

РАДИОЛОКАЦИЯ ПЛАНЕТЫ МАРС В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ

*В. А. Котельников, В. М. Дубровин, Б. А. Дубинский, М. Д. Кислик,
Б. И. Кузнецов, Г. М. Петров, А. П. Работягов, О. Н. Ржига, А. М. Шаховской*

Доклады Академии наук СССР. 1963. Том 151, № 4

Радиолокация планеты Марс проводилась в первой половине февраля 1963 г., в период противостояния. Противостояние 1963 г. было неблагоприятным для наблюдений, так как во время измерений Марс находился от Земли на расстоянии 100–101 млн км.

Наблюдение Марса проводилось на частоте около 700 МГц. Поляризация излучаемых волн была круговой, на приеме поляризация антенны изменялась на линейную. Общая чувствительность установки была такой же, как и при радиолокации Меркурия в 1962 г. [2]. Мощность излучаемого сигнала, падающая на всю видимую поверхность Марса, составляла 1,2 Вт. Передача велась сеансами в течение времени прохождения сигнала от Земли до Марса и обратно (около 11 минут), затем в течение такого же времени проводился прием.

Передаваемый сигнал имел вид чередующихся прямоугольных посылок пауз на двух частотах, отличающихся на 62,5 Гц. Длительность посылки пауз на каждой частоте была равна 4,096 сек. Смещение несущей частоты манипуляции отраженных сигналов, вызываемое эффектом Доплера из-за движения Марса и Земли (с учетом ее вращения), компенсировалось по расчетной программе. Принятые сигналы записывались на магнитную ленту вместе с колебанием частоты 2000 Гц, служившим масштабом времени. Спектральный анализ принятых сигналов с магнитных лент проводился так же, как и при радиолокации Меркурия и Венеры в 1962 г. [2, 3].

Ввиду того, что отраженный сигнал был очень слабым и в единичном сеансе обнаружить его было невозможно, особое внимание обращалось на контроль правильности работы всей аппаратуры.

Наведение антенны проверялось при помощи теодолита, установленного на антенне, в перекрестье которого был виден Марс (кроме ночи с 9 на 10 февраля, когда он не был виден из-за облачности). Контроль излучения передатчика осуществлялся при помощи вспомогательного приемника, сигналы с выхода которого подавались на осциллограф, а также прослушивались на громкоговорителе. Калибровка чувствительности приемной установки производилась каждый день

перед началом работы и после ее окончания по излучению внеземного дискретного источника Кассиопея А. В промежутках между сеансами приемник калибровался с помощью отградуированного по Кассиопее А шумового генератора.

Введенное значение поправки на смещение частоты из-за эффект Доплера контролировалось электронно-счетным частотомером. Работу модулятора можно было проверить по фотозаписям модулирующих сигналов, которые регистрировались на шлейфовом осциллографе вместе с метками времени. Работа всей установки в комплексе проверялась с помощью имитатора, от которого на вход приемника подавался соответственно ослабленный сигнал передатчика.

Основные измерения проводились каждую ночь с 6 по 10 февраля 1963 г. За это время было проведено 90 22-минутных сеансов приема-передачи, во время которых вся аппаратура работала нормально. Отраженный от Марса сигнал был надежно обнаружен в 28 сеансах, проведенных в ночь с 7 на 8 февраля, и в 20 сеансах с 8 на 9 февраля.

Результаты анализа спектра принятого сигнала по 48 сеансам, в которых был обнаружен отраженный сигнал, представлены на рис. 1. Анализ проводился фильтрами с полосой по 4 Гц. Время накопления — 8,5 час. Спектр рис. 1 является суммой результатов измерения на обеих частотах, излучавшихся передатчиком.

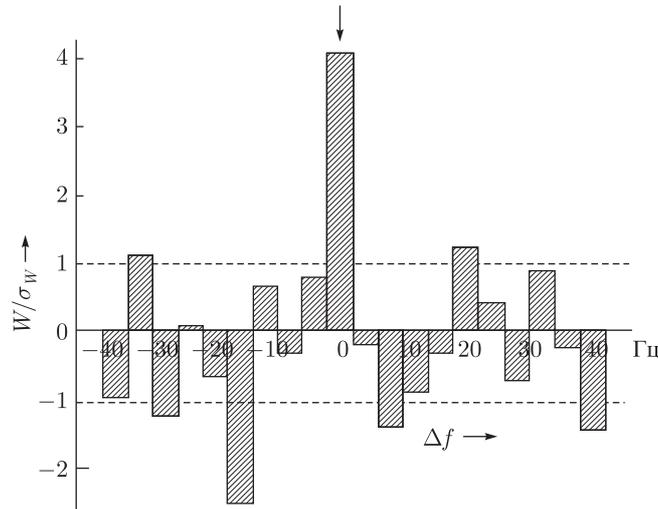


Рис. 1. Спектр принятого сигнала. Полоса фильтров 4 Гц. Время накопления 8,5 часов. Δf — разность частот настройки фильтров относительно частоты центрального соответствующей средней расчетной частоте спектра отраженного сигнала: W — энергия, накопленная в полосе каждого фильтра, σ_W — среднеквадратичное значение погрешности измерений, вызываемой шумами

Как видно из рис. 1, в спектре отраженного сигнала наблюдается узкополосная составляющая, энергия которой, накопленная в полосе центрального фильтра, превышает в 4 раза среднеквадратичное значение потребности измерений, вызываемой шумами. Вероятность, что этот результат был вызван шумом, равна всего 0,003 %.

В расчетах доплеровского смещения частоты и запаздывания отраженных сигналов значение астрономической единицы принималось равным $A = 149\,599\,300$ км, которое было получено при радиолокации Венеры в 1961 г. [1]. Как видно из рис. 1, частота узкополосной составляющей отраженного сигнала соответствует расчетному значению (с максимальной ошибкой $\delta f = \pm 2$ Гц, обусловленной шириной полосы центрального фильтра. Таким образом, радиолокационные наблюдения планеты Марс подтверждают результаты измерения астрономической единицы, полученные при радиолокации планет Венера [1, 3] и Меркурий [2]. Величина доплеровского смещения частоты, вызываемого движением Марса и Земли, во время наблюдений составляла $\Delta f_d = 8 \div 12$ кГц. Поэтому ошибка измерения астрономической единицы при радиолокации Марса должна лежать в пределах

$$\delta A = A \frac{\delta f}{\Delta f_d} \simeq \pm 30\,000 \text{ км.} \quad (1)$$

Точное измерение расстояния между Землей и Марсом, ввиду недостаточного уровня сигнала, не производилось.

Результаты последовательного накопления энергии отраженных сигналов в полосе 4 Гц центрального фильтра в дни наблюдений изображены на рис. 2. Накопление энергии показано в отдельности для каждой из частот, излучавшихся передатчиком (кривые 1 и 2), и для их суммы (кривая 3). В сеансах, проведенных с 7 на 8 и с 8 на 9 февраля, когда был обнаружен отраженный сигнал, накопление энергии шло равномерно по обеим частотам. В сеансах с 6 на 7 и с 9 на 10 февраля, когда отраженный сигнал не был обнаружен, кривые колеблются около нуля. Причина отсутствия сигнала в этих сеансах не выяснена. Возможно, что это связано с изменением отражающих свойств поверхности Марса в эти дни.

Для Марса, период вращения которого по астрономическим наблюдениям равен 24 час. 37 мин., полная ширина спектра отраженных сигналов на частоте 700 МГц, учитывая наклон оси вращения, могла достигать 200 Гц. Получение узкополосного спектра от планеты с быстрым вращением свидетельствует о наличии на поверхности Марса достаточно ровных горизонтальных участков размером в несколько километров и более.

Средний коэффициент отражения Марса, определенный как отношение энергии отраженных сигналов в полосе 4 Гц за 48 сеансов наблюдений (7–9 февраля 1963 г.) к энергии сигналов, которые принимались бы, если бы Марс был гладким идеально проводящим шаром, получился равным 7%. Этот коэффициент отражения близок

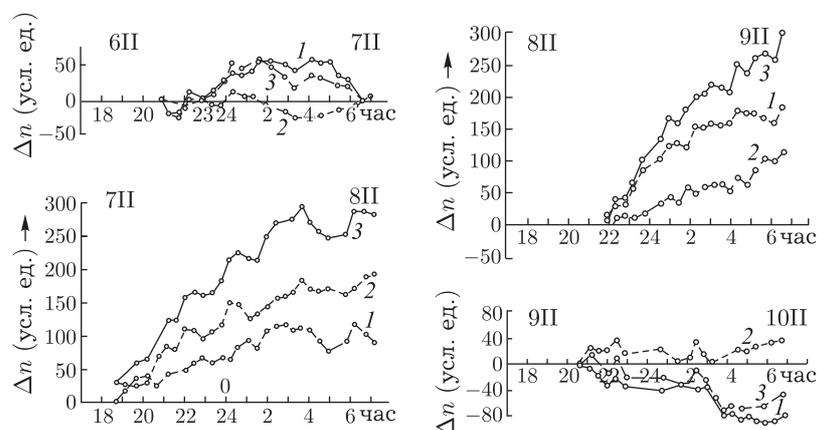


Рис. 2. Результаты последовательного накопления энергии отраженного от Марса сигнала в полосе 4 Гц 6–10 II 1963 г.

к значению, полученному при радиолокации Венеры, и больше, чем у Луны.

Наблюдавшиеся отраженные сигналы приходили от той части поверхности Марса, которая в данный момент была ближе всего к Земле. Вследствие вращения Марса отражающая зона перемещалась в течение дня по его поверхности почти точно вдоль параллели (см. рис. 3). Траектория отражающей зоны сдвигалась ото дня ко дню примерно на 500 км по долготе и только на 7 км по широте. Исследованная область расположена в северном полушарии и имела ареографические (марсовы) координаты: $14^{\circ}30'$ до 14° широты, от 310 до 360° и от 0 до 140° долготы. Эта область соответствует более светлым частям его поверхности (рис. 3), условно называемым материками.

В табл. 1 представлено изменение по долготе коэффициента отражения исследованной области поверхности Марса, определенное по энергии отраженных сигналов в полосе 4 Гц за несколько сеансов.

Таблица 1

Долгота	$310-320^{\circ}$	$320-340^{\circ}$	$340-360^{\circ}$	$0-20^{\circ}$	$20-40^{\circ}$	$40-60^{\circ}$	$60-80^{\circ}$	$80-100^{\circ}$	$100-120^{\circ}$	$120-140^{\circ}$
Число сеансов	2	2	6	6	5	7	6	6	6	2
Коэффициент отражения, %	13	7	12	7	15	5	3	3	7	3

Ввиду малого числа сеансов отношение сигнал/шум в этих измерениях не превышало 1,5–2,5, и приведенные в таблице данные по коэффициенту отражения нельзя считать очень надежными.

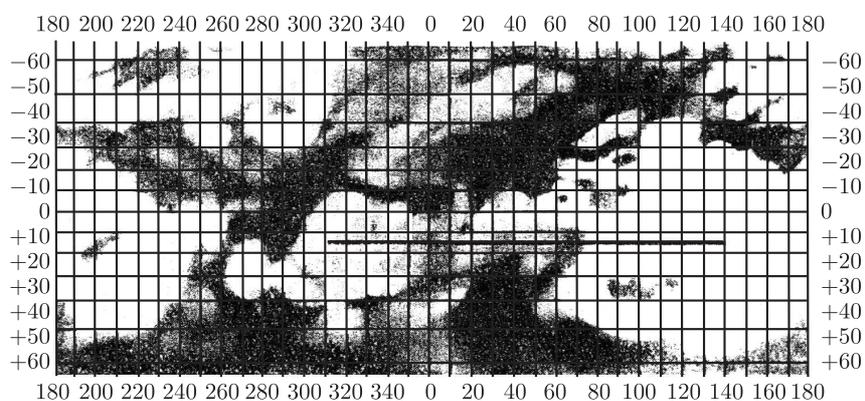


Рис. 3. Астрономическая карта планеты Марс, принятая Международным астрономическим съездом в 1958 г. [4], с исследовавшейся областью

Радиолокация планеты Марс была проведена Институтом радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом других организаций.

Авторы выражают благодарность Л. В. Апраксину, В. О. Войтову, М. М. Дедловскому, Г. А. Журкиной, А. М. Лукину, Н. М. Синодкину, Б. А. Степанову, А. В. Францессону, Д. М. Цветкову и И. А. Шарбарину, участвовавшим в подготовке и проведении измерений.

Институт радиотехники
и электроники Академии наук СССР

Поступило 22 VI 1963

Цитированная литература

1. В. А. Котельников, В. М. Дубровин и др., ДАН, 145, № 5 (1962).
2. В. А. Котельников, Г. Я. Гуськов и др., ДАН, 147, № 6 (1962).
3. В. А. Котельников, В. М. Дубровин и др., ДАН, 151, № 3 (1963).
4. J. Ahbrook, *Sky and Telescope*, 28, № 1 (1958).