

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Том VIII

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1970

УДК 533.9.07:629.195.5

*К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Г. И. Волков,  
Л. С. Мусатов, Т. К. Бреус*

### ВОЗМУЩЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ВЕНЕРЫ ПО ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ «ВЕНЕРА-4» И «ВЕНЕРА-6»

Приводятся скорректированные результаты плазменных измерений, проводившихся вблизи планеты на «Венере-4», предварительные результаты плазменных измерений, выполненных вблизи планеты на «Венере-6», и обсуждаются все имеющиеся данные.

18.X 1967 г. при подлете станции «Венера-4» к планете Венера при помощи установленных на станции ловушек заряженных частиц и магнитометра были обнаружены одновременные возмущения межпланетной плазмы и магнитного поля. Предварительные результаты плазменных измерений на «Венере-4» были приведены в [1].

17.V 1969 г. сходные с указанными выше изменения потоков плазмы вблизи Венеры были обнаружены при подлете к планете станции «Венера-6», на которой также имелась ловушка заряженных частиц<sup>1</sup>.

Эти наблюдения, наряду с данными о возмущениях межпланетной плазмы, полученными 19.X 1967 г. вблизи Венеры на американской станции «Маринер-5» [2], позволяют с большей уверенностью чем ранее утверждать, что возмущения солнечного ветра вблизи Венеры существуют всегда, а не объясняются неоднородностями межпланетной плазмы, случайно оказавшимися вблизи планеты 18.X 1967 г. во время приближения к ней «Венеры-4». В настоящем сообщении приводятся скорректированные результаты обработки плазменных измерений, проведенных вблизи планеты на «Венере-4», предварительные результаты плазменных измерений, выполненных вблизи планеты на «Венере-6», и краткое обсуждение всех имеющихся данных.

**Экспериментальные данные.** Для того чтобы пояснить приводимые далее скорректированные результаты проведенных на «Венере-4» измерений потоков положительных ионов около планеты, необходимо отметить некоторые особенности измерений.

Измерения проводились при помощи двух плоских ловушек заряженных частиц интегрального типа, коллекторы которых находились под углом  $60^\circ$  друг к другу; ионы с энергией  $E < 50$  эв тормозились, при этом измерялся суммарный ток обоих коллекторов [1]. Как известно (см., например, [3]), в ловушках такого типа нельзя точно определить вклад фото-

<sup>1</sup> На станции «Венера-5», опустившейся в атмосферу Венеры 16.V 1969 г., также имелась ловушка заряженных частиц. Однако по программе полета «Венеры-5» частота выдачи результатов измерений на вход телеметрической системы на припланетном участке траектории была значительно ниже, чем на «Венере-6», поэтому мы здесь используем только данные «Венеры-6».

эмиссии с электродов ловушки в измеряемый коллекторный ток. Однако на припланетном участке полета «Венеры-4» это удалось сделать указанным ниже способом, пользуясь данными независимых одновременных измерений, выполненных на американской станции «Маринер-5».

Если на каком-либо участке полета ориентация ловушки относительно Солнца не меняется, то и ток фотоэмиссии остается неизменным, и все

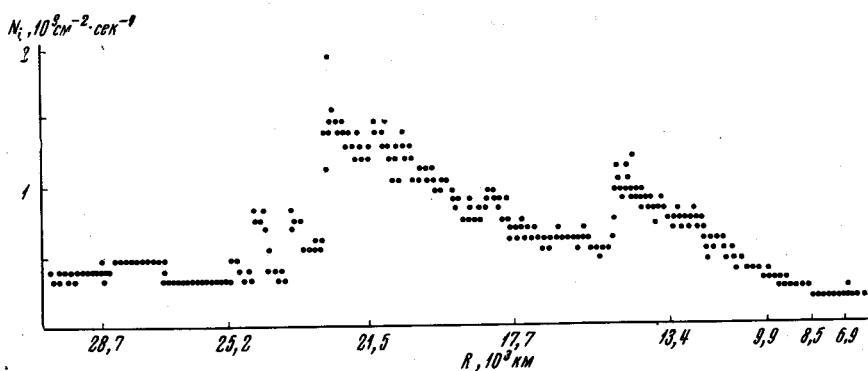


Рис. 1

вариации коллекторного тока создаются изменениями потоков положительных ионов, попадающих на коллектор. Если при этом поток ионов в какой-либо момент известен по данным независимых измерений, то фотоэмиссионная компонента коллекторного тока может быть определена и исключена из показаний ловушек на всем участке траектории космического аппарата, на котором ориентация ловушки относительно Солнца неизменна.

Для того чтобы исключить фотоэмиссионную компоненту коллекторного тока ловушек на припланетном участке «Венеры-4», нами были использованы данные измерений потоков ионов солнечного ветра, проводившихся 18.X 1967 г. (во время подлета «Венеры-4» к планете) при помощи модуляционной ловушки на станции «Маринер-5» группой Массачузетского технологического института. Эти данные были любезно предоставлены нам профессором А. Лазарусом. В начале припланетного сеанса измерений «Венеры-4» «Маринер-5» был на 240 000 км дальше от Солнца, чем советская станция, а долгота его в плоскости эклиптики была на  $0^{\circ},22$  меньше. С учетом определенной на «Маринере-5» скорости солнечного ветра, на «Венере-4» должны были с опозданием на 14 мин наблюдаться те же значения потоков солнечного ветра, что и на «Маринере-5» [4] (если за эти 14 мин величина потока солнечного ветра не изменилась). При этом можно определить значение ионной компоненты коллекторного тока ловушек в начале припланетного сеанса измерений, разность же измеренного коллекторного тока и его ионной компоненты позволяет определить фотоэмиссионную компоненту. Так как на протяжении всего припланетного участка ориентация ловушек на «Венере-4» относительно Солнца не менялась, то ток фотоэмиссии может быть исключен из показаний ловушек на всем этом участке.

На рис. 1 показано как менялись потоки ионов солнечного ветра по мере приближения «Венеры-4» к планете; при определении этих потоков фотоэмиссионная компонента тока ловушек была исключена указанным образом; предполагалось, что на всем припланетном участке скорость ионов направлена радиально от Солнца.

Из графика видно, что на расстоянии  $\sim 25\ 000$  км от центра планеты начинается возмущение потоков солнечного ветра; область возмуще-

ния имеет протяженность  $\sim 15\,000$  км и сложную структуру. Максимальные значения потоков ионов в возмущенной области примерно в 4 раза превышают значения невозмущенного потока (в начале припланетного сеанса измерений).

Так же как и в случае «Венеры-4», точный учет вклада фотоэлектронов в коллекторный ток ловушки, установленной на «Венере-6», без независимо полученных дополнительных данных невозможен, однако благодаря тому, что ориентация ловушки относительно Солнца во время всего припланетного сеанса измерений остается неизменной, фотоэмиссионная компонента коллекторного тока также не менялась. Поэтому, не зная точной величины  $N_0$  — потока ионов солнечного ветра в начале припланетного сеанса (в невозмущенной зоне), можно достаточно точно определить абсолютные значения  $\Delta N_i$  — изменений регистрируемых потоков ионов в возмущенной зоне по сравнению с  $N_0$ . На рис. 2 приводятся величины  $\Delta N_i$ , зарегистрированные 17.V 1969 г. в эксперименте на «Венере-6». Передача данных ловушки шла на расстояниях от центра планеты  $R < 32\,000$  км с пониженной скоростью; немногие имеющиеся измерения показывают значительное уменьшение  $N_i$  при дальнейшем приближении «Венеры-6» к планете. Из графика рис. 2 видно, что возрастание величин  $N_i$ , регистрируемых на «Венере-6», началось на расстоянии  $\sim 36\,000$  км от центра планеты; сравнение  $\Delta N_i$  на графиках рис. 1 и 2 свидетельствует, что величины изменений  $N_i$  вблизи планеты, измеренных на «Венере-4» и «Венере-6», сопоставимы.

**Краткое обсуждение.** В [1] (так же, как и в [2]) высказывалось предположение о том, что обнаруженное вблизи планеты Венера возмущение плазмы и магнитного поля является

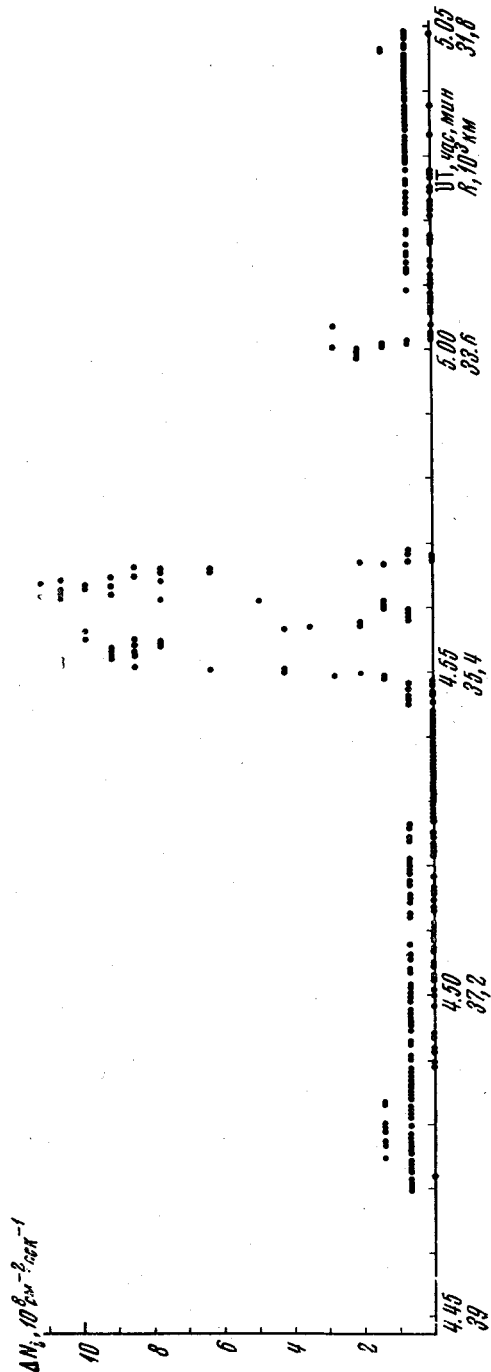


Рис. 2

бесстолкновительной ударной волной, возникающей при обтекании планеты потоками солнечной намагниченной плазмы. Не зная характеристик дневной ионосферы Венеры (так как «Венера-4» могла дать информацию только о ночной ионосфере планеты), авторы [1] допускали, что возмущения солнечного ветра могут создаваться за счет проводимости внутренней части планеты. Сейчас мы полностью разделяем точку зрения авторов [2] о том, что причиной возмущения солнечного ветра при обтекании им Венеры является проводимость дневной ионосферы планеты.

В [1] оценивалось положение фронта ударной волны по формуле газовой динамики, в которой использовалось магнитозвуковое число Маха.

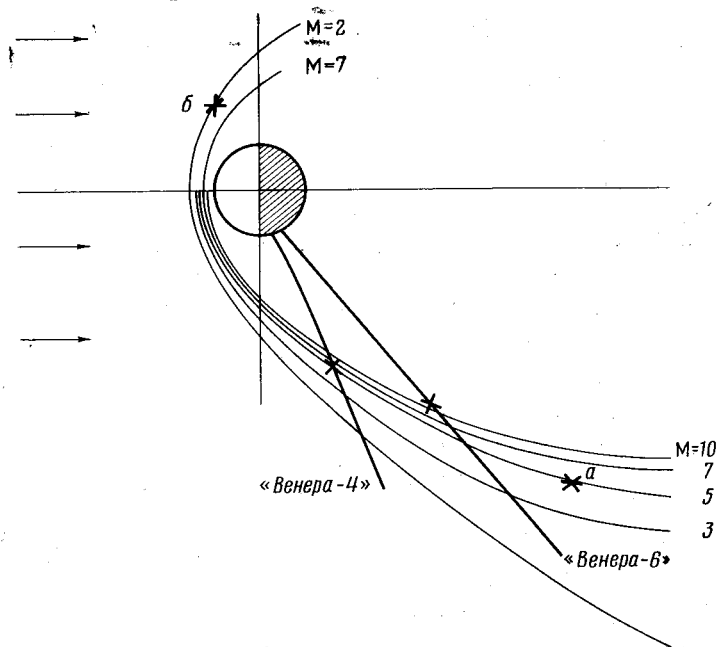


Рис. 3

На рис. 3 приведен ряд положений фронта ударной волны, определенных по той же формуле для различных  $M$  — чисел Маха, соответствующих различным параметрам солнечного ветра. Здесь же жирными линиями показаны участки траектории «Венеры-4» и «Венеры-6», на которых крестами отмечены точки, соответствующие началу наблюдавшихся возмущений. На этом же графике отмечены точки, соответствующие входу (точка  $a$ ) и выходу ( $b$ ) «Маринера-5» из зоны возмущения, согласно данным, приведенным в [2].

Заметим, что во время приближения «Венеры-4» и «Маринера-5» к Венере указанные числа Маха лежали в интервале значений  $4,5 \div 5$ .

Из рис. 3 видно, что все четыре отмеченные точки находятся более или менее вблизи рассчитанных положений фронта ударной волны. На «Венере-6», опустившейся в атмосферу Венеры, так же как и «Венере-4», над ночной стороной планеты, но дальше от терминатора, возмущение плазмы начинает наблюдаться на большем расстоянии от планеты. Это говорит в пользу предположения о том, что возмущение является ударной волной.

Ширина фронта бесстолкновительной ударной волны согласно теории [5] должна быть несколько больше ионного циклотронного радиуса  $\rho$  (в солнечном ветре  $\rho_i \approx 500$  км). Рассмотрение рис. 1 и 2 показывает, что участки быстрого нарастания потоков плазмы в начале возмущения удовлетворяют этому условию. Это также поддерживает предположение об ударной волне.

Однако следует также отметить, что внешняя граница возмущения по данным «Венеры-6» лежит заметно ближе к планете, чем точка пересечения расчетного фронта ударной волны траекторией «Венеры-6» (которая находится на  $R \sim 43\,000$  км при  $M = 5$  и на  $R \approx 39\,000$  км при  $M = 10$ ). Положение внешней границы возмущенной зоны по данным наблюдений «Маринера-5» [2] при входе аппарата в эту зону соответствует положению фронта ударной волны при  $M = 5$ , а при выходе из нее соответствует  $M = 2$ , хотя в невозмущенном солнечном ветре число Маха в обоих случаях, по-видимому, близко к 5.

Это создает впечатление, что соотношения газовой динамики, описывающие положение фронта ударной волны, не очень хорошо удовлетворяют данным наблюдений, проведенных около Венеры, и заставляет пока воздержаться от категорического утверждения, что обнаруженные возмущения являются именно ударной волной.

Некоторые затруднения возникают при объяснении значительного ( $\sim$  в 4 раза) увеличения потоков ионов за фронтом возмущения на «Венере-4» (рис. 1). Частично это увеличение может быть связано с тем, что за фронтом ударной волны меняется направление потока частиц и увеличивается изотропность их движения, в связи с чем ориентация ловушек оказывается более благоприятной, и их ток при данной величине потока ионов возрастает (напомним, что рис. 1 построен в предположении о том, что на всем припланетном участке потоки ионов направлены от Солнца).

Однако оценки этого эффекта (основанные на аналогии с результатами наблюдений за фронтом ударной волны вблизи Земли) показывают, что он не может создать столь значительное ( $\sim$  в 4 раза) увеличение измеренного потока, и некоторая неясность остается.

В сообщении [4] проведено сопоставление результатов магнитных измерений, выполненных на «Венере-4» и на «Маринере-5» во время полета «Венеры-4» на припланетном участке траектории (с учетом упоминавшегося выше временного сдвига  $\sim 14$  мин). Оказалось, что изменения магнитного поля в возмущенной зоне около планеты во многом подобны изменениям магнитного поля в невозмущенной межпланетной среде (хотя вариации магнитного поля в возмущенной зоне значительно более интенсивны). Можно предположить, что то же справедливо и в отношении плазмы (вариации которой в возмущенной зоне весьма синхронны с вариациями магнитного поля, см. [1]). Не исключено, что это может дополнительно объяснить упоминавшееся значительное возрастание потоков ионов на фронте возмущения, наблюдавшегося на «Венере-4».

К сожалению, результаты плазменных измерений, проведенных на «Маринере-5», которыми мы сейчас располагаем, усреднены по значительно большим интервалам времени, чем данные магнитных измерений, выполненных на той же станции и приводимые в [4]. Это лишает нас возможности достаточно детально сопоставить результаты одновременных плазменных измерений на «Венере-4» и «Маринере-5».

Если за время движения станции после пересечения фронта ударной волны характеристики невозмущенного ветра менялись, то это могло вызвать движение фронта возмущения со скоростью большей скорости движения космического аппарата и двукратное пересечение фронта возмущения, и это может явиться одним из объяснений наблюдавшейся сложной структуры зоны возмущения плазмы (рис. 1).

**Выводы.** Выводы можно кратко резюмировать следующим образом.

1. Во всех случаях, когда космические аппараты с приборами для регистрации положительных ионов солнечного ветра приближались к Венере, наблюдались возмущения потоков ионов.

2. Внешние границы этих возмущений по данным плазменных измерений расположены примерно в соответствии с рассчитанным по газодинамической формуле положением фронта ударной волны; однако отклонения наблюдаемых положений этих границ от расчетных заставляют отно-

ситься к отождествлению возмущений с ударными волнами с некоторой осторожностью.

3. Значительные возрастания потоков ионов вблизи границы возмущения, наблюдавшиеся на «Венере-4» и «Венере-6», требуют дополнительных объяснений; возможно, что они частично объясняются изменением направлений движения ионов за фронтом возмущения или (и) одновременным возрастанием невозмущенного потока. Наблюдавшаяся сложная структура возмущений зоны может быть связана с двукратным пересечением фронта возмущения аппаратом (если фронт возмущения движется быстрее, чем космический аппарат).

Авторы искренне благодарят проф. А. Лазаруса и других сотрудников группы Массачусетского технологического института за предоставление неопубликованных результатов плазменных измерений, проведенных на «Марипере-5», в том числе полученных 18.X 1967 г.

Дата поступления  
12 декабря 1969 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов, Т. К. Бреус. Космич. исслед., 6, № 3, 11, 1968.
2. H. S. Bridge, A. J. Lazarus, C. W. Snyder, E. J. Smith, L. Davis, Jr. P. J. Coleman, Jr. D. E. Jones. Science, 158, 1669, 1967.
3. К. И. Грингауз. Space Res., 2, 539, 1964; К. И. Грингауз. Сб. «Искусств. спутники Земли», вып. 12. Изд-во АН СССР, 1962, стр. 119.
4. Ш. Ш. Долгинов, Е. Г. Ерошенко, Л. Дэвис. Космич. исслед., 7, № 5, 747, 1969.
5. C. F. Kennel, R. Z. Sagdeev. J. Geophys. Res., 72, No. 13, 3303, 3327, 1967.