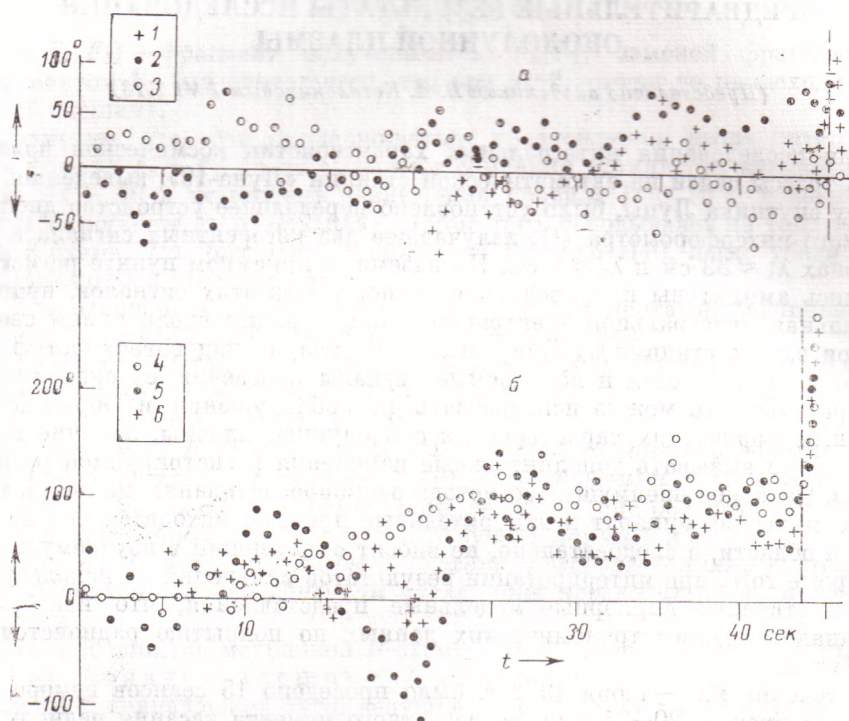


Рис. 1. Изменение приведенной разности фаз при радиопросвечивании околосолнечного пространства. 1–6 — номера сеансов

последовательных витках спутника «Луна-19», во время которых влияние ионосферы Земли на результаты измерений было минимальным.

Зависимости $\Delta\psi(t)$ для сеансов 1–3 (ночных), изображенные на рис. 1а, были совмещены по фактическим моментам оптических заходов, определенных по дифракционным картинкам на записях амплитуд дециметрового и сантиметрового сигналов с точностью $\sim 0,1$ сек. Из этих данных следует, что в течение сорокасекундных интервалов времени значения $\Delta\psi$ для всех трех сеансов лежат вблизи нулевой линии; разброс точек характеризует погрешность измерений. При приближении к моменту оптического захода, отмеченного вертикальной пунктирной линией, не обнаруживается регулярного возрастания $\Delta\psi(t)$, что свидетельствует об отсутствии плазмы над не освещенной Солнцем поверхностью Луны в наших условиях.

На рис. 1б представлены зависимости $\Delta\psi(t)$ для сеансов 4–6, также совмещенные по моментам оптических заходов, из которых следует, что если в начале сорокасекундных интервалов значения $\Delta\psi$ располагаются вблизи нулевой линии, то при приближении к моменту оптического за-

хода наблюдаются четко выраженные возрастания величины $\Delta\psi(t)$, достигающие в среднем $\sim 80^\circ$.

Поскольку интервал времени между двумя соседними сеансами, равный периоду обращения спутника вокруг Луны, составлял более двух часов, трудно ожидать, что описанное изменение $\Delta\psi(t)$, повторявшееся во всех трех сеансах и жестко связанное с моментами оптического захода, могло быть обусловлено ионосферой Земли. Наблюдавшийся эффект нельзя отнести и за счет отражений от лунной поверхности, так как в сеансах 1–3 он не наблюдался.

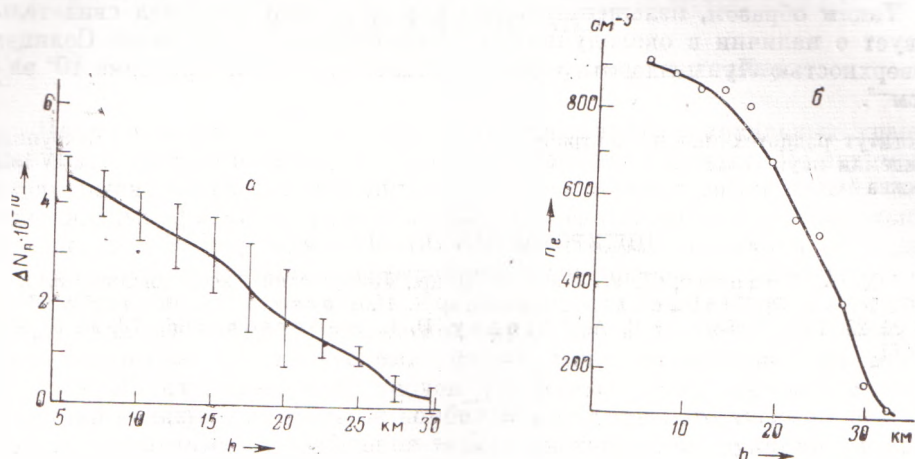


Рис. 2. Зависимость интегральной электронной концентрации в окололунном пространстве (а) и концентрации заряженных частиц (б) от высоты над поверхностью Луны

Наиболее важным отличием условий проведения сеансов 4–6 является величина зенитного угла Солнца, который для этой серии измерений составлял $\sim 89^\circ$ в точке касания луча. Поэтому, в соответствии с изложенным, можно сделать вывод о том, что наблюдавшийся в сеансах 4–6 эффект закономерного возрастания приведенной разности фаз $\Delta\psi(t)$ при заходах спутника за Луну связан с наличием плазмы над освещенной Солнцем поверхностью Луны.

Следует отметить, что почти во всех описанных сеансах в течение нескольких секунд перед моментами оптического захода наблюдаются квазипериодические вариации величины $\Delta\psi(t)$, связанные, по-видимому, с особенностями фазовой структуры дифракционного поля. В настоящей работе эти участки записей не рассматриваются.

Основываясь на экспериментальных данных, представленных на рис. 1б, можно определить параметры окололунной плазмы. Для повышения надежности и точности этих оценок значения $\Delta\psi(t)$ были усреднены по трем сеансам 4–6 и сглажены. Результирующее значение среднеквадратичной погрешности $\sigma_{\Delta\psi}$ оказалось равным $\sim 12^\circ$. Информация о баллистических данных позволила полученную таким образом зависимость $\Delta\psi(t)$ пересчитать в изменение интегральной электронной концентрации ΔN_n в функции высоты h луча над поверхностью Луны. Из графика $N_n(h)$, приведенного на рис. 2а, следует, что максимальное значение интегральной электронной концентрации в окололунном пространстве составляет $\sim 4,6 \cdot 10^{10}$ эл. см^{-2} . При увеличении высоты над поверхностью Луны $N_n(h)$ монотонно уменьшается, достигая на высотах ~ 30 км значений, сравнимых с ошибками измерений.

Найденная зависимость $N_n(h)$ дает возможность определить высотный профиль электронной концентрации в окололунном пространстве. В пред-

положении сферической симметрии распределения эта обратная задача сводится к интегральному уравнению Абеля ⁽³⁾, результаты численного решения которого приведены на рис. 26 в виде зависимости концентрации электронов от высоты над лунной поверхностью.

Как видно из графика, электронная концентрация, имеющая наибольшее значение на высотах 5—10 км, равное $900 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-3}$, монотонно спадает с удалением от поверхности Луны. В связи с упомянутой выше особенностью изменения величины $\Delta\psi(t)$ при малых расстояниях h вопрос о распределении $N(h)$ в диапазоне высот 0—5 км требует дополнительного рассмотрения и пока остается открытым.

Таким образом, изложенный экспериментальный материал свидетельствует о наличии в окололунном пространстве над освещенной Солнцем поверхностью Луны плазмы с концентрацией электронов порядка $10^3 \text{ эл} \cdot \text{см}^{-3}$.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР
Москва

Поступило
28 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Колосов, Н. А. Савич и др., Космические исследования, 8, в. 5 (1970). ² J. A. Klobuchar, J. Aarons, H. H. Hosseinich, J. Geophys. Res., 73, № 23, 7530 (1968). ³ R. A. Phinney, D. L. Anderson, *ibid.*, 73, № 5, 1819 (1968).