

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ВЕНЕРЫ

*Академик В. А. Котельников, В. М. Дубровин, М. Д. Кислик, Е. Б. Коренберг,
В. П. Минашин, В. А. Морозов, Н. И. Никитский, Г. М. Петров, О. Н. Ржига
и А. М. Шаховской*

Доклады Академии наук СССР, 1962, Том 145, № 5

Как указывалось в предварительных сообщениях [1, 2], Институт радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом организаций провели в апреле 1961 г. радиолокационные наблюдения планеты Венера. Частота передатчика космического радиолокатора была около 700 МГц. Плотность потока мощности составляла 250 МВт на стерадиан, что давало 15 Вт на поверхность Венеры. Поляризация передаваемых волн была круговая. На приеме антенна имела линейную поляризацию. Передаваемый сигнал имел вид прямоугольных импульсов длительностью 128 или 64 мсек, разделенных такими же паузами. В некоторые дни вместо пауз давался импульс той же длительности, но на другой частоте. В частоту сигнала и модуляции на передаче вносились расчетные поправки на доплеровское смещение, вызванное изменением расстояния между Землей и Венерой и вращением Земли. Частоты передатчика, его модуляции и гетеродинов приемника задавались прецизионным кварцевым генератором со стабильностью больше 10^{-9} .

Передача велась сеансами в течение времени прохождения сигнала от Земли до Венеры и обратно (около 5 мин.). Затем в течение такого же времени осуществлялся прием.

Приходящие сигналы принимались супергетеродинным приемником, на выходе которого отраженный от Венеры сигнал должен иметь частоту около 700–750 Гц (в зависимости от величины астрономической единицы). Этот сигнал вместе с шумами записывался на магнитную ленту в полосе 420–1020 Гц. На ту же ленту записывалось колебание с частотой 2000 Гц, служащее масштабом времени и использовавшееся для контроля и поддержания скорости движения магнитной ленты при воспроизведении. Начало записи этого колебания точно соответствовало расчетному моменту прихода 5-минутной серии отраженных сигналов, что давало возможность судить, насколько фактическое время прохождения сигнала до Венеры и обратно отличалось от расчетного.

Колебания с магнитной ленты анализировались с помощью широкополосного и узкополосного анализаторов. Широкополосный анализатор

содержал 10 фильтров, имеющих полосы пропускания по 60 Гц и охватывающих диапазон частот от 420 до 1020 Гц. После каждого фильтра определялась разностная энергия

$$\Delta W_\tau = W' - W'' \quad (1)$$

где W' — суммарная энергия колебания на выходе фильтра за заштрихованные один раз отрезки времени (см. рис. 1), W'' — аналогичная энергия за отрезки, заштрихованные дважды.

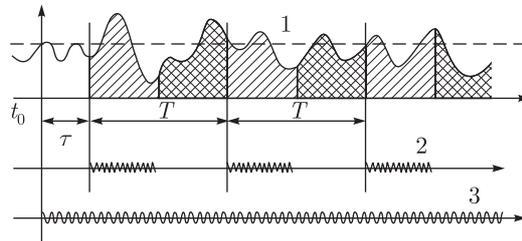


Рис. 1. t_0 — расчетный момент времени прихода серии отраженных сигналов (момент начала записи колебания 2000 Гц); T — период модуляции; τ — задержка, устанавливаемая по желанию; 1 — мощность суммы отраженного сигнала и шума; 2 — фактически пришедший отраженный сигнал; 3 — колебание 2000 Гц

Накопление энергии производилось с помощью счетчиков дискретных импульсов, число которых было пропорционально энергии. Узкополосный анализатор содержал 10 фильтров с полосой 4 Гц каждый, перекрывавших полосу 40 Гц. В этом случае коммутация сигнала в соответствии с рис. 1 производилась не на выходе фильтров, как делалось в широкополосном анализаторе, а на их входе.

Анализ спектра отраженных сигналов показал, что они могут быть представлены как сумма двух составляющих — узкополосной и широкополосной. Ширина узкополосной составляющей в основном определялась амплитудной модуляцией посылавшихся сигналов и не превышала нескольких герц. Ширина широкополосной составляющей была несколько сот герц. Примеры спектра этих составляющих, полученные за 5 сеансов 18 IV 1961 г., изображены на рис. 2. Для того чтобы узкополосная составляющая не искажала спектра широкополосной, перед широкополосным анализатором ставился режекторный фильтр. На рис. 2 горизонтальные пунктирные линии показывают значение среднеквадратической ошибки измерения.

На рис. 3 показана средняя суммарная мощность отдельно для узкополосной и для широкополосной составляющей за различные дни. Спектральная плотность энергии узкополосной составляющей была на 2 порядка больше, чем у широкополосной.

Сопоставляя энергию узкополосной составляющей с энергией, которую улавливал приемник от дискретного источника — радиозвезды

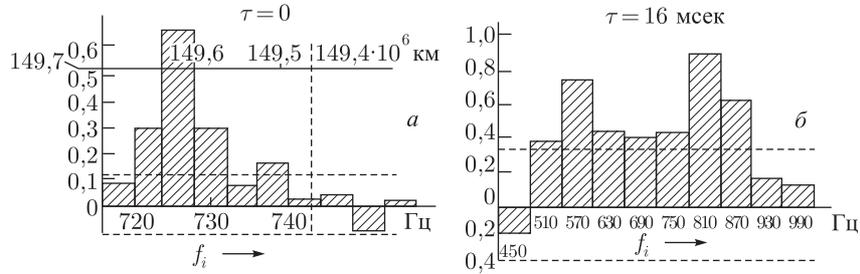


Рис. 2. Спектры отраженных сигналов за 5 сеансов 18 IV 1961 г. узкополосной (а) и широкополосной (б) составляющих. Ордината — отношение средней мощности сигнала после фильтра к шуму в полосе 1 Гц, абсцисса — частота фильтра

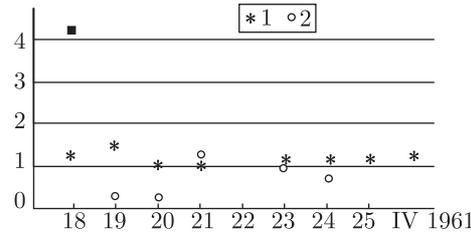


Рис. 3. Полная средняя мощность составляющих отраженного сигнала по дням: узкополосной составляющей при $\tau = 0$ (1) и широкополосной составляющей при $\tau = 16$ msec (2). Ордината — отношение средней мощности сигнала к шуму в полосе 1 Гц

А Кассиопеи, было установлено, что эта составляющая содержала 8% той энергии, которая принималась бы, если бы Венера была гладким хорошо проводящим шаром.

Величина астрономической единицы длины (среднее расстояние между Солнцем и центром тяжести системы Земля–Луна) определялась двумя способами: по доплеровскому смещению спектра узкополосной составляющей и по запаздыванию отраженного сигнала, поскольку это давало расстояние между Венерой и Землей и скорость его изменения в метрах, а из расчета эти же величины были известны в астрономических единицах. На рис. 2, а дана шкала, показывающая расчетные значения середины спектра отраженного сигнала в зависимости от величины астрономической единицы. Как видно, спектр рис. 2, а соответствовал астрономической единице $149,6 \cdot 10^6$ км. Усреднение полученных этим методом значений за все дни наблюдения дало величину астрономической единицы $149\,598\,000$ км со среднеквадратической ошибкой 3300 км).

Значения астрономической единицы, полученные по запаздыванию узкополосной составляющей отраженного сигнала по отдельным сеан-

сам, показаны на рис. 4. Среднее из этих значений дает величину 149 599 300 со среднеквадратичной ошибкой 570 км. При этом были учтены следующие возможные ошибки: от разброса отдельных измерений 330 км; от незнания точного радиуса Венеры (ошибка его значения считалась 70 км) 220 км; от незнания точного значения скорости света 100 км; от систематического неучтенного запаздывания в аппаратуре 340 км; от неточного расчета расстояния Земля–Венера в астрономических единицах 220 км. При вычислении радиус Венеры брался равным 6100 км и скорость света 299 792,5 км/сек.

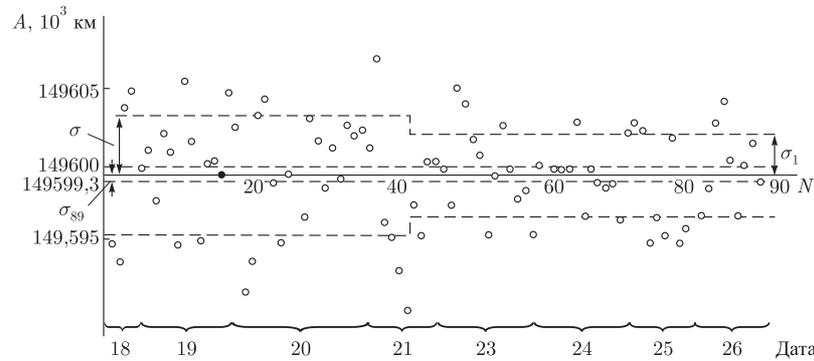


Рис. 4. Значения астрономической единицы, полученные по запаздыванию сигнала по отдельным 5-минутным сеансам

Из-за периодичности использованного сигнала время его запаздывания и астрономическая единица определялись этим методом неоднозначно. Таким образом, астрономическая единица получалась равной $149\,599\,300 \pm Ln$, где n — целое число, а L для импульсов с периодом 256 мсек. равно $120\,000 \div 130\,000$ км в зависимости от дня наблюдения. Неоднозначность раскрывалась двумя методами: по сравнению с величиной астрономической единицы, полученной нами по доплеровскому смещению спектра, и по постоянству полученного значения астрономической единицы за различные дни. Если бы неоднозначность была раскрыта неправильно, то значение астрономической единицы за время с 18 IV 1961 г. по 26 IV 1961 г. изменилось бы на величину $\pm 11\,000$ км или больше, чего, в действительности, как видно из рис. 4, не было ¹⁾.

Нет никаких сомнений, что наличие узкополосной составляющей сигнала можно объяснить только отражением посланных сигналов от

¹⁾ Опубликованные предварительные данные [1] содержат неправильное значение астрономической единицы, так как неоднозначность тогда была раскрыта путем сопоставления с ранее опубликованными значениями астрономической единицы, определенными различными методами. Эти значения, очевидно, были неправильными. Анализ узкополосным анализатором тогда проделан еще не был.

поверхности Венеры, поскольку эта составляющая наблюдалась регулярно в течение многих десятков сеансов и имела все время запаздывание и доплеровское смещение частоты, согласующиеся с движением Венеры. Полученные нами параметры узкополосной составляющей согласуются с параметрами отраженных от Венеры локационных сигналов, наблюдавшихся в 1961 г. другими исследователями [3–5].

Широкополосная составляющая другими исследователями не наблюдалась. Вероятность того, что за широкополосную составляющую были приняты случайные реализации шумов и помех, была оценена — она оказалась порядка 10^{-2} или даже меньше. Проверка передающей и приемной аппаратуры показала, что в ней размытия спектра сигналов, могущего объяснить появление этой составляющей, не было. Поскольку приемник включался примерно через полминуты после выключения передатчика, никакие отражения сигналов от образований, близких к Земле (например, ионосферы), приниматься не могли. Появление этой составляющей за счет отражения от каких-либо «облаков» в космическом пространстве также маловероятно. Для этого скорость их движения должна была быть близкой к скорости движения Венеры, иначе из-за доплеровского сдвига частоты они не попали бы в приемник. Кроме того, запаздывание этой составляющей и ее отдельных частей, прошедших через различные фильтры анализатора, показывают, что они приходили с дальности, согласующейся с расстоянием до Венеры. Таким образом, наиболее вероятно, что эта составляющая также обязана своим происхождением либо отражению от поверхности Венеры, либо от каких-то образований около нее.

Рассмотрим два возможных варианта.

А. Широкополосная составляющая образуется вследствие отражения сигнала от всей поверхности Венеры и доплеровского сдвига, вызванного ее вращением. Узкополосная составляющая вызвана отражением от наиболее близкого к нам участка поверхности Венеры (блестящей точки).

Поскольку расширение линий спектра в узкополосной составляющей сигнала по крайней мере в 100 раз меньше, чем в широкополосной, следует предположить, что «блестящая точка» имеет размер меньше $1/100$ диаметра Венеры. Это может быть, если поверхность Венеры значительно более гладкая, чем поверхность Луны.

При данном предположении для размытия линий на ± 200 Гц период вращения Венеры должен быть около 10 суток, если ее ось вращения перпендикулярна направлению на Землю и отражает всю поверхность. Если ось вращения составляет 60° к направлению на Землю [6], то период сокращается до 9 суток. Если регистрировался нами не весь спектр и он в действительности шире 400 Гц, то период вращения должен быть еще меньше.

Б. Отражающие свойства Венеры примерно такие же, как у Луны. Тогда узкополосная составляющая отраженного сигнала должна соответствовать по аналогии с Луной отражению от пятна в $1/10$ радиуса

Венеры. В этом случае, учитывая, что эта составляющая, по нашим данным, уже 4 Гц, мы получаем период вращения больше 100 суток.

При этом варианте широкополосную составляющую нельзя объяснить отражением от поверхности планеты, и следует предположить, что она произошла вследствие отражения от каких-то образований, движущихся со скоростями до ± 40 м/сек относительно Венеры или даже быстрее, например, от сильно ионизированных потоков. Однако для этого ионизация в этих потоках должна быть намного больше, чем в ионосфере Земли. Последние данные [7] указывают, что это, возможно, имеет место.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступило 22 V 1962

Цитированная литература

1. Газеты «Правда» и «Известия» 12 V 1961 г.
2. V. A. Kotelnikov, J. Brit. Inst. Radio Eng., 22, № 4, 293 (1961).
3. I. H. Thomson, G. N. Taylor, I. E. Ponsonby, R. S. Roger, Nature, № 4775, 519 (1961).
4. The Staff Millstone Radar Observatory, The Scale of the Solar System, Nature, 190, № 4776, 592 (1961).
5. L. R. Mallimg, S. W. Golomb, J. Brit. Inst. Radio Eng., 22, № 4, 297 (1961).
6. Д. Я. Мартынов, Загадки Венеры, Природа, № 10, 8 (1960).
7. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Астр. журн., 38, в. 6, 1115 (1961).