

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЛОКАЦИИ ВЕНЕРЫ

В 1961 г.

*В. А. Котельников, В. М. Дубровин, В. А. Морозов, Г. М. Петров, О. Н. Ржига,
З. Г. Трунова, А. М. Шаховской*

Радиотехника и электроника, 1962, № 11

Приводятся формы спектров сигналов, отраженных от планеты Венера. Указываются полученные значения астрономической единицы и коэффициента отражения поверхности Венеры. Оценивается период вращения Венеры.

Введение

В статье излагаются результаты обработки радиолокационных наблюдений планеты Венера, произведенных в апреле 1961 г. [1, 2]. Анализ спектра отраженных сигналов проводился в Институте радиотехники и электроники АН СССР по магнитным записям при помощи специального анализатора [3, 4].

1. Узкополосная составляющая отраженного сигнала

Анализ спектра отраженных сигналов показал, что их можно представить как сумму двух составляющих — узкополосной и широкополосной.

Результаты измерения спектра узкополосной составляющей сигнала с фильтрами, обладавшими полосой пропускания 4 Гц, в отдельные дни наблюдения с 18 по 26 IV 1961 г. приведены на рис. 1. По оси абсцисс на рисунках отложена частота спектральных составляющих сигнала на выходе приемного устройства (f_i), по оси ординат — отношение средней мощности сигнала в полосе фильтра к спектральной плотности шума:

$$b_{\tau}(f_i) = \frac{2\Delta W_{\tau}(f_i)}{T_c N_0}, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\tau}(f_i)$ — пересчитанная на вход анализатора величина средней за сеанс разностной энергии¹⁾, полученной при задержке τ в фильтре

¹⁾ См. выражение (1) в [3].

со средней частотой f_i . Задержка τ бралась относительно расчетного времени запаздывания сигнала, вычисленного для значения астрономической единицы $149\,600\,000$ км²). Измерение мощности производилось на задержке $\tau = 0$ [$b_0(f_i) = b_\tau(f_i)$ при $\tau = 0$]; N_0 — спектральная плотность шума на входе анализатора; T_c — средняя длительность одного сеанса, равная приблизительно 300 сек.

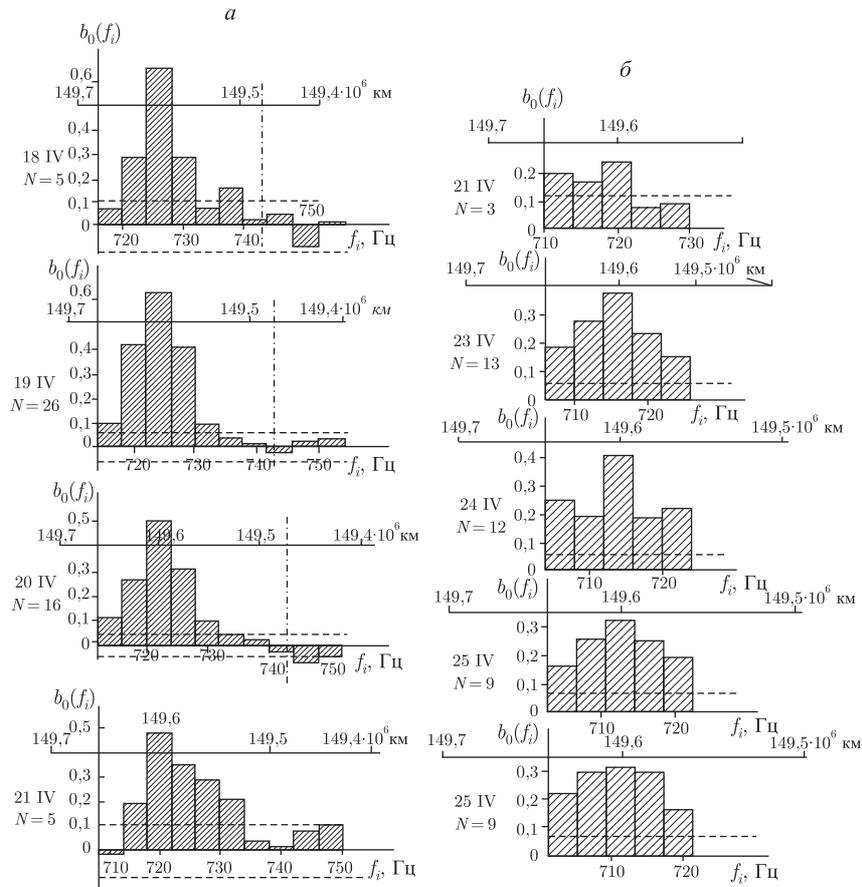


Рис. 1. Спектр узкополосной составляющей отраженного сигнала по дням. Фильтры с полосами пропускания по 4 Гц: а — частота манипуляции 4 Гц; б — частота манипуляции 8 Гц

²) Астрономическая единица длины — среднее расстояние центра тяжести системы Земля–Луна от центра Солнца. Орбиты планет с большой точностью выражены через эту единицу, сама же эта единица в метрах известна с меньшей точностью.

Горизонтальным пунктиром на графиках рис. 1 отмечены величины среднеквадратичной погрешности соответствующих измерений. С левой стороны у каждого графика указаны дата наблюдения и количество сеансов (N), по которым производилось измерение.

На рис. 1, *a* спектр узкополосной составляющей изображен для сигнала с частотой манипуляции 4 Гц, на рис. 1, *б* — для сигнала с частотой манипуляции 8 Гц. Компенсация сдвига частоты из-за эффекта Доплера в этих сеансах производилась, исходя из значения астрономической единицы 149 474 440 км. Если бы компенсация доплеровского сдвига частоты была произведена полностью, то центр спектра узкополосной составляющей сигнала соответствовал частоте 743 Гц, которая на рис. 1, *a* показана вертикальным штрих-пунктиром. Однако, как следует из графиков, средняя частота спектра узкополосной составляющей сигнала из-за неполной компенсации сдвига частоты, вызываемого эффектом Доплера, меньше расчетной (743 Гц) и каждый день уменьшалась по мере удаления Венеры.

На рис. 2 показан усредненный за ряд дней спектр узкополосной составляющей отдельно для сигнала с частотой манипуляции 4 Гц (*a*) и сигнала с частотой манипуляции 8 Гц (*б*) при условии, что компенсация сдвига частоты из-за эффекта Доплера производилась, исходя из значения астрономической единицы 149 600 000 км. По оси ординат на этих графиках отложена величина $b_0(f_i)$, по оси абсцисс — отклонение частоты спектральных составляющих сигнала (Δf) от расчетного значения несущей частоты.

Из приведенных графиков видно, что ширина спектра узкополосной составляющей сигнала определяется в основном частотой манипуляции сигнала (4 и 8 Гц). Из анализа спектров и оценки степени стабильности аппаратуры можно сделать вывод, что расширение спектральных линий узкополосной составляющей сигнала, обусловленное свойствами отражающей поверхности Венеры, не превышает 4 Гц.

Значения полной мощности узкополосной составляющей сигнала по отдельным дням работы приведены на рис. 3, *a* (кружки). По оси абсцисс отложены дни измерений, по оси ординат — отношение суммарной мощности узкополосной составляющей сигнала к спектральной плотности шума (B_T). Для сигнала с частотой манипуляции 4 Гц (18–24 IV) суммирование произведено в полосе 12 Гц по трем фильтрам: для сигнала с частотой манипуляции 8 Гц — по пяти фильтрам в полосе 20 Гц. Длина вертикальных отрезков, проведенных через точки значений B_T , равна двойному среднеквадратичному значению погрешности, имевшей место в данных измерениях (без учета систематических ошибок). Как видно из рис. 3, мощность узкополосной составляющей сигнала была примерно одинаковой во все дни измерений.

Энергия сигналов, отраженных от Венеры, была определена путем сравнения с энергией, улавливаемой установкой от внеземного дискретного источника Кассиопея А, интенсивность которого хорошо известна. По величине этой энергии был вычислен средний коэффициент отра-

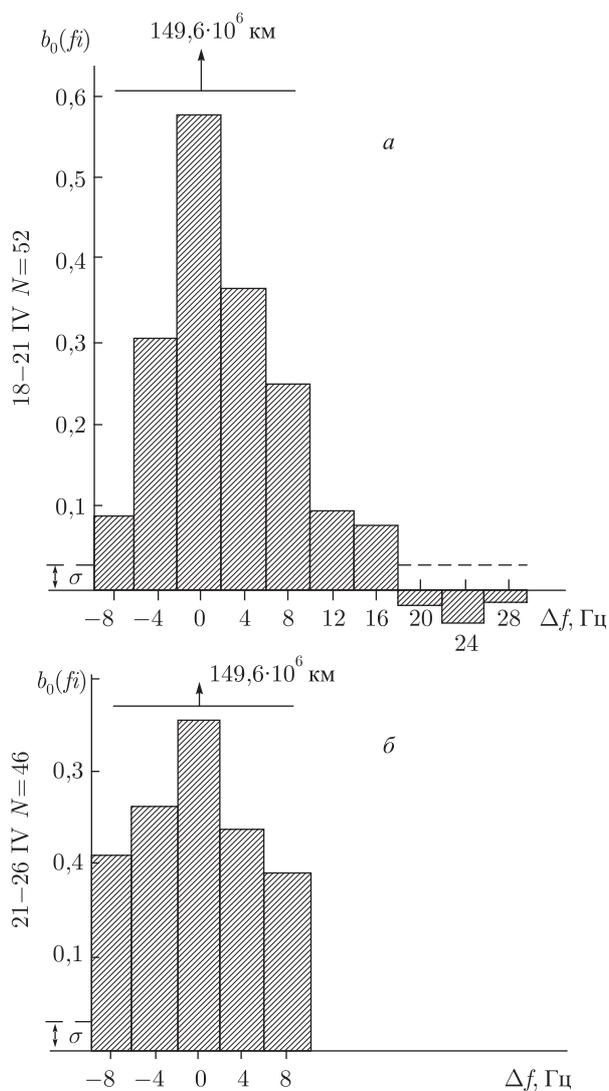


Рис. 2. Усредненные спектры узкополосной составляющей отраженных сигналов по всем сеансам. Фильтры с полосами пропускания по 4 Гц: а — частота манипуляции 4 Гц; б — частота манипуляции 8 Гц

жения поверхности Венеры. Для узкополосной составляющей величина принятой отраженной мощности составляла 8% от мощности, которая была бы принята при замене Венеры хорошо проводящей гладкой сферой того же размера.

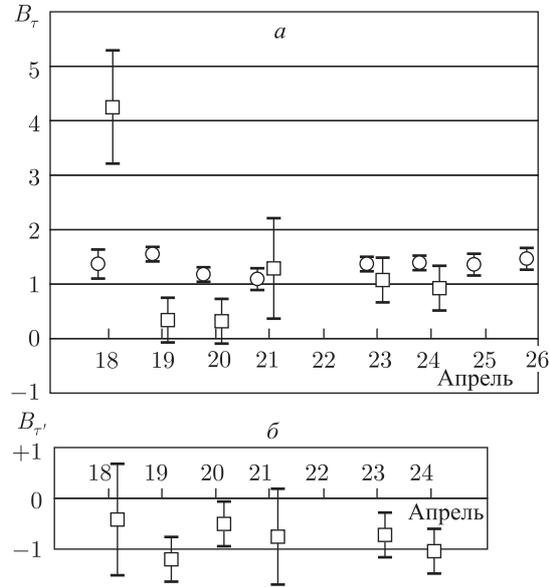


Рис. 3. Полная средняя мощность, отдельно для узкополосной составляющей (кружки) при $\tau = 0$ и для широкополосной составляющей (квадраты): *a* — при $\tau = 16$ мсек; *б* — при $\tau = 80$ мсек (18–21 IV) и при $\tau = 48$ мсек (23, 24 IV)

2. Уточнение астрономической единицы

Скорости планет с большой точностью известны в астрономических единицах в секунду. В зависимости от величины астрономической единицы эти скорости и вызванные ими смещения спектра из-за эффекта Доплера получаются различными. На рис. 1, *a* под осью абсцисс нанесена шкала, показывающая положение центра спектра в зависимости от величины астрономической единицы.

На рис. 4 приведены значения астрономической единицы, определенной по положению центра спектра. По оси абсцисс отложен порядковый номер сеанса, по оси ординат — полученное на его основании значение астрономической единицы. Длина отрезков, отложенных на рис. 4, соответствует неопределенности, обусловленной полосой пропускания фильтра (4 Гц). Ниже оси абсцисс отмечены дни наблюдения, выше оси абсцисс — вид манипуляции.

В результате усреднения отдельных измерений, приведенных на рис. 4, и анализа суммарных спектров по целым дням наблюдений, приведенных на рис. 1 и 2, астрономическая единица, определенная этим методом, может быть оценена величиной 149 598 000 км со среднеквадратичной ошибкой 3300 км.

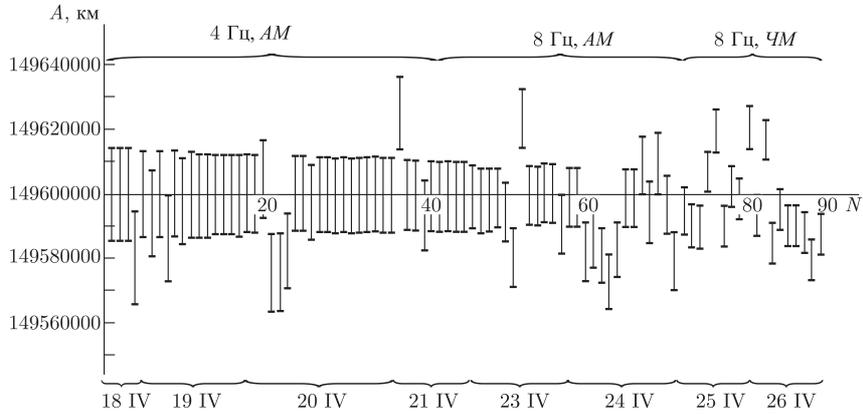


Рис. 4. Величина астрономической единицы, определенная по смещению частоты Доплера в отдельных сеансах

Измерения запаздывания огибающей узкополосной составляющей сигнала, отраженного от Венеры, позволили более точно определить величину астрономической единицы. Определение запаздывания огибающей производилось как для сеанса в отдельности, так и в среднем за целые дни наблюдений по значениям разностной энергии при нескольких задержках τ .

Зависимости разностной энергии узкополосной составляющей сигнала от величины задержки для сигнала с частотой манипуляции 8 Гц приведены для примера на рис. 5. На рис. 5, а показан результат накопления за 28 сеансов 21, 23 и 24 IV 1961 г. для сигнала с амплитудной манипуляцией, на рис. 5, б — за 18 сеансов 25 и 26 IV 1961 г. для сигнала с частотной манипуляцией на 420 Гц (при этом использовался только сигнал, имеющий более высокую частоту). По оси ординат на рис. 5 отложено отношение суммарной разностной энергии по всем сеансам $B_n(\tau)$ к соответствующей среднеквадратичной ошибке измерения σ_{B_n} для двух случаев накопления: для среднего фильтра (штрих-пунктирная линия, $n = 1$) и для суммы энергии в пяти фильтрах (сплошная линия, $n = 5$). Форма аппроксимирующей линии взята из теоретических соображений для отражения от точки. По оси абсцисс отложено значение задержки τ относительно расчетного времени запаздывания сигнала, вычисленного для значения астрономической единицы 149 600 000 км.

Значения астрономической единицы, полученные по измерению запаздывания огибающей узкополосной составляющей сигнала за отдельные сеансы с 18 по 26 IV 1961 г., приведены на рис. 6, где приняты те же обозначения, что и на рис. 4. Штрих-пунктиром на рис. 6 показано значение среднеквадратичной ошибки измерения за один сеанс,

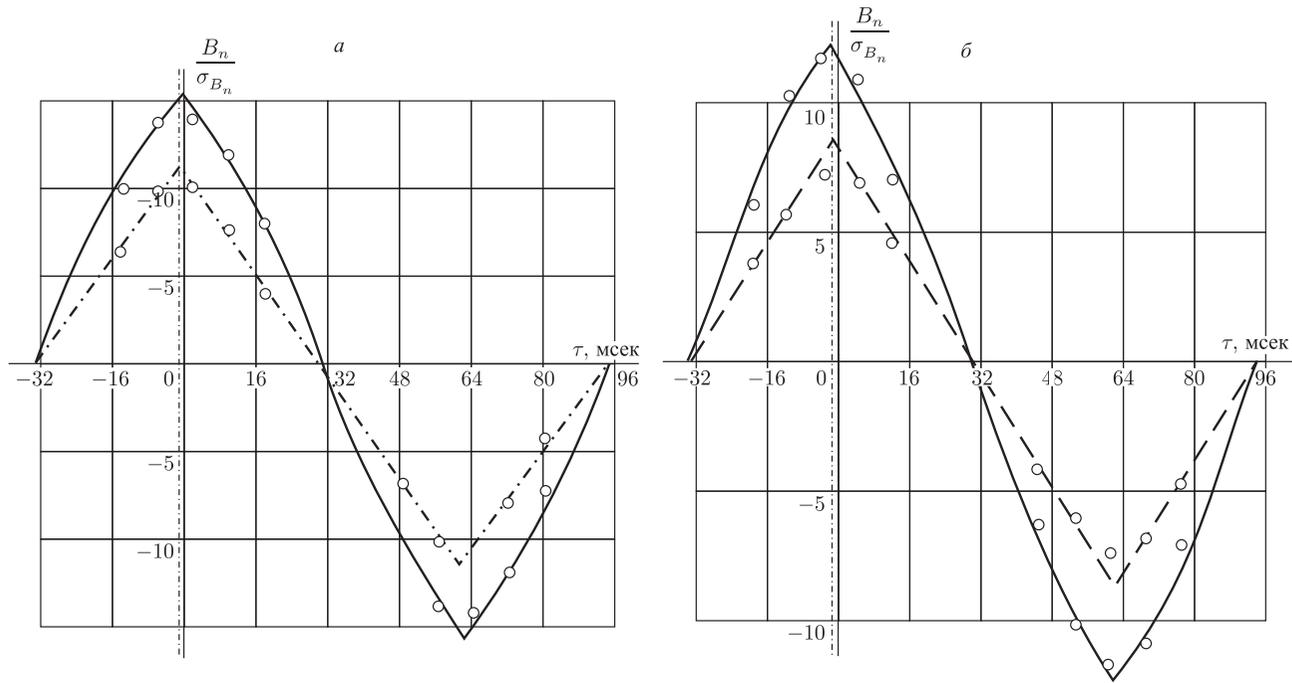


Рис. 5. Зависимость разностной энергии узкополосной составляющей от величины задержки по одному центральному фильтру (штрих-пунктир) и по сумме в пяти фильтрах (сплошная линия): *a* — 28 сеансов за 21, 23, 24 IV, $\Delta\tau = -1,4$ мсек, $\Delta A = -700$ км; *б* — 18 сеансов за 25, 26 IV, $\Delta\tau = -2$ мсек, $\Delta A = -1040$ км

пунктиром — значение результирующей среднеквадратичной ошибки, определенной по разбросу результатов отдельных измерений.

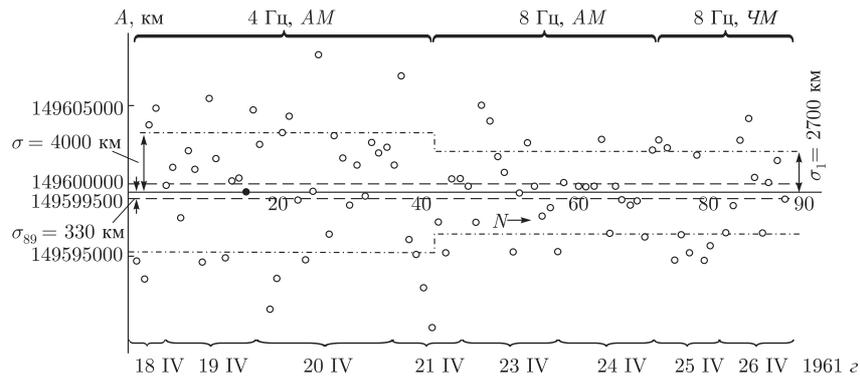


Рис. 6. Величина астрономической единицы, полученная по запаздыванию сигнала в отдельных сеансах

Результаты определения астрономической единицы по измерению запаздывания узкополосной составляющей сигнала, отраженного от Венеры

Вид модуляции и дни наблюдения	Количество сеансов	Среднее значение астрономической единицы, км	Среднеквадратичная ошибка измерения, км
Амплитудная манипуляция 4 Гц 18, 19, 20, 21 IV	41	149 599 470	630
Амплитудная манипуляция 8 Гц 21, 23, 24 IV	30	149 599 300	440
Частотная манипуляция 8 Гц 25, 26 IV	18	149 598 960	700
Все сеансы 8 и 4 Гц вместе 18–26 IV	89	149 599 280	330

В таблице даны усредненные результаты определения астрономической единицы по запаздыванию огибающей на основании данных, приведенных на рис. 6, и среднеквадратичные ошибки измерения, обусловленные только разбросом значений в отдельных измерениях. При вычислении астрономической единицы было принято: скорость света 299 792,5 км/сек, радиус Венеры 6100 км.

Как видно из таблицы, среднее значение астрономической единицы, определенное по запаздыванию огибающей узкополосной составляющей сигнала с 18 по 26 IV, получилось равным 149 599 300 км.

Значение астрономической единицы A , определенное по запаздыванию сигнала применявшимся в данной работе методом, получается неоднозначным. Это видно из формулы

$$A = A_p + \alpha \frac{c}{2} (\Delta\tau \pm nT). \quad (2)$$

Здесь A_p — принятое в расчет значение астрономической единицы; $\Delta\tau$ — полученное из экспериментов значение поправки на запаздывание сигнала (обусловлено расхождением принятого в расчет и истинного значений астрономической единицы); T — период манипуляции; c — скорость света; α — коэффициент, представляющий отношение расчетного значения астрономической единицы к величине расчетного расстояния Земля–Венера в момент измерений (определяется из эфемерид); $n = 0, 1, 2, \dots$

Как следует из этой формулы, при $T = 256$ мсек значение астрономической единицы может быть больше или меньше на 120–130 тыс. км в зависимости от α . Точность определения астрономической единицы по смещению частоты Доплера позволяет уверенно раскрыть эту неоднозначность и выбрать величину 149 599 300 км.

Правильность раскрытия неоднозначности может быть установлена и другим путем. Как видно из формулы (2), величина астрономической единицы при неправильном раскрытии неоднозначности будет меняться от дня ко дню вследствие изменения величины α . Поскольку значение α с 18 по 26 IV изменялось на $\Delta\alpha = 0,085$, величина астрономической единицы за это время, при неправильном раскрытии неоднозначности, должна была бы измениться на $\pm\Delta\alpha \frac{c}{2} nT = \pm 11\,000n$ км. Как видно из рис. 6, это не имеет места³⁾.

Среднеквадратичная ошибка измерения астрономической единицы, определенная по разбросу результатов в отдельных измерениях, получилась равной 330 км (см. таблицу). Сюда нужно добавить следующие систематические ошибки.

Среднеквадратичное значение ошибки за счет неточного учета запаздывания сигнала в тракте передачи и приема можно принять равным 0,7 мсек, что дает погрешность измерения астрономической единицы 340 км.

Пределы незнания скорости света можно оцепить величиной $\pm 0,6$ км/сек, см. [8], что в пересчете на астрономическую единицу дает среднеквадратичную ошибку 100 км. В наших расчетах радиус

³⁾ В первоначальных сообщениях [1] неоднозначность была раскрыта на основании имевшихся тогда данных об астрономической единице. Эти данные были получены на протяжении многих лет различными исследователями астрономическим и радиоастрономическим путем (см. рис. 7). Как выяснено теперь, они были ошибочными. Поэтому указанное в газетах значение астрономической единицы также ошибочно. Анализ сигнала фильтрами с полосами пропускания по 4 Гц тогда еще не был проделан.

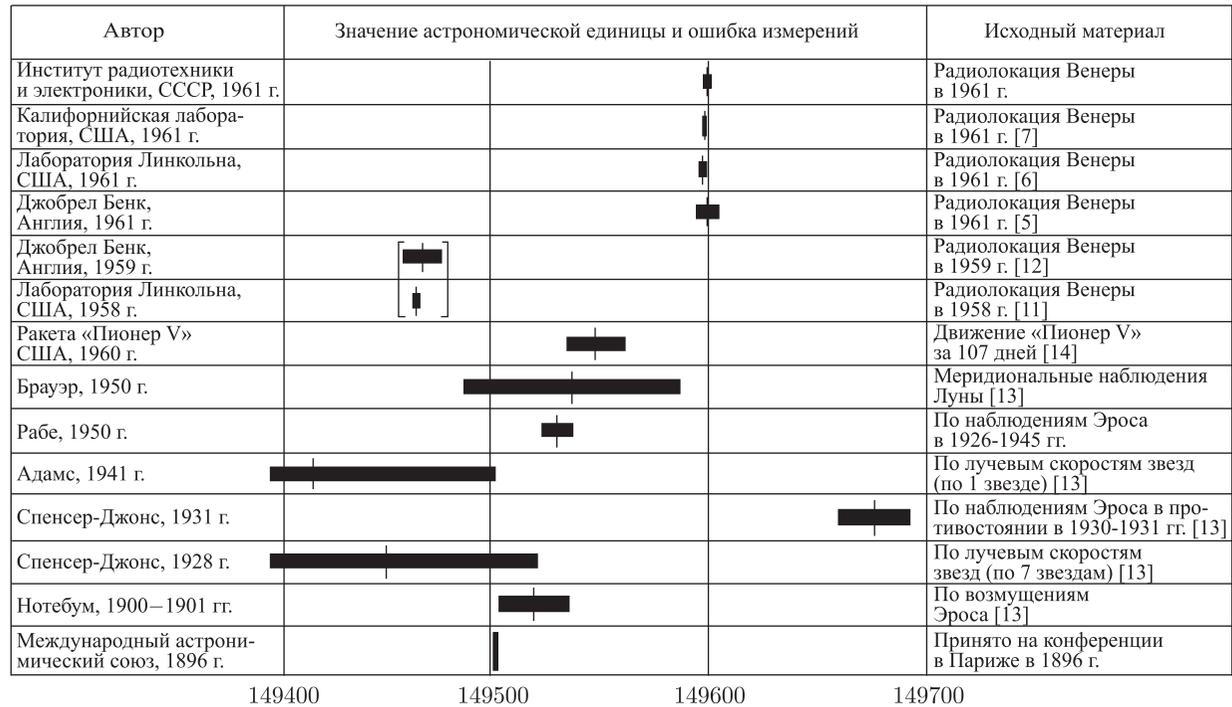


Рис. 7. Результаты определения астрономической единицы радиолокационными и астрономическими методами

Венеры был принят 6100 км. Если допустить среднеквадратичную ошибку 70 км, то добавочная среднеквадратичная ошибка измерения астрономической единицы составит 220 км.

Земная ионосфера вызывает на частоте 700 МГц дополнительное запаздывание меньше 0,01 мсек. Космическое пространство, если взять концентрацию электронов в нем даже 1000 э на 1 см³, дает дополнительное запаздывание радиосигналов 0,02 мсек. Таким образом, если принять, что ионосфера Венеры примерно такая же, как на Земле, то общее дополнительное запаздывание будет меньше 0,04 мсек, что может уменьшить значение астрономической единицы не более чем на 20 км.

Если принять, что поверхность Венеры имеет тот же характер, что и поверхность Луны, то глубина основной отражающей области должна быть порядка 30 км. Это может дать погрешность в определении астрономической единицы 45 км.

К этому следует добавить ошибку от неточности эфемерид, которая может равняться 220 км.

Таким образом, полная среднеквадратичная ошибка определения астрономической единицы равна

$$\sqrt{330^2 + 340^2 + 100^2 + 220^2 + 10^2 + 45^2 + 220^2} = 580 \text{ км.}$$

Полученные за рубежом при помощи радиолокационных наблюдений Венеры в 1961 г. значения астрономической единицы были следующими: а) Обсерватория Джодрел Бенк (Англия) [5] $149\,600\,000 \pm 5000$ км; б) Линкольновская лаборатория Массачусетского технологического института (США) [6] $149\,597\,700 \pm 1500$ км; в) Лаборатория реактивных двигателей Калифорнийского технологического института (США) [7] $149\,598\,500 \pm 500$ км.

В отличие от нашего значения в оценке точности тут не были полностью учтены ошибки, вызванные неточностью эфемерид и неточным знанием радиуса Венеры.

Результаты радиолокационных, а также основных астрономических определений астрономической единицы приведены на рис. 7. Затусованные прямоугольники на рисунке соответствуют ошибкам измерений по оценке самих авторов. Как следует из этого рисунка, все радиолокационные наблюдения Венеры в 1961 г. дали очень близкие значения астрономической единицы. Объявленные ранее значения астрономической единицы, полученные в 1958 г. в США [11] и в 1959 г. в Англии [12], были примерно на 130 тыс. км меньше (на рисунке взяты в квадратные скобки).

3. Широкополосная составляющая отраженного сигнала

На рис. 8 приведены результаты измерения разностной энергии широкополосной составляющей (средней за сеанс) для различных каналов с фильтрами, имевшими полосы пропускания по 60 Гц [3]. Участок

спектра на входе анализатора, содержащий узкополосную составляющую, устранялся режекторным фильтром, вносящим ослабление на 5–11 дБ в полосе ± 6 Гц. По оси абсцисс на графиках отложены частоты настройки фильтров, по оси ординат — значения величины $b_\tau(f_i)$ (см. выражение (1)). Результаты приведены для двух значений задержки (τ), отличающихся на четверть периода манипуляции: $\tau = 16$ мсек и $\tau = 80$ мсек для сеансов с частотой манипуляции 4 Гц и $\tau = 16$ мсек и $\tau = 48$ мсек для сеансов с частотой манипуляции 8 Гц. Стрелки на графиках указывают положение средней частоты узкополосной составляющей отраженного сигнала.

Перечисленные выше задержки были выбраны из следующих соображений. При двух задержках, отличающихся на четверть периода

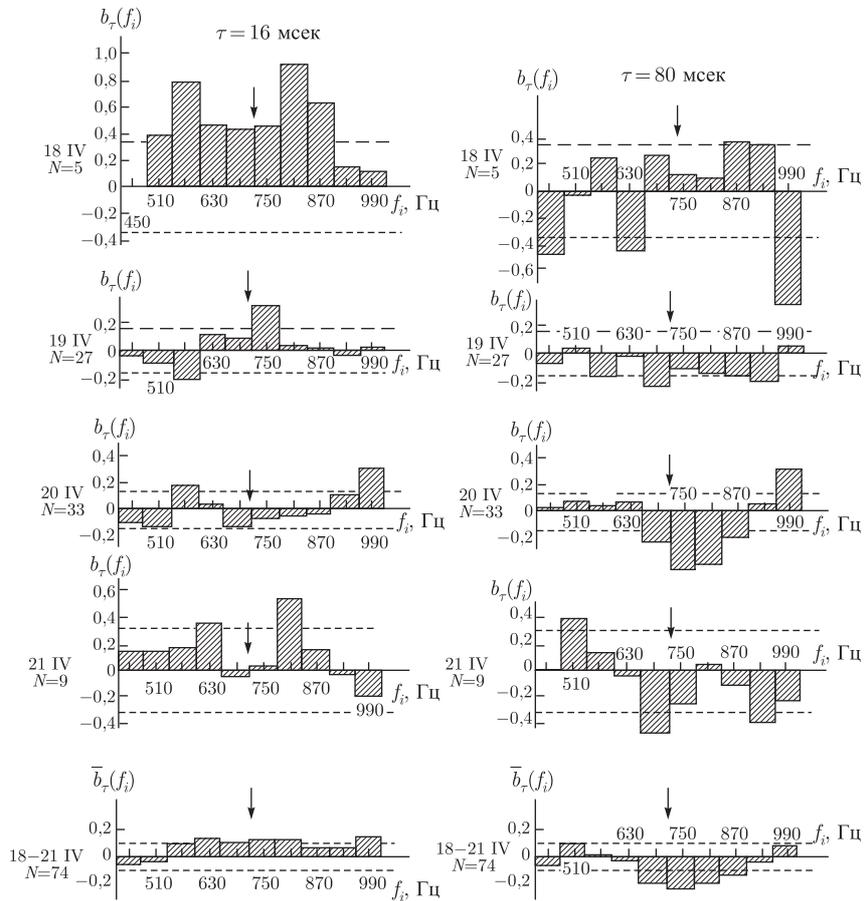


Рис. 8а. Спектр широкополосной составляющей отраженного сигнала по дням. Фильтры с полосами пропускания по 60 Гц; частота манипуляции 4 Гц

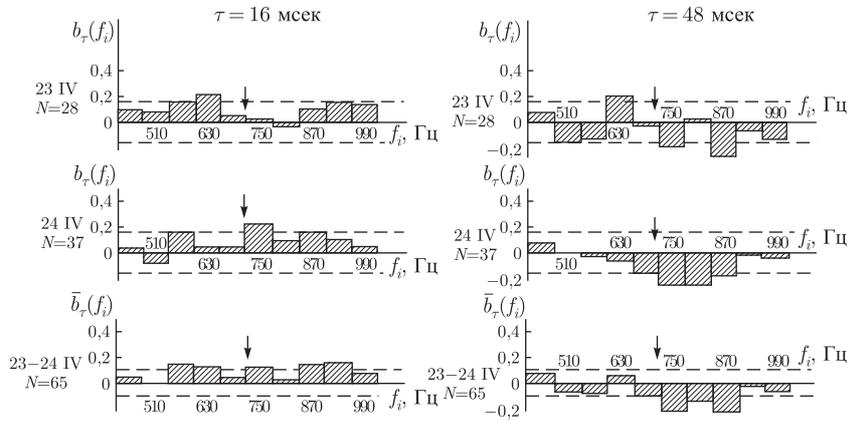


Рис. 86. Спектр широкополосной составляющей отраженного сигнала по дням. Фильтры с полосами пропускания по 60 Гц: частота манипуляции 8 Гц

манипуляции при любом расстоянии до отражающей точки, хотя бы при одном из значений задержки, разностная энергия отраженного сигнала $\Delta W_\tau(f_i)$ близка к максимально возможной.

Заметим, что задержке 16 мсек в предположении отражения от ближайшей к нам точки поверхности Венеры будет соответствовать разностная энергия положительного знака; задержкам 48 мсек (для сеансов с частотой манипуляции 8 Гц) и 80 мсек (для сеансов с частотой манипуляции 4 Гц) — отрицательного знака. Значения разностной энергии шума, соответствующие задержкам, отличающимся на четверть периода манипуляции, независимы.

Для оценки значений величины $b_\tau(f_i)$ за 1 день производилось простое усреднение по сеансам результатов измерений разностной энергии в соответствующих фильтрах. При определении средних результатов измерений за несколько дней ($b_\tau(f_i)$, см. нижние графики рис. 8) учитывалось значение интенсивности шума на выходе анализатора и количество сеансов для каждого дня.

На рис. 8 пунктиром отложен уровень, соответствующий среднеквадратичному разбросу величины $b_\tau(f_i)$ из-за влияния шумов приемника.

На рис. 3, а, б (квадраты) для различных дней приведены значения средней за сеанс разностной энергии широкополосной составляющей отраженного сигнала в полосе частот, перекрываемой десятью фильтрами (600 Гц) при значениях задержки, отличающихся на четверть периода повторения посылок.

На рис. 3, а приведены результаты, соответствующие $\tau = 16$ мсек. На рис. 3, б результаты, соответствующие 18–21 IV, получены при $\tau = 80$ мсек (период манипуляции $T = 256$ мсек); результаты, соответствующие 21, 23 и 24 IV, получены при $\tau = 48$ мсек ($T = 128$ мсек).

Длина вертикальных отрезков равна двойному среднеквадратичному отклонению величины B_T , вызываемому шумами приемника.

На рис. 9 приведены значения расстояний до отражающей точки, полученные по сигналам в различных фильтрах с полосами пропускания по 60 Гц при режекции узкополосной составляющей. По оси абсцисс отложены частоты настройки фильтров, по оси ординат — расстояния. Начало отсчета соответствует расстоянию до ближайшей точки Венеры, определенному по запаздыванию узкополосной составляющей сигнала.

На рис. 9, исходя из частоты следования посылок, указаны длины интервалов однозначного определения расстояния. Пунктиром показана окружность, соответствующая контуру планеты Венера в предположении, что максимальная ширина спектра отраженного сигнала, определяемая вращением планеты, составляла 400 Гц.

На рис. 9, *а* приведены результаты по средним данным за 18–21 IV, а на рис. 9, *б* — результаты, полученные на основании измерений, проведенных 18 IV. В этот день широкополосная составляющая была особенно интенсивной. При определении дальности исходили из гипотезы, что сигнал, соответствующий полосе каждого фильтра, отражался от «точечной» цели. Разброс точек можно объяснить влиянием шумов.

При радиолокации Венеры в 1961 г. в Массачусетском и Калифорнийском институтах (США) была зарегистрирована лишь узкополосная составляющая отраженных сигналов. При радиолокации Венеры в Джодрел Бенк (Англия) спектр не измерялся.

Оценка вероятности того, что за отраженный широкополосный сигнал были нами приняты шумы приемника и помехи, идущие из антенны, проведенная различными способами, показала, что вероятность этого имеет порядок 10^{-2} или менее. При этой оценке была исключена возможность сколько-нибудь существенного влияния на полученный результат узкополосной составляющей сигнала.

Непрерывный контроль излучаемого сигнала при помощи контрольного приемника и периодическая проверка приемного тракта по имитатору сигнала [3] показали, что наблюдавшееся расширение спектральной линии нельзя объяснить паразитной модуляцией в передатчике или приемнике.

Поскольку приемник включался примерно через 0,5 мин после выключения передатчика, никакие отражения сигналов от образований, близких к Земле (например, от ионосферы), в приемник попасть не могли. Появление широкополосной составляющей за счет отражений от каких-либо образований в космическом пространстве также маловероятно. Чтобы получить от них сигнал, регистрируемый анализатором, необходимо, чтобы такие образования двигались относительно Земли примерно с той же скоростью, что и Венера. Иначе сдвиг частоты Доплера, который в сигнале, отраженном от Венеры, достигал 30 кГц, имел бы другое значение, и эти сигналы не прошли бы через приемник. Кроме того, рис. 9 показывает, что точки отражения, обуславливающие широкополосную составляющую, лежат в области, близкой к поверхно-

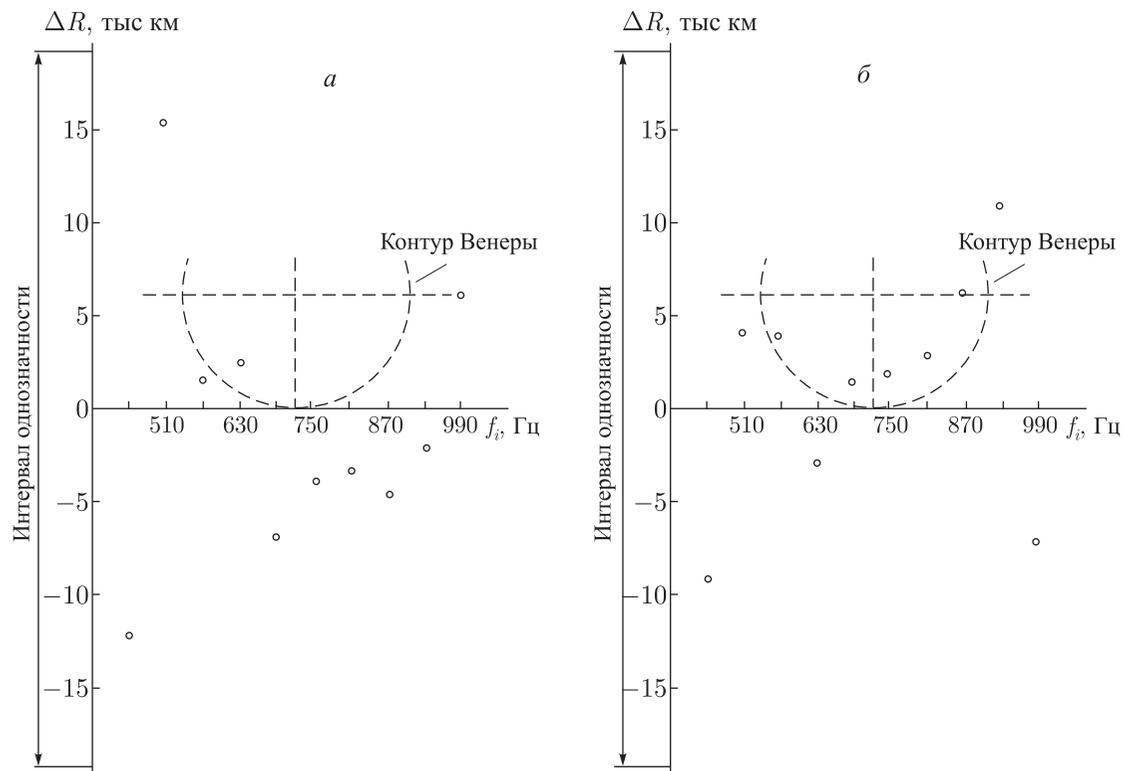


Рис. 9. Расстояния, полученные по сигналам в различных фильтрах (без узкополосной составляющей): *a* — по измерениям за 18-21 IV, $N = 74$; *б* — по измерениям за 18 IV, $N = 5$

сти Венеры. Если бы отражения происходили от случайных образований в космосе, то эти дальности были бы распределены в интервалах неоднозначности (рис. 9) более равномерно.

Таким образом, остается предположить, что широкополосная составляющая была обусловлена отражением от Венеры.

В этом случае наблюдавшиеся явления можно объяснить различным образом.

А. Широкополосная составляющая образуется вследствие отражения сигнала от всей поверхности Венеры и сдвига частоты Доплера, вызванного ее вращением. Узкополосная составляющая вызвана отражением от наиболее близкого к нам участка поверхности Венеры («блестящая точка»).

Поскольку расширение линий спектра в узкополосной составляющей сигнала по крайней мере в 100 раз меньше, чем в широкополосной, следует предположить, что размер блестящей точки меньше 1/100 диаметра Венеры. Это может быть в том случае, если поверхность Венеры значительно более гладкая, чем поверхность Луны, у которой, как считают, половина мощности радиолокационных сигналов отражается от «центрального пятна» с диаметром, равным 1/10 диаметра Луны.

При данном предположении для размытия линий на ± 200 Гц период вращения Венеры должен составлять примерно 11 суток, если ее ось вращения перпендикулярна направлению на Землю и отражает вся поверхность. Если ось вращения составляет 60° к направлению на Землю [9], то период сокращается до 9 суток. Если регистрировался нами не весь спектр и он действительно 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 отражению от пятна в 1/10 радиуса Венеры. В этом случае, учитывая, что эта составляющая по нашим данным меньше 4 Гц, получаем период вращения больше 100 суток.

При этой гипотезе широкополосную составляющую нельзя объяснить отражением от поверхности планеты и следует предположить, что она произошла вследствие отражения от каких-то образований, движущихся с радиальными скоростями до ± 40 мсек относительно Венеры или даже быстрее, например от сильно ионизированных потоков. Однако для этого ионизация в этих потоках должна быть много больше, чем в ионосфере Земли. Некоторые данные [10] указывают, что это, возможно, имеет место.

Выводы

Полная обработка всех материалов радиолокационных наблюдений планеты Венера, проведенных в 1961 г. в СССР, дала следующие результаты.

1. Астрономическая единица равна 149 599 300 км с максимальной ошибкой ± 2000 км.
2. В спектре сигнала, отраженного от Венеры, были зарегистрированы узкополосная и широкополосная составляющие. Ширина узкополосной составляющей была меньше 4 Гц, ее интенсивность почти не менялась за все дни наблюдений. Коэффициент отражения Венеры, определенный по узкополосной составляющей, равен 8% (по отношению к идеальной проводящей сфере таких же размеров).
3. Широкополосная составляющая сигнала соответствовала расширению линий до 400 Гц и более. Она сильно менялась ото дня ко дню. Энергия широкополосной составляющей была соизмерима с энергией узкополосной составляющей.

Литература

1. Газеты «Правда» и «Известия» от 12 V 1961 г.
2. V. A. Kotelnikov, Radar contact with Venus, J. Brit. Instn Radio Engrs, 1961, 22, 4, 293.
3. В. А. Котельников, Л. В. Апраксин, В. О. Войтов, М. Г. Голубцов, В. М. Дубровин, Н. М. Зайцев, Е. Б. Коренберг, В. П. Минашин, В. А. Морозов, Н. И. Никитский, Г. М. Петров, О. Н. Ржига, А. М. Шаховской, Радиолокационная установка, использовавшаяся при радиолокации Венеры в 1961 г., Радиотехника и электроника, 1962, 7, 11, 1851.
4. В. А. Морозов, З. Г. Трунова, Анализатор слабых сигналов, использовавшийся при радиолокации Венеры в 1961 г., Радиотехника и электроника, 1962, 7, 11, 1880.
5. J. H. Thomson, G. N. Taylor, J. E. Ponsoby, R. S. Roger, A new determination of the solar parallax by means of radar echoes from Venus, Nature, 1961, 190, 4775, 519.
6. The Staff, Millstone Radar Observatory, The scale of the solar system, Nature, 1961, 190, 4776, 592.
7. L. R. Malling, S. W. Golomb, Radar measurement of the planet Venus, J. Brit. Instn Radio Engrs, 1961, 22, 4, 297.
8. J. F. Mulligan, S. J. and D. F. McDonald, Some recent determinations of the velocity of light, Amer. J. Phys., 1957, 25, 3, 180.
9. Д. Я. Мартынов, Загадка Венеры, Природа, 1960, 10, 8.
10. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Результаты наблюдений радиоизлучения Венеры в 1961 г., Астрон. ж., 1961, 38, 6, 1115.
11. R. Price, P. E. Green, T. J. Goblik, R. H. Kingston, L. G. Kraft, G. H. Pettengil, R. Silver, W. B. Smith, Radar echoes from Venus, Science, 1959, 129, 3351, 751.
12. I. V. Evans, G. N. Taylor, Radio echo observations of Venus, Nature, 1959, 184, 4696, 1358.
13. К. А. Куликов, Фундаментальные постоянные астрономии, ГИТТЛ, 1956.
14. J. B. McGuire, E. R. Spangler, L. Wong, The size of the solar system, Scient. Amer., 1961, 204, 4, 464.