

Ю. Н. АЛЕКСАНДРОВ, М. Б. ВАСИЛЬЕВ, А. С. ВЫШЛОВ, В. М. ДУБРОВИН,
А. Л. ЗАЙЦЕВ, М. А. КОЛОСОВ, А. А. КРЫМОВ, А. П. МЕСТЭРТОН,
Г. М. ПЕТРОВ, Н. А. САВИЧ, В. А. САМОВОЛ, Л. Н. САМОЗНАЕВ,
А. И. СИДОРЕНКО, В. Ф. ТИХОНОВ, А. Ф. ХАСЯНОВ, Д. Я. ШТЕРН

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ НОЧНОЙ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКОВ «ВЕНЕРА-9, 10»

(Представлено академиком В. А. Котельниковым 18 II 1976)

Однократные радиопросвечивания атмосферы Венеры при помощи пролетных аппаратов Маринер 5 ⁽¹⁾ и Маринер 10 ⁽²⁾ показали, что ионосфера Венеры существует как над дневной, так и над ночной сторонами планеты. Создание спутников «Венера-9, 10» позволило осуществить многократное радиопросвечивание атмосферы Венеры методом двухчастотного дисперсионного интерферометра ^(3, 4).

Целью настоящей работы является изложение предварительных результатов первых сеансов двухчастотного радиопросвечивания ночной ионосферы Венеры, проведенных в период с 22 X по 5 XI 1975 г. при заходах станций «Венера-9, 10» за планету.

Методика экспериментов аналогична применявшейся при исследованиях ионосферы Марса ⁽⁵⁾, она (кратко) заключается в следующем. В сеансах радиопросвечивания передающее устройство станций излучало два монохроматических когерентных сигнала в дециметровом ($\lambda_1 \approx 32$ см) и сантиметровом ($\lambda_2 \approx 8$ см) диапазонах волн, $p = \lambda_1/\lambda_2 = 4$. На наземном приемном пункте производили прием этих сигналов и измерения приведенной разности фаз между ними при помощи систем с аналоговой и цифровой регистрацией. В данной работе использованы результаты измерений аналогового комплекса аппаратуры. На контрольном участке сеанса измерений, еще свободном от влияния просвечиваемой ионосферы, определяли средний ход приведенной разности фаз, обусловленный вариациями интегральной электронной концентрации на трассе связи. Экстраполяция среднего хода на интервал времени радиопросвечивания ионосферы планеты и вычитание его из результатов измерений позволяет уменьшить влияние плазмы, существующей на трассе связи, на искомые параметры ионосферы планеты. Последующее решение обратной задачи в предположении сферической симметрии исследуемой ионосферы дает распределение электронной концентрации с высотой над поверхностью планеты.

Привязка результатов измерений, зарегистрированных в функции времени, к высоте радиолуча над поверхностью в случае радиопросвечивания атмосферы Венеры более сложна, чем для Марса, так как в последнем случае момент оптического захода с достаточной точностью определяется по дифракционной картине амплитуды принимаемых радиосигналов. Поэтому для высотной привязки нами были использованы предварительные баллистические данные о прицельном расстоянии радиолуча, отсчитываемом от центра масс Венеры. Последующее уточнение этих данных, возможно, вызовет некоторое смещение полученных профилей электронной концентрации по высоте.

Станции «Венера-9, 10» были выведены на такие орбиты спутников, что условия радиопросвечивания ночной ионосферы Венеры реализовались

при заходах их за горизонт планеты; при этом в просвечиваемой на Венере области зенитный угол Солнца составлял $\sim 150^\circ$.

Из общего числа сеансов радиопросвечиваний, проведенных в указанный период времени, аналоговым комплексом было зарегистрировано 8 радиозаходов. Расстояние между Венерой и Землей возрастало при этом от $\sim 87 \cdot 10^6$ до $\sim 100 \cdot 10^6$ км. Примеры первичных записей приведенной разности фаз $\Psi(t)$ представлены на рис. 1. Используемый при измерениях фазометр имеет шкалу от 0 до 360° , что определяет пилообразный характер записей при изменениях величины $\Psi(t)$, превышающих 360° . Полное из-

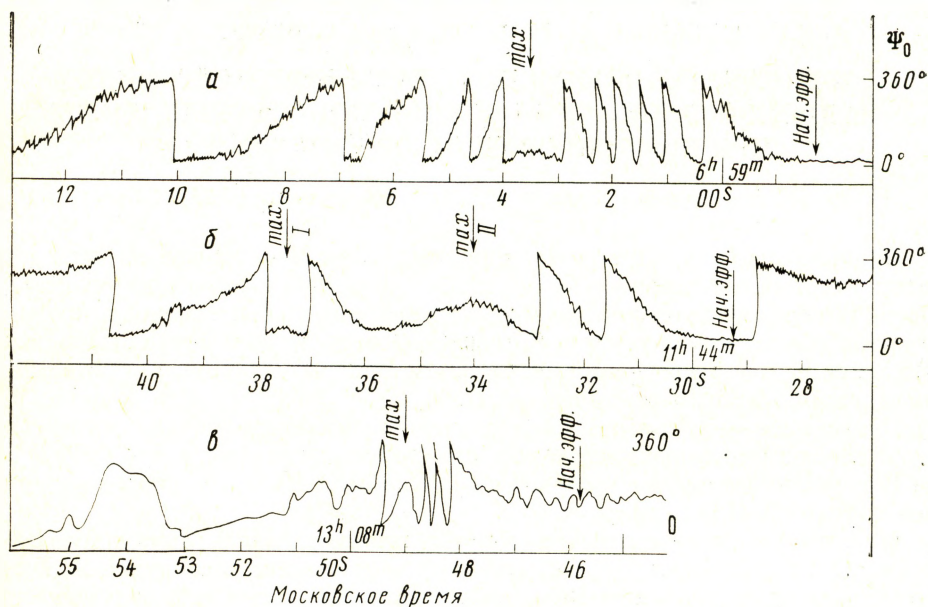


Рис. 1. Примеры записей приведенной разности фаз $\Psi(t)$ для сеансов двухчастотного радиопросвечивания ночной ионосферы Венеры: а — 28 X 1975, «Венера-9»; б, в — «Венера-10», 2 XI 1975 (б) 4 XI 1975 (в)

менение Ψ от момента начала эффекта ионосферы планеты до некоторого текущего момента пропорционально интегральной электронной концентрации N_p по лучу в этот момент времени в ионосфере планеты.

Из рис. 1а видно, что в сеансе 28 X 1975 г. величина $\Psi(t)$, а следовательно, и $N_p(t)$, имеет один четко выраженный максимум, что при решении обратной задачи приведет к распределению электронной концентрации $N(h)$, также имеющему скорее всего один максимум. Общая длительность зарегистрированного эффекта, обусловленного ночной ионосферой Венеры, в этом случае составляет ~ 16 сек. Средняя скорость изменения прицельного расстояния в этом интервале времени составляет $\sim 5,3$ км/сек.

В сеансе 2 XI 1975 г. (рис. 1б) величина $\Psi(t)$ имеет два явно разнесенных во времени максимума, чему, наиболее вероятно, должен соответствовать высотный профиль электронной концентрации также с двумя максимумами. В этом сеансе общая длительность ионосферного эффекта ~ 12 сек., а средняя скорость изменения прицельного расстояния $\sim 4,4$ км/сек.

Запись величины $\Psi(t)$ в сеансе 4 XI 1975 г. (рис. 1в), имеющая один четко выраженный максимум, резко отличается от первых двух продолжительностью верхнего максимума, которая составляет в этом случае всего несколько секунд. При этом средняя скорость изменения прицельного расстояния составляла $\sim 4,3$ км/сек.

Приведенные примеры записей величины $\Psi(t)$ специально отобраны, чтобы наглядно проиллюстрировать очень важную особенность ночной ионосферы Венеры, а именно ее сильную изменчивость.

Для получения высотных профилей электронной концентрации по экспериментальным данным в соответствии с описанной выше методикой, более подробно изложенной в (4), была решена обратная задача; при этом принято предположение о сферической симметрии ночной ионосферы Венеры. Существенным аргументом в пользу этого предположения является то обстоятельство, что при зенитном угле Солнца $\sim 150^\circ$ вся трасса связи

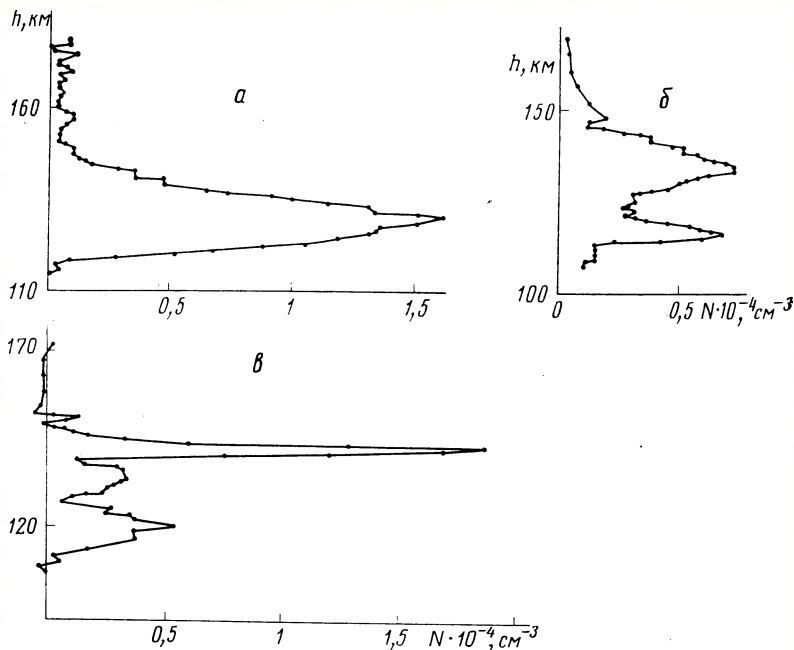


Рис. 2. Высотные профили $N(h)$ электронной концентрации в ночной ионосфере Венеры. а—в как на рис. 1

в просвечиваемой ионосфере вплоть до высот $\sim 10^3$ км не освещается Солнцем. Иными словами, при этих условиях осуществляется в чистом виде радиопросвечивание ночной ионосферы Венеры и возможные горизонтальные градиенты электронной концентрации не связаны с различными условиями освещенности трассы связи.

Как отмечалось выше, высотная привязка результатов измерений осуществлялась по предварительным баллистическим данным, и это следует иметь в виду при интерпретации полученных нами профилей, возможный высотный сдвиг которых может составлять ± 10 км.

На рис. 2 представлены простые профили $N(h)$, рассчитанные для рассмотренных выше трех сеансов. Радиус Венеры принят равным 6050 км.

Распределение электронной концентрации с высотой в ночной ионосфере Венеры, полученное 28 X 1975 г. (рис. 2а), характеризуется единственным максимумом с концентрацией $\sim 1,6 \cdot 10^4$ см $^{-3}$, расположенным на высоте ~ 130 км. Регулярный ход профиля прослеживается до высот ~ 150 –160 км, а общая толщина ионизованного слоя составляет ~ 40 км.

Профиль электронной концентрации для сеанса измерений 2 XI 1975 г. (рис. 2б) имеет два четко выраженных максимума с примерно равными концентрациями $\sim 7 \cdot 10^3$ см $^{-3}$; высоты максимумов соответственно 115 и 133 км. Полная толщина ионизованного слоя составляет ~ 50 –60 км.

Распределение электронной концентрации, полученное 4 XI 1975 г. (рис. 2в), резко отличается по виду от первых двух. Его важнейшей отли-

чительной особенностью является поразительно малая высотная протяженность верхнего главного максимума, лежащего на высоте $\sim 142,5$ км при большой концентрации ($\sim 1,7 \cdot 10^4$ см $^{-3}$). Кроме того, имеется вторичный максимум ионизации, лежащий ниже основного. Это распределение очень похоже по своим параметрам на спорадические образования, часто возникающие в E -области земной ионосферы в ночное время.

Погрешности определения профилей электронной концентрации в этих сеансах характеризуются разбросом вычисленных значений на высотах, где еще не сказывается влияние просвечиваемой ионосферы.

В большинстве остальных сеансов данной группы профили имеют два четко выраженных максимума, разнесенных по высоте на 15–20 км, причем концентрация в верхнем максимуме обычно больше, чем в нижнем, и достигает $(5-7) \cdot 10^3$ см $^{-3}$.

Полученные профили, так же как и показанные выше первичные записи приведенной разности фаз, свидетельствуют о сильной изменчивости распределения электронной концентрации в ночной ионосфере Венеры во времени и, возможно, в пространстве. Столь сильная изменчивость профилей, по-видимому, связана с нестабильностью источника ионизации, обуславливающего образование ионосферы Венеры в ночное время.

Следует отметить, что в свете наших данных результаты измерений, выполненных при помощи аппаратов Маринер 5,10 (1 , 2), также подтверждают вывод о динамичности ночной ионосферы Венеры. Однако это стало очевидным лишь в результате проведения описанных экспериментов.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 II 1976

ЛИТЕРАТУРА

1 Mariner Stanford Group, Science, v. 158, № 3809, 1678 (1967). 2 H. T. Howard et al., Science, v. 183, № 4131, 1297 (1974). 3 Н. А. Савич и др., Космические исследования, т. 11, № 5, 756 (1973). 4 М. А. Колосов и др., Радиотехника и электроника, т. 18, № 10, 2009 (1973). 5 М. Б. Васильева и др., ДАН, т. 218, № 6, 1298 (1974).