

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Том V

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

2

МОСКВА • 1967

УДК 523.745

Б. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов

НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ПОМОЩЬЮ
МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ «ВЕНЕРА-3»

Приводятся предварительные результаты измерений энергетических спектров потоков ионов солнечного ветра вне магнитосферы Земли на космическом аппарате «Венера-3» в период с 16.XI 1965 г. по 7.I 1966 г. и делается ряд выводов о физических характеристиках солнечного ветра и их связи с геомагнитными возмущениями.

На космическом аппарате «Венера-3», запущенном 16.XI 1965 г., было установлено несколько ловушек заряженных частиц (одна из которых модуляционного типа), предназначенных для измерения потоков заряженных частиц на участке траектории аппарата, проходящем в магнитосфере Земли, и для измерения потоков положительных ионов и их энергетических спектров в межпланетном пространстве.

В настоящем сообщении приводятся предварительные данные о результатах измерений энергетических спектров положительных ионов в потоках солнечной плазмы, произведенных с помощью модуляционной ловушки в период с 16.XI 1965 г. по 7.I 1966 г.

Модуляционная ловушка была такого же типа, что и установленная на космическом аппарате «Зонд-2» [1]; величина и последовательность подаваемых на электроды ловушки постоянных и переменного напряжений также соответствовали описанию, приведенному в [1]. Напомним некоторые характеристики прибора: при ориентации нормали к ловушке по потоку ионов примененная модуляционная ловушка позволяет измерять потоки положительных ионов солнечной плазмы в восьми последовательных, прилегающих друг к другу энергетических интервалах, каждый из которых имеет ширину ~ 450 эв; таким образом, максимальная энергия частиц, которая может быть зарегистрирована, составляет 3600 эв; получение одного энергетического спектра занимает 4 мин.; чувствительность по потоку (в каждом энергетическом интервале) составляет $10^7 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Как показали измерения на различных космических аппаратах, в частности измерения Вулфа и др. на ИМП-1 [2], в межпланетном пространстве ионы с энергиями $E > 3600$ эв наблюдаются довольно редко.

Общий поток положительных ионов с энергиями $E < 3600$ эв примерно равен сумме потоков, зарегистрированных во всех энергетических интервалах.

На рис. 1 воспроизведены схема и эпюры напряжений на модуляционной сетке ловушки [1].

Измерения при помощи модуляционной ловушки производились только при сравнительно редких сеансах радиосвязи с малой длительностью; поэтому общее число полученных за рассматриваемый период спектров солнечной плазмы составляет всего несколько сот. Все измерения произведены в условиях, когда нормаль к ловушке составляла с направлением

Солнце — космический аппарат угол, не превышающий 10° ; угловая диаграмма ловушки такова, что практически не нужно вводить поправку в величину измеряемых потоков.

Проекция участка траектории космического аппарата «Венера-3» на плоскость эклиптики и участок орбиты Земли приведены на рис. 2. Потoki солнечной плазмы были зарегистрированы при всех включениях аппаратуры. Изучение полученных энергетических спектров потоков положительных ионов показало следующее. Хотя нередко наблюдались спектры, в которых весь поток солнечной плазмы (или во всяком случае, его наибольшая часть) сосредоточен в некотором энергетическом интервале (например, рис. 3), не более редкими были спектры, в которых близкие по величине значительные потоки ионов зарегистрированы в различных интервалах энергий (например, рис. 4).

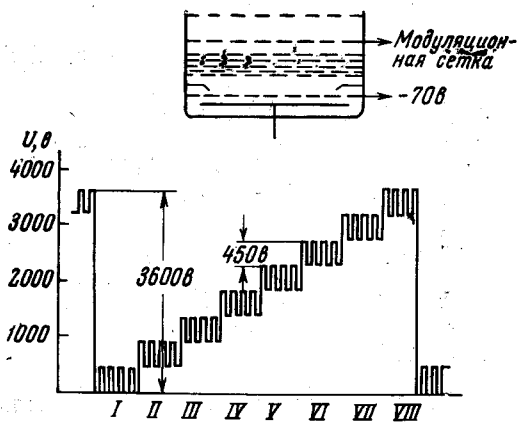


Рис. 1

Как правило, самые большие («главные») компоненты спектра наблюдались в интервалах, соответствующих скоростям, не превышающим 510 км/сек . Нередки случаи регистрации потоков солнечной плазмы, в которых скорости главных компонент потоков ионов не превышают 300 км/сек (типа, соответствующего спектрам *a* и *ж* на рис. 3). Одновременное наличие компонент потока ионов солнечной плазмы почти во всех энергетических интервалах (см. спектры *г*, *д* и *е* на рис. 4) при указанной чувствительности прибора наблюдалось крайне редко. Часто (хотя и не всегда) последовательно получаемые спектры (каждый, как указано выше, в течение 4 мин.) отличались друг от друга деталями (см., например, спектры *г*, *д* и *е* на рис. 4 и изменения компонент спектров во время двух сеансов радиосвязи 18.XII 1965 г., приводимые ниже на рис. 5). Величины полного потока N_Σ , зарегистрированные за время измерений, изменялись в пределах $1,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} < N_\Sigma < 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Если определять концентрацию ионов n_i в солнечном ветре вблизи космического аппарата как сумму «парциальных концентраций», определенных для каждого энергетического интервала спектра как $N_{E_1-E_2}/v_{\text{ср}}$, где $v_{\text{ср}} = (v_{\text{min}} + v_{\text{max}})/2$, то определенные таким образом величины n_i лежат в пределах $2,4 \text{ см}^{-3} < n_i < 55 \text{ см}^{-3}$ (случай, когда главная компонента потока находилась в первом интервале, где скорости $v_{\text{min}} = 0$, а $v_{\text{max}} = 300 \text{ км/сек}$, из рассмотрения исключались, так как

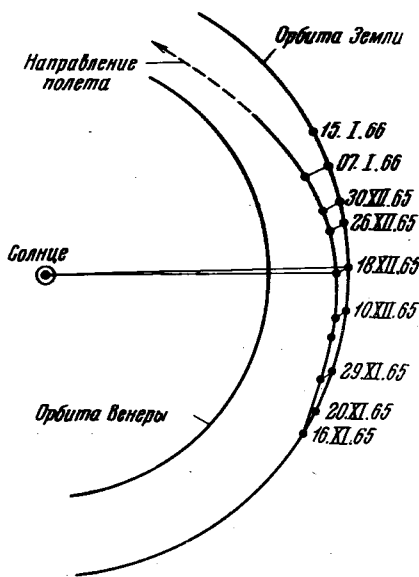


Рис. 2

величина $v_{\text{ср}}$ при этом слишком неопределенна). Заметим, что результаты определений потоков и скоростей солнечного ветра с помощью ионной ловушки описанного типа, по-видимому, неплохо согласуются с результатами измерений, проводимых на американских космических аппаратах с помощью приборов, основанных на таком же принципе. Так, в 1964 г. в [1] было опубликовано несколько спектров, полученных на советском космическом аппарате «Зонд-2», в исключительно магнитно-спокойный день 5.XII 1964 г. (сумма K_p -индексов за сутки $\Sigma K_p = 3$ [3]); спектры содержали компоненты со скоростями $v < 300$ км/сек и $v < 415$ км/сек; полный поток ионов N_2 колебался от $3 \cdot 10^7$ до $6 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹.

В 1965 г. Лазарус, Бридж и др. [4] сообщили некоторые результаты наблюдений солнечного ветра на «Маринере-4», в том числе результаты, относящиеся ко дню, предшествовавшему 5.XII 1964 г. (339-й день 1964 г. — 4.XII — см. рис. 3, в [4]). Этот день также был магнитно-спокойным ($\Sigma K_p = 7$ [3]). По данным [4] 4.XII 1965 г. поток N_2 составлял $3 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹, а средняя скорость ионов была равна ~ 400 км/сек.

Необходимо отметить, что определение скорости направленного движения потока солнечной плазмы является простым при наличии одной главной компоненты спектра, но затруднительно в случае спектров, подобных приведенным на рис. 4. Возможно, что при более высоком разрешении по энергиям затруднение уменьшится (внутри одного из энергетических интервалов может существовать четкая узкая спектральная линия, а второй интервал может оказаться равномерно заполненным).

Не исключена, однако, возможность, что спектры, подобные приведенным на рис. 4, отражают проникновение быстрого потока плазмы в поток, движущийся более медленно.

Явления, которые могут возникать в подобных случаях, рассмотрены Дж. Хиршберг [5], в связи с предлагаемым ею объяснением внезапных начал рекуррентных магнитных бурь.

Заметим, что хотя спектры, подобные приведенным на рис. 4, нередко коррелируют с геомагнитными возмущениями, эти возмущения, по нашим данным, не являются рекуррентными магнитными бурями с внезапным началом. Следует, однако, иметь в виду, что измерения велись с большими перерывами.

Наибольший поток ионов солнечной плазмы ($N_2 > 10^9$ см⁻²·сек⁻¹) был зарегистрирован в описываемых измерениях 18.XII 1965 г. во время двух сеансов радиосвязи, продолжавшихся с 9^h05^m до 9^h40^m и с 10^h10^m до 10^h57^m (U.T.).

На рис. 5 приведены результаты измерений спектров потоков ионов, проведенных во время этих сеансов. Верхняя кривая показывает, как изменялся в указанном интервале времени полный поток ионов N_2 с энергиями $E \leq 3600$ эв (со скоростями $v \leq 820$ км/сек), а нижележащие кривые показывают изменения компонент потока ионов, обладающих скоростями, лежащими в указанных на соответствующих кривых интервалах.

Как видно из рис. 5, главная компонента потока имеет скорости в интервале от 300 до 415 км/сек. Космический аппарат «Венера-3» при этом находился на расстоянии от Земли $R \simeq 10 \cdot 10^6$ км. Разность расстояний от Солнца до Земли и от Солнца до космического аппарата составляла $\sim 9 \cdot 10^6$ км. Следовательно, принимая радиальную скорость потока солнечного ветра $v_{\text{ср}} = 360$ км/сек (предполагая, что параметры солнечного ветра не меняются в пределах сравнительно малого центрального угла космический аппарат — Солнце — Земля, см. рис. 2), можно считать, что потоки солнечного ветра, характеризуемые измеренными спектрами, до-

величина $v_{\text{ср}}$ при этом слишком неопределенна). Заметим, что результаты определений потоков и скоростей солнечного ветра с помощью ионной ловушки описанного типа, по-видимому, неплохо согласуются с результатами измерений, проводимых на американских космических аппаратах с помощью приборов, основанных на таком же принципе. Так, в 1964 г. в [1] было опубликовано несколько спектров, полученных на советском космическом аппарате «Зонд-2», в исключительно магнитно-спокойный день 5.XII 1964 г. (сумма K_p -индексов за сутки $\Sigma K_p = 3$ [3]); спектры содержали компоненты со скоростями $v < 300$ км/сек и $v < 415$ км/сек; полный поток ионов N_{Σ} колебался от $3 \cdot 10^7$ до $6 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹.

В 1965 г. Лазарус, Бридж и др. [4] сообщили некоторые результаты наблюдений солнечного ветра на «Маринере-4», в том числе результаты, относящиеся ко дню, предшествовавшему 5.XII 1964 г. (339-й день 1964 г. — 4.XII — см. рис. 3, в [4]). Этот день также был магнитно-спокойным ($\Sigma K_p = 7$ [3]). По данным [4] 4.XII 1965 г. поток N_{Σ} составлял $3 \cdot 10^7$ см⁻²·сек⁻¹, а средняя скорость ионов была равна ~ 400 км/сек.

Необходимо отметить, что определение скорости направленного движения потока солнечной плазмы является простым при наличии одной главной компоненты спектра, но затруднительно в случае спектров, подобных приведенным на рис. 4. Возможно, что при более высоком разрешении по энергиям затруднение уменьшится (внутри одного из энергетических интервалов может существовать четкая узкая спектральная линия, а второй интервал может оказаться равномерно заполненным).

Не исключена, однако, возможность, что спектры, подобные приведенным на рис. 4, отражают проникновение быстрого потока плазмы в поток, движущийся более медленно.

Явления, которые могут возникать в подобных случаях, рассмотрены Дж. Хиршберг [5], в связи с предлагаемым ею объяснением внезапных начал рекуррентных магнитных бурь.

Заметим, что хотя спектры, подобные приведенным на рис. 4, нередко коррелируют с геомагнитными возмущениями, эти возмущения, по нашим данным, не являются рекуррентными магнитными бурями с внезапным началом. Следует, однако, иметь в виду, что измерения велись с большими перерывами.

Наибольший поток ионов солнечной плазмы ($N_{\Sigma} > 10^9$ см⁻²·сек⁻¹) был зарегистрирован в описываемых измерениях 18.XII 1965 г. во время двух сеансов радиосвязи, продолжавшихся с 9^h05^m до 9^h40^m и с 10^h10^m до 10^h57^m (U.T.).

На рис. 5 приведены результаты измерений спектров потоков ионов, проведенных во время этих сеансов. Верхняя кривая показывает, как изменялся в указанном интервале времени полный поток ионов N_{Σ} с энергиями $E \leq 3600$ эв (со скоростями $v \leq 820$ км/сек), а ниже лежащие кривые показывают изменения компонент потока ионов, обладающих скоростями, лежащими в указанных на соответствующих кривых интервалах.

Как видно из рис. 5, главная компонента потока имеет скорости в интервале от 300 до 415 км/сек. Космический аппарат «Венера-3» при этом находился на расстоянии от Земли $R \simeq 10 \cdot 10^6$ км. Разность расстояний от Солнца до Земли и от Солнца до космического аппарата составляла $\sim 9 \cdot 10^6$ км. Следовательно, принимая радиальную скорость потока солнечного ветра $v_{\text{ср}} = 360$ км/сек (предполагая, что параметры солнечного ветра не меняются в пределах сравнительно малого центрального угла космический аппарат — Солнце — Земля, см. рис. 2), можно считать, что потоки солнечного ветра, характеризующиеся измеренными спектрами, до-

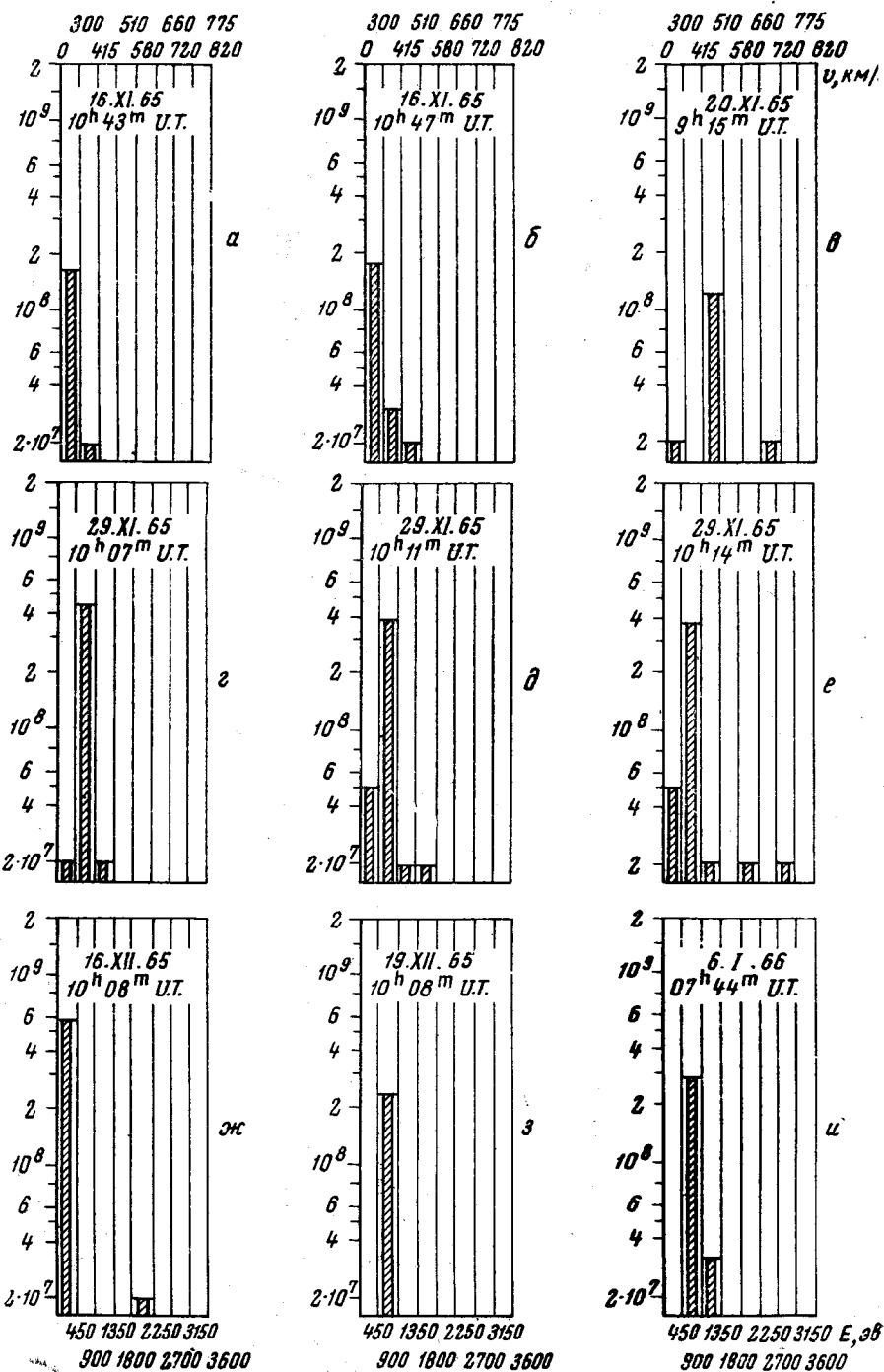


Рис. 3

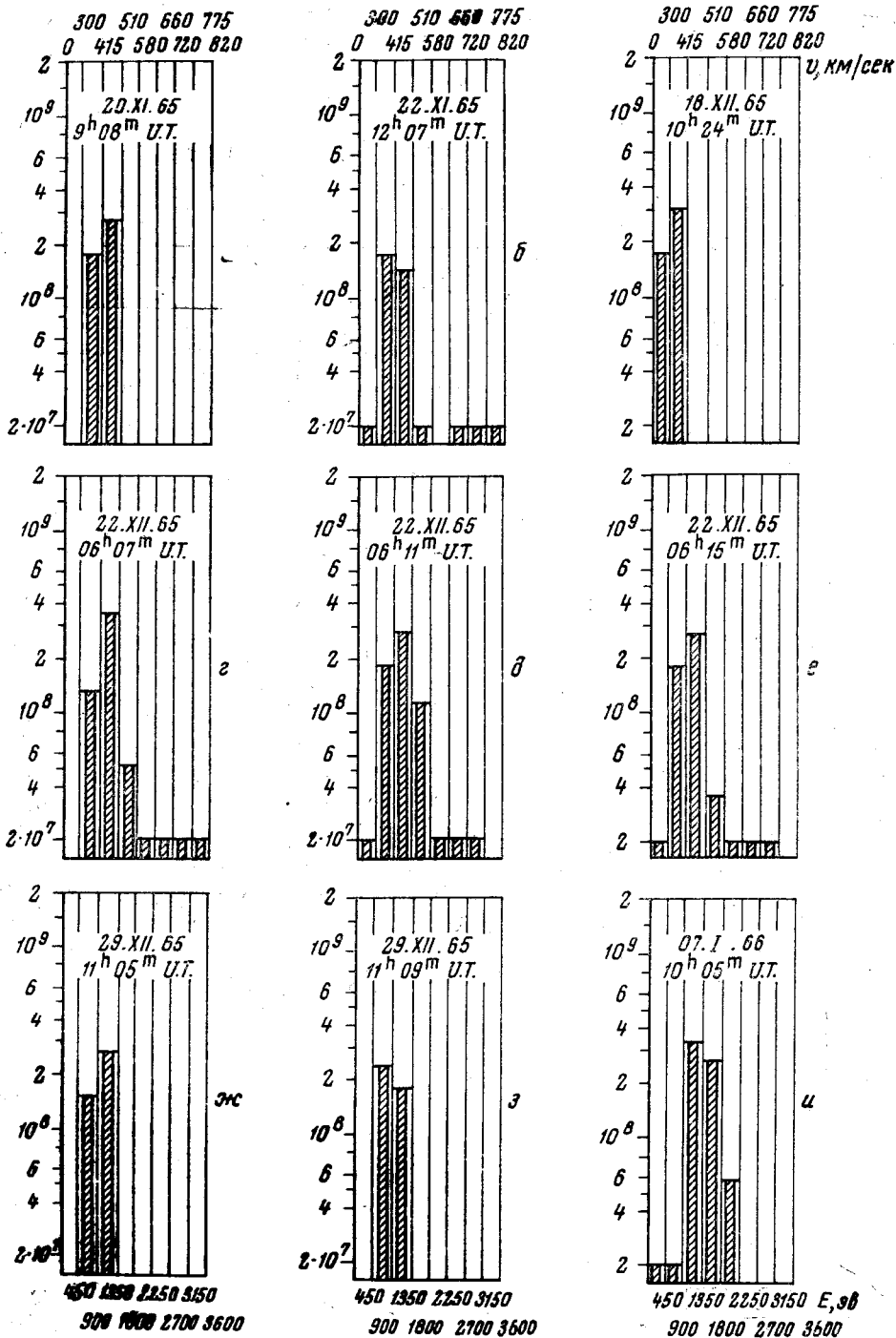


Рис. 4

стигали магнитосферы Земли примерно через ~ 7 час. после того, как они встречали космический аппарат (т. е. в период $\sim 16^h U.T. \div 18^h U.T.$).

Из рис. 6, на котором приведены планетарные трехчасовые K_p -индексы, с 15.XII по 20.XII 1965 г. [6] видно, что сутки 18.XII были наиболее магнитно-возмущенными за указанный период. На рис. 7 приведены части магнитограмм, снятых 18.XII 1965 г. на одной из высокоширотных

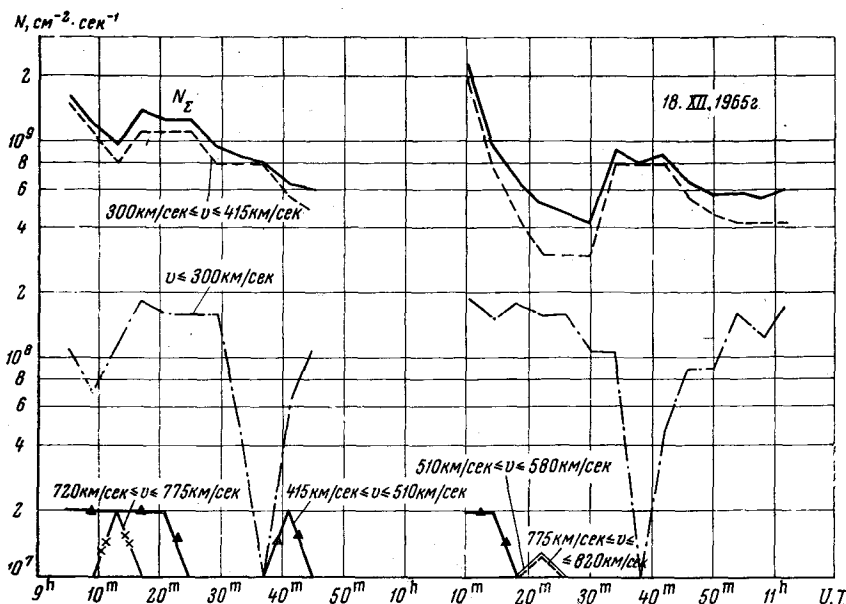


Рис. 5

обсерваторий (Бэрроу) и на одной из обсерваторий на умеренных широтах. Здесь H — горизонтальная составляющая геомагнитного поля, Z — вертикальная составляющая и D — геомагнитное склонение. Индекс «0» обозначает базисное значение каждой компоненты, от которой отсчитываются вариации соответствующей компоненты поля.

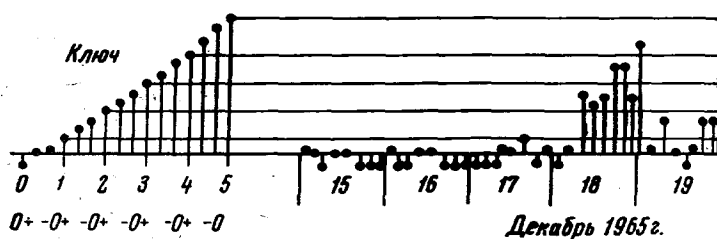


Рис. 6

ваются вариации соответствующей компоненты поля. При сравнении этих магнитограмм необходимо иметь в виду, что масштабы графиков различны: единице длины вдоль оси ординат на магнитограмме Одессы соответствуют значительно меньшие величины Z , D и H , чем на магнитограммах Бэрроу (отношения соответствующие цен деления таковы: $S_{Z \text{ Бэр}} / S_{Z \text{ Од}} = 19$, $S_{H \text{ Бэр}} / S_{H \text{ Од}} = 19$, $S_{D \text{ Бэр}} / S_{D \text{ Од}} = 27$). Магнитограммы получены в Мировом центре данных Б-2 (Москва).

Из рис. 7 видно, что в период $16^h - 18^h U.T.$, который как отмечалось выше, примерно соответствует подходу к Земле солнечной плазмы с ха-

рактическими, измеренными на «Венере-3» в $10^h - 12^h$ U.T., на Земле наблюдались наиболее интенсивные за 18.XII 1965 г. изменения компонента геомагнитного поля. Из рис. 5 можно видеть, что скорость основной компоненты ионного потока солнечного ветра была все время в одном интервале ($300 \text{ км/сек} < v < 415 \text{ км/сек}$), в то время как величина потока N_{Σ} существенно изменялась от $\sim 2 \cdot 10^9$ до $4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

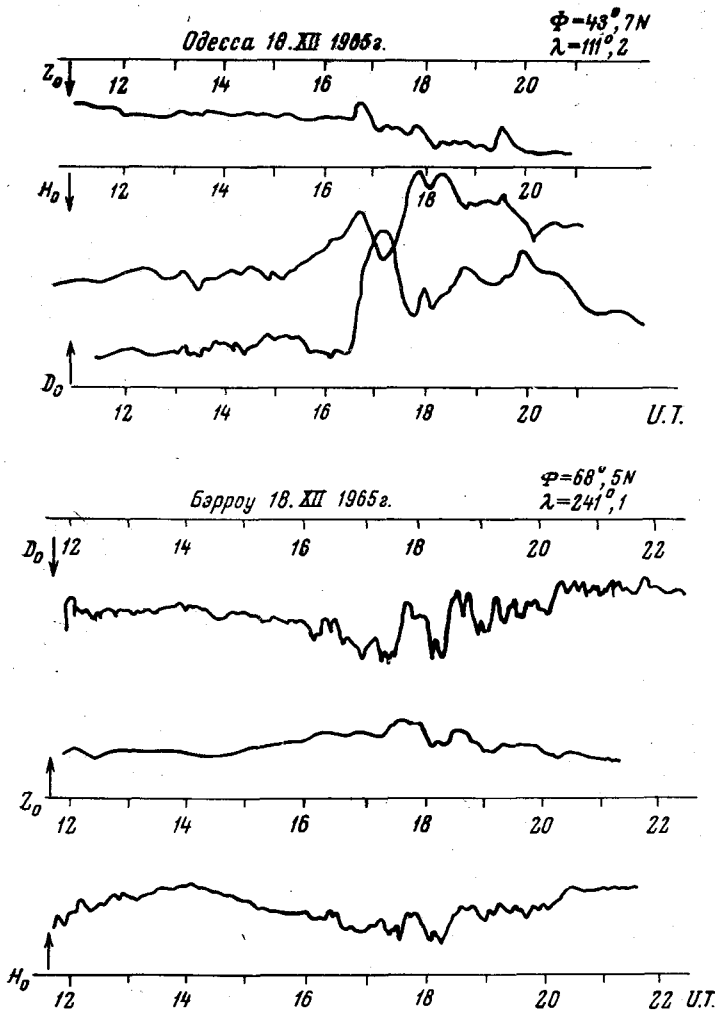


Рис. 7

Так же как и в ранних наблюдениях потоков солнечной плазмы [1, 7], $K_p \approx 5$ соответствует потоку ионов $N_{\Sigma} \approx 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Из рис. 6 видно, что сутки 16 и 19.XII 1965 г. были значительно более магнитно-спокойными, чем 18.XII 1965 г. Образцами спектров, полученных в эти дни, являются спектры ж и з на рис. 3, потоки N_{Σ} в эти дни существенно меньше, чем 18.XII.

Вместе с тем, необходимо отметить, что зарегистрированы случаи, когда сравнительно высоким значениям N_{Σ} ($\sim 4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) при тех же скоростях потока ионов, что и 18.XII 1965 г. ($300 \text{ км/сек} < v < 415 \text{ км/сек}$), соответствуют малые геомагнитные возмущения. Примере-

ром такого случая может служить 29.XI 1965 г. (спектры g , d и e на рис. 3), когда индексы $K_p \leq 1_+$.

По-видимому, подобные примеры говорят в пользу соображений, высказанных Уолтерсом [8], который заметил, что нет физических оснований ожидать прямой корреляции между каким-либо одним параметром структуры невозмущенного солнечного ветра и геомагнитными возмущениями, ибо прежде чем воздействовать на магнитосферу, солнечный ветер должен пересечь фронт ударной волны; после чего его характеристики существенно меняются. По-видимому, значительное влияние на геоэффективность потока солнечного ветра может оказывать ориентация вектора межпланетного магнитного поля вблизи земной магнитосферы; эта ориентация, как показали Уилкокс и Несс [9], может периодически меняться.

Заключение. Во время сеансов радиосвязи с космическим аппаратом «Венера-3» проводились измерения энергетических спектров ионов потоков солнечного ветра с энергиями $E \leq 3600$ эв при помощи ионной ловушки модуляционного типа.

Потоки солнечной плазмы были зарегистрированы при всех включениях прибора; измеренные во время сеансов измерений, проведенных с 16.XII 1965 г. по 7.I 1966 г., потоки ионов лежат в пределах $1,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1} < N_{\Sigma} < 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, скорости главных компонент спектра обычно не превышали 510 км/сек.

Нередко наблюдались значительные, близкие по величине потоки ионов в разных энергетических интервалах. При этом определение величины направленной скорости солнечного ветра затруднительно; возможно, что такие спектры соответствуют проникновению более быстрого потока плазмы в поток, движущийся более медленно.

Хотя весьма большие потоки ионов ($N_{\Sigma} \sim 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) чаще всего соответствуют повышенным значениям K_p -индексов (как это указывалось в ранних публикациях) прямая корреляция между каким-либо одним параметром невозмущенного солнечного ветра и геомагнитными возмущениями, по-видимому, отсутствует.

Авторы искренне благодарят Э. К. Соломатину за помощь при обработке результатов.

Дата поступления
15 августа 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Безруких, К. И. Грингауз, М. З. Хохлов, Л. С. Мусатов, Р. Е. Рыбчинский. Докл. АН СССР, 163, № 4, 873, 1965.
2. J. H. Wolfe, R. W. Silva, M. A. Myers. J. Geophys. Res., 71, No. 5, 1319, 1966.
3. J. V. Lincoln. J. Geophys. Res., 70, No. 9, 2233, 1965.
4. A. J. Lazarus, H. S. Bridge, J. Davis, C. W. Snyder. Presented at VII COSPAR Symposium in Vienna, May 1965.
5. J. Hirschberg. J. Geophys. Res., 70, No. 21, 5353, 1965.
6. J. V. Lincoln. J. Geophys. Res., 71, No. 9, 2411, 1966.
7. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, С. М. Баландина, В. Д. Озеров, Р. Е. Рыбчинский. Сб. «Искусств. спутники Земли», вып. 15. Изд-во АН СССР 1963, стр. 98; Space Res., 3, 602, 1963.
8. G. H. Walters. (Abstract) Trans. Americ. Geophys. Union, 46, 3, 1965.
9. J. W. Wilcox, N. F. Ness. J. Geophys. Res. 70, No. 23, 5793, 1965.