

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕОМАГНЕТИЗМ
И
АЭРОНОМИЯ

Том X

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

4

МОСКВА · 1970

УДК 523.72:550.385.37

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ВЫЗВАННЫЕ ИМИ ПУЛЬСАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

К. И. Грингауз, В. А. Троицкая, Э. К. Соломатина, Р. В. Щепетнов

Приводятся предварительные результаты сопоставления данных, полученных при регистрации потоков солнечного ветра на «Венере-5» и «Венере-6» в течение 21.I—21.III 1969 г., и данных, полученных при регистрации пульсаций и короткопериодных возмущений электромагнитного поля Земли в обл. Борок. Обнаружена связь увеличений потоков солнечного ветра с возмущениями электромагнитного поля Земли.

Измерения солнечного ветра на «Венере-5» и «Венере-6». На каждом из космических аппаратов, запущенных к Венере в январе 1969 г., была установлена четырехэлектродная плоская интегральная ловушка заряженных частиц, позволявшая регистрировать положительные ионы с энергиями $E > 50$ эв. На пути от Земли к Венере между сеансами радиотелеметрической связи один раз в 4 часа производились измерения коллекторных токов ловушки; результаты регистрировались запоминающим прибором, информация которого передавалась на Землю во время сеансов радиосвязи.

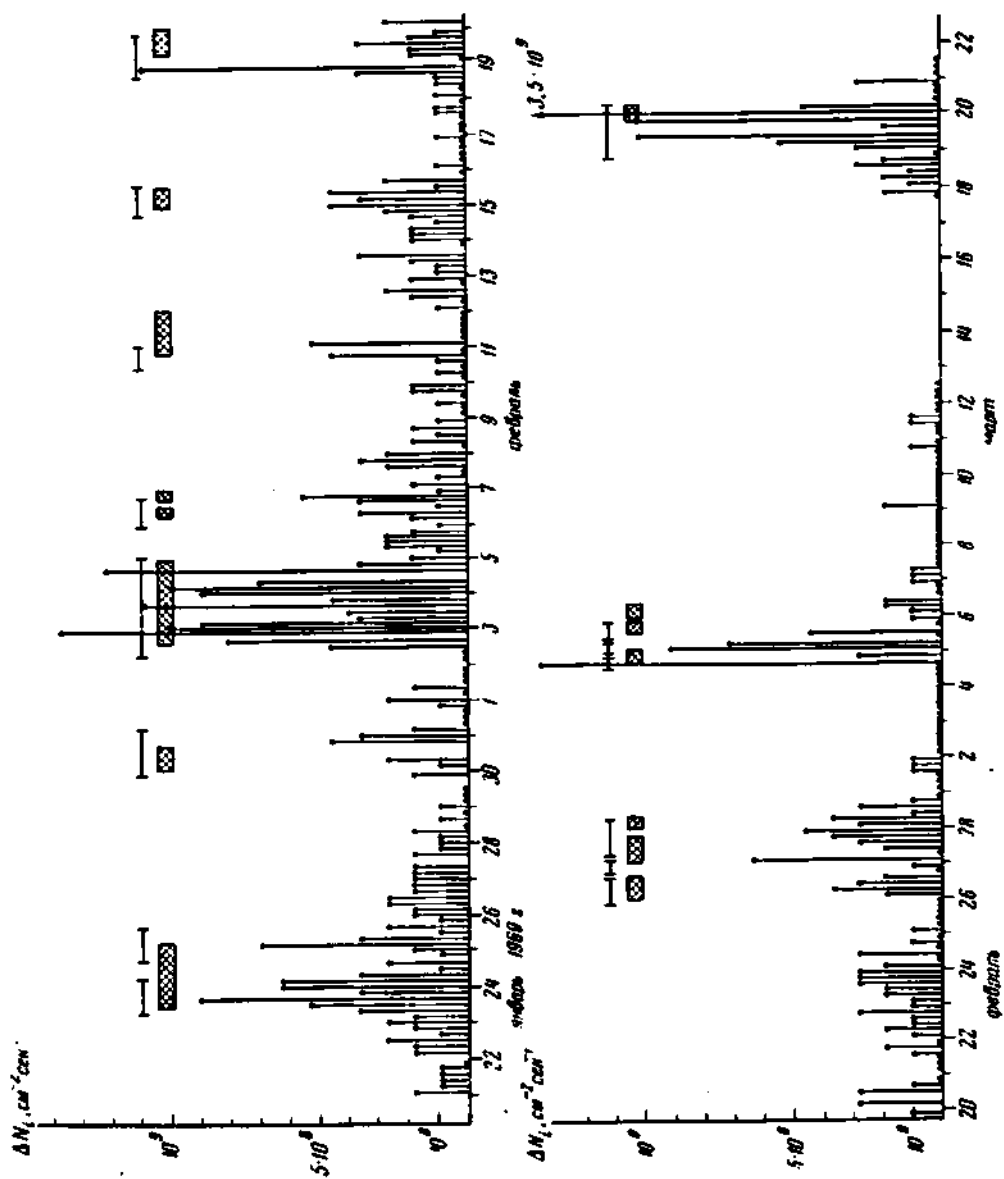
Коллекторный ток ловушек применявшегося типа всегда ниже тока, создаваемого попадающим в ловушку потоком ионов за счет фотоэмиссии электронов с антифотоэлектронной сетки [1]. Ориентация ловушки относительно направления на Солнце во время измерений была практически неизменной; в этом случае можно считать, что указанная фотоэмиссия не меняется. Во время наблюдений коллекторные токи ловушки колебались в значительных пределах, свидетельствуя иногда о весьма значительных возрастаниях потоков ионов солнечного ветра. Изменения потоков ионов ΔN_i могли быть легко определены с достаточной надежностью, тогда как определение абсолютных величин потоков N_i связано с трудностями из-за необходимости учета влияния фотоэмиссии; поэтому в настоящем сообщении приведены лишь величины ΔN_i , отсчитываемые от некоторого уровня N_{i0} . Величина N_{i0} ($\sim 10^8$ см⁻²сек⁻¹) здесь не уточняется.

О пульсациях электромагнитного поля Земли. Для сопоставления с данными о потоках солнечного ветра использованы записи пульсаций электромагнитного поля типа P_c и его более длиннопериодные изменения в обл. Борок [2].

На исследованных записях регистрировались практически без искажения амплитуд колебания с периодом от ~ 10 сек. до часа и более. Запись вариаций земных токов производилась на фотобумагу с временной разверткой 90 мм/час с чувствительностью $\sim 0,08-0,1$ γ/мм. Таким образом, сопоставление производилось по записям с чувствительностью, больше чем на порядок превышающей чувствительность стандартных магнитограмм.

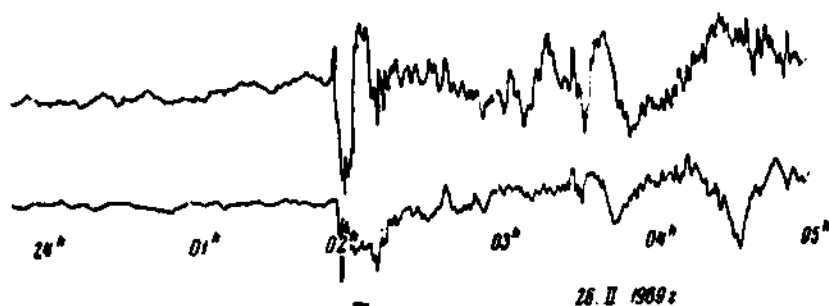
Результаты наблюдений. Данные регистрации вариаций потоков ионов солнечного ветра ΔN_i на «Венере-6» за рассматриваемый период приведены

Фиг. 1



на фиг. 1. Сверху горизонтальными отрезками отмечены интервалы времени, в которых величины ΔN_i достигали значений $\Delta N_{i, \max} \geq 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{сек}^{-1}$, а заштрихованными прямоугольниками отмечены интервалы времени, в течение которых на obs. Борок регистрировались пульсации и короткопериодные возмущения с индексами возмущенности $E_d > 1$. Безразмерные индексы E_d представляют собой отношения максимальной за час амплитуды пульсаций горизонтальной компоненты электрического поля (равной $(E_x^2 + E_y^2)^{1/2}$) к среднегодовому ее значению.

В период с 9 час. 12.III по 17 час. 17.III измерения N_i не производились*. График, подобный фиг. 1, но построенный по данным «Венеры-5», носит аналогичный характер и здесь не приводится. Он несколько отличается деталями, так как космические аппараты находились на удалении $\sim 10^8$ км друг от друга и, кроме того, моменты измерений N_i на обоих аппа-



Фиг. 2

ратах не совпадали. На фиг. 2 приведен образец записи, характеризующий спокойный режим (24—02 час.) и возмущенный режим (02—05 час.) в короткопериодических колебаниях.

Так как регистрация земных токов велась непрерывно, то начала и окончания каких-либо событий могли быть определены по их записям с точностью до нескольких минут; измерения солнечного ветра проводились один раз в 4 часа, и поэтому более быстрые вариации N_i не могли быть замечены, а времена начал и окончаний возмущений могли быть определены с соответственно малой точностью.

На фиг. 1 видно, что периодам сравнительно малых потоков солнечного ветра ($\Delta N_{i, \max} \leq 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{сек}^{-1}$) обычно соответствуют периоды малых пульсаций ($E_d \leq 1$). За весь рассматриваемый период наблюдалось 10 случаев существенных возрастаний N_i ($\Delta N_i \geq 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{сек}^{-1}$) длительностью более 8 час. Каждому из этих интервалов времени соответствует интервал с возмущенным пульсирующим электромагнитным полем Земли, причем возрастание N_i во всех случаях предшествует началу периода электромагнитных возмущений и пульсаций.

Кроме того, оказалось, что в периоды, соответствующие регистрации малых ΔN_i , значительные возрастания пульсаций электромагнитного поля Земли в дневные часы не возникали внутри 4-часовых интервалов между измерениями ΔN_i . По-видимому, только длительные возрастания потоков солнечного ветра (~ 12 час. и больше) вызывают пульсации электромагнитного поля Земли с большими амплитудами. Сопоставление приведенных на фиг. 1 значений ΔN_i с K_p -индексами показало, что удовлетворительной

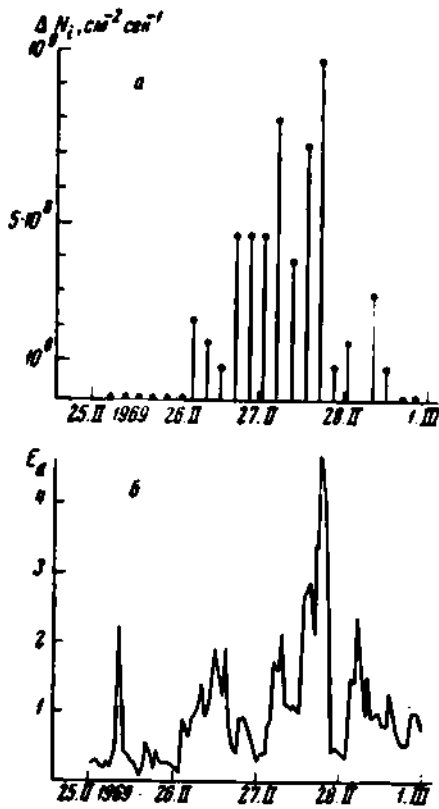
* Здесь и далее дается мировое время.

корреляции между этими величинами нет (хотя обычно значениям $N_i \geq 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ соответствовали $K_p \sim 5$).

Возможно, что хорошее соответствие величин ΔN_i с пульсациями и короткопериодными возмущениями электромагнитного поля Земли и плохое соответствие с K_p -индексами связано с тем, что K_p -индексы определяются на основе данных стандартных магнитографов, тогда как для регистрации пульсаций используются приборы с чувствительностью, по меньшей мере на порядок более высокой.

События 25—27.II 1969 г. В течение 25.II наблюдался ряд солнечных вспышек: в 9 ч. 20 м. класса 2B (14° N , 36° W), в 16 ч. 59 м. класса 1N (13° N , 41° W), в 19 ч. 43 м. класса 1N (13° N , 43° W). 26.II наблюдалась вспышка в той же области Солнца в 4 ч. 46 м. класса 1B (13° N , 46° W); 27.II произошла вспышка в 14 ч. 08 м. класса 2B (13° N , 65° W) [3]. 26.II в 1 ч. 58 м. и 27.II в 0 ч. 38 м. на ряде обсерваторий зарегистрированы [3] магнитные бури типа SC. В обоих случаях магнитным бурям предшествовали возрастания ΔN_i . Кроме того, эффекты солнечных вспышек наблюдались на «Венере-5» и «Венере-6» по приборам, регистрировавшим протоны с $E \leq 30 \text{ Мэв}$. Так, 25.II в ~ 10 час. отмечено резкое возрастание скорости счета этих частиц с постепенным спадом; второе резкое возрастание потоков частиц наблюдалось 27.II в 20 час. [4].

Величины потоков солнечной плазмы, зарегистрированные на «Венере-5» и «Венере-6» в течение 25.II, были невелики; пульсации и короткопериодные возмущения электромагнитного поля тоже были малы. В интервале же 26—28.II в данных ΔN_i и на записях пульсаций электромагнитного поля Земли наблюдались три главных возрастания с последующими спадами (фиг. 1).



Фиг. 3

На фиг. 3 приведены значения ΔN_i по данным «Венеры-5» и часовые индексы E_d за период 25—28.II 1969 г. При сравнении фиг. 3а и 3б следует помнить, что на фиг. 3б приведены значения E_d , определяемые максимальной амплитудой пульсаций за каждый час, а на фиг. 3а — мгновенные значения ΔN_i , измерявшиеся один раз в 4 часа. Тем не менее, на фиг. 3а и 3б отчетливо видны упоминавшиеся выше возрастания и убывания потоков солнечного ветра в течение 26—28.II и пульсаций электромагнитного поля Земли.

Трудно решить, какая именно солнечная вспышка из имевших место в период 24—27.II вызвала каждое из рассматриваемых возрастаний потока солнечного ветра, возмущений магнитного поля Земли и возрастания пульсаций. Некоторые соображения относительно идентификации солнечных вспышек, вызвавших наблюдавшиеся 25 и 27.II магнитные бури, приведены в [4]. Отметим лишь, что если упомянутые выше магнитные бури вы-

званы приходом к Земле фронтов ударных волн, созданных в межпланетной плазме при извержениях солнечной плазмы, то из данных фиг. 1 и фиг. 3а следует, что эти извержения были длительными (измерялись часами), так как в обоих случаях после начала роста ΔN_i , с которым можно связать начало бури, максимальной величины ΔN_i достигали лишь через много часов.

Согласно расчетам [5], максимальный поток ионов солнечного ветра имеет место не на фронте ударной волны, где скорость ионов наибольшая, а достаточно далеко за фронтом. Этот вывод качественно согласуется с результатами наблюдений, представленными на фиг. 3. Максимальное значение ΔN_i наблюдалось примерно через 12 час. после начала магнитной бури 27.11; максимальные значения E_d также имели место в 21 час. 27.11, т. е. через значительное время после начала геомагнитной бури.

О величинах потоков солнечного ветра. В последние годы интенсивно изучаются такие характеристики межпланетной плазмы, как ее химический состав, вариации направленной скорости частиц, анизотропия температур, разрывы непрерывности параметров плазмы. Однако некоторые вопросы, связанные с величиной потока частиц $N = nv$ солнечного ветра, пока остаются неясными. В обзорах [6—8], посвященных солнечному ветру, нет четких сведений о том, как меняется во времени и в пространстве поток частиц солнечного ветра. Кажется очевидным, что величина потоков должна убывать как квадрат расстояния от Солнца [9]. Однако если учесть, что в опубликованных данных о потоках ионов солнечного ветра, зарегистрированных на пути от Земли к Марсу [10], величины потоков занижены на порядок величины*, то следует заключить, что такой вывод экспериментально недостаточно подтвержден.

Нельзя, меняется ли количество плазмы, эмитируемой Солнцем (средний поток солнечного ветра), с изменением фазы цикла солнечной деятельности; вывод, сделанный в [11], но подтверждается предварительными данными «Венеры-5» и «Венеры-6». Ранее уже отмечалось, что иногда значительные магнитные бури возникают при больших изменениях потоков солнечного ветра без существенных изменений направленной скорости [12].

Различные типы применяемых для изучения солнечного ветра методов и приборов и неодинаковые способы обработки первичных данных затрудняют сопоставление результатов различных экспериментов, даже проводимых одновременно.

Поэтому при подготовке дальнейших исследований необходимо уделять значительное внимание возможно более точным определениям потока частиц солнечного ветра.

Заключение. Проведенный анализ показал, что во всем случаях возрастания потоков ионов солнечного ветра $\Delta N_i \geq 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{сек}^{-1}$ соответствуют возрастания амплитуд пульсаций электромагнитного поля Земли ($E_d > 1$).

Рассмотрение результатов регистрации ΔN_i и записей пульсаций электромагнитного поля Земли в период 25—28.11 1969 г. с учетом данных о солнечных явлениях и регистрации энергичных частиц ($E \leq 30 \text{ Мэв}$) позволяет считать, что в этот период на магнитосферу Земли воздействовали по крайней мере два фронта ударных волн в межпланетной плазме (26 и 27.11), вызванных солнечными вспышками. По-видимому, каждая из этих вспышек сопровождалась длительным (многочасовым) извержением холодной плазмы, а максимальные величины потока N_i в каждом случае имели место достаточно далеко за фронтом ударной волны (в качественном соответствии с [5]).

* А. Лазарус. Частное сообщение.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. I. Gringauz. *Space Res.*, 1961, 2, 539.
2. V. A. Troitskaya. *Solar-Terrestrial Physics* (ed. T. W. King and W. S. Newman). London, 1967, 213.
3. *Solar-Geophysical Data*, March, 1969.
4. S. N. Vernov, P. N. Kontor, G. P. Lubimov, N. V. Pereslegina, E. A. Chuchkov. *Intercorrelated Satellite Observations* (ed. V. Manno and D. E. Page), Reidel Publishing Company, Dordrecht — Holland, 1970, 53.
5. A. J. Hundhausen, R. A. Gentry. *J. Geophys. Res.*, 1969, 74, 2908.
6. W. I. Axford. *Space Sci. Rev.*, 1968, 8, 331.
7. N. F. Ness. *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.*, 1968, 6, 79.
8. A. J. Hundhausen. *Space Sci. Rev.*, 1968, 8, 690.
9. C. W. Snyder, M. Neugebauer. *Space Res.*, 1964, 4, 89.
10. A. J. Lazarus, H. S. Bridge, J. M. Davis. *Space Res.*, 1967, 7, 1296.
11. К. И. Грингауз, Э. К. Соломатина. *Космические исследования*, 1968, 6, 586.
12. К. И. Грингауз, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов. *Космические исследования*, 1967, 5, 251.

Радиотехнический институт
АН СССР

Поступила в редакцию
27 октября 1969 г.