

УДК 550.385:523.7+550.385:523.16

ГЕОФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Ю. П. БУЛАШЕВИЧ,
С. И. АЮБАШЕВА, Н. А. ИВАНОВ, В. И. УТКИН, В. А. ШАПИРО

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК
В АВГУСТЕ 1972 г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ
«СВЕРДЛОВСК»**

1. Серия мощных солнечных вспышек, происходящих за относительно короткое время,— событие весьма редкое. Поэтому при изучении процессов происхождения ударных волн, вызванных вспышками, через околосолнечное пространство необходимо проводить детальный комплексный анализ явлений, зарегистрированных в пункте наблюдения. Это повысит достоверность интерпретации геофизических последствий солнечных вспышек. Ниже приводится такой анализ изменений геомагнитного поля, параметров ионосферы и интенсивности космических лучей для обсерватории «Свердловск».

2. Наиболее мощные из каскада солнечных приведены по ⁽¹⁾ в табл. 1. Как следует из рис. 1, 4 VIII в 1^h 19^m началась очень большая магнитная буря, которая продолжалась до 16^h 7 VIII. Амплитуда бури достигла по склонению $D = 1^{\circ}47'$; горизонтальной компоненте $H = 504 \gamma$; вертикальной компоненте $Z = 597 \gamma$.

Внезапное начало бури отмечается положительным пиком H и отрицательным D . Выделяются три периода магнитной бури: первый активный период характерен бухтообразными возмущениями H и D длительностью до 50 мин. и весьма слабыми возмущениями Z ; второй период проявляется резким отрицательным пиком Z и интенсивными короткопериодичными колебаниями всех компонент поля; третий период продолжался с 0^h до 16^h 6 VIII. В этом активном интервале наблюдаются бухтообразные возмущения H и D длительностью около 3 час. на фоне нерегулярных возмущений.

Особенностью рассмотренной бури является большая длительность и чрезвычайная изменчивость элементов геомагнитного поля, что свидетельствует о высокой энергии ударных волн солнечных вспышек.

3. По данным ионосферных наблюдений (прибор АИС) описываемой буре предшествовали аномальные увеличения минимальных частот отра-

Таблица 1

Дата	Время вспышки			Балл	Координаты		Спектральная плотность потока излучения для $f = 200$ МГц ($\text{вт}/\text{м}^2 \cdot \text{Гц} \cdot 10^{-22}$)
	начало	максимум	конец		Φ	λ	
1 VIII	08 ^h 41 ^m	08 ^h 55 ^m	11 ^h 01 ^m	1B	14°N	48°E	Нет данных
2 VIII	02 50	03 16	05 06	1B	13	35	2600
	18 41	18 45	00 00	1B	13	25	480
	20 06	20 10	23 36	2B	13	28	2800
4 VIII	05 24	06 34	09 40	2B	13	09	50000
7 VIII	03 48	03 55	04 50	1B	14	33°W	Нет данных
	15 00	15 20	17 00	3B	14	39	40000

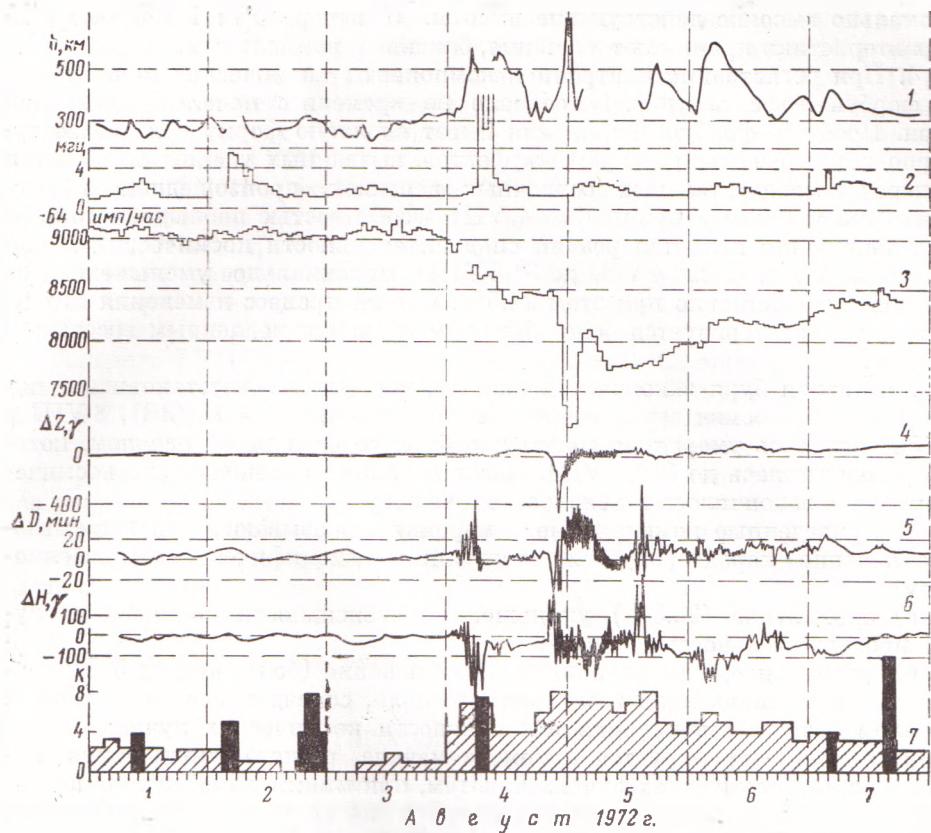


Рис. 1. Результаты комплексных геофизических наблюдений: 1 — высота отражающего слоя $h'F_2$ в ионосфере; 2 — минимальная частота отражений; 3 — интенсивность космических лучей (нейтронный супермонитор 18-NM-64); 4—6 изменение вертикальной компоненты Z (4) геомагнитного поля, склонения D (5) горизонтальной компоненты H (6); 7 величина K -индексов (заштрихованная диаграмма); интенсивность и длительность солнечных вспышек (черные прямоугольники)

жений, вызванные рентгеновским излучением солнечных вспышек: 1 VIII с 10^b до 12^b , 2 VIII с 5^b до 9^b и с 20^b до 21^b . Последнее увеличение интересно тем, что было отмечено в то время, когда станция находилась на теневой стороне Земли (местное время превышает мировое на 5^b). Во время вспышки 2 VIII (начало 2^h30^m) станция находилась на дневной стороне и на ионограммах зарегистрировано полное поглощение отражений, что свидетельствует о большой мощности этой вспышки, которая, вероятно, соответствует верхнему пределу балла 1B.

Внезапное начало магнитной бури 4 VIII совпадает с началом развития слоя F_1 . Спустя 2 часа после начал бури, на ионограммах появились наклонные отражения. С этого момента действующая высота h' слоя F_2 начинает аномально быстро расти и достигает максимума $h' = 530$ км в 4^h30^m . С 6^h30^m до 7^h30^m и с 8^h45^m до 9^h15^m на ионограммах отмечается полное поглощение отражений, вызванное новой вспышкой на Солнце (4 VIII 5^b24^m), после которого опять наблюдалось резкое повышение h' (слоя F_2) и спад критических частот значительно ниже средних значений. 4 VIII в 22^b отражения становятся сильно диффузными, действующая высота слоя F быстро растет, а затем отражения экранируются спорадическими слоями вплоть до 1^h 5 VIII. В дневные часы местного времени 5 VIII отражения от слоя F_2 не наблюдаются (выполняется G -условие: $f_0F_2 < f_0F_1$). 6 VIII в дневные часы вновь появляются отражения от слоя F_2 , но сохраняются

аномально высокие действующие высоты. К вечеру 6 VIII ионосферные характеристики принимают значения, близкие к нормальным.

4. При регистрации пейтронной компоненты космических лучей начало форбуш-эффекта (рис. 1) совпало по времени с началом магнитной бури. Профиль форбуш-понижения имеет сложную форму вследствие суперпозиции нескольких форбуш-эффектов, вызванных ударными волнами четырех последовательных солнечных вспышек, произошедших вблизи центральной области Солнца 2 и 4 VIII. Особенностью наблюдаемого форбуш-понижения является резкий спад интенсивности космических лучей в течение 5 час. (с 22^h 4 VIII до 3^h 5 VIII), максимальное уменьшение интенсивности составило при этом 22,5%. Общий процесс изменения интенсивности характеризуется более быстрым спадом и медленным восстановлением.

Магнитная буря закончилась раньше, чем успела восстановиться интенсивность космических лучей. После вспышки 7 VIII (3В), 8 VIII в 23^h 54^m началась умеренная магнитная буря со внезапным началом, которая продолжалась до 24^h 9 VIII. Восстановление интенсивности космических лучей закончилось только к середине августа.

5. Приведенные комплексные измерения показывают, что описываемое явление характеризуется следующими специфическими особенностями:

а) аномальное (22,5%) уменьшение интенсивности космических лучей продолжительностью 5 часов;

б) аномальное, в течение 30 мин. уменьшение (более чем на 500 γ вертикальной составляющей геомагнитного поля, совпадающее во времени с началом резкого уменьшения интенсивности космических лучей;

в) слой F_2 экранируется в момент начала резкого уменьшения интенсивности космических лучей, но затем, при минимальной величине интенсивности, отражения восстанавливаются на короткое (3 часа) время, после чего опять не наблюдается отражений от слоя F ;

г) все указанные явления происходят на фоне значительного изменения склонения вектора геомагнитного поля.

6. Указанные особенности могут быть объяснены при анализе характеристик солнечных вспышек 2—4 VIII. Первая (класса 1В) вспышка 2 VIII имеет поток радиоизлучения на частоте 200 МГц практически такой же, как и вспышка 2В (2 VIII). Оптические данные обсерваторий Алма-Ата и Иркутск (1) показывают, что эта вспышка возникла в сложной по конфигурации области солнечных пятен, имела несколько центров и по общей площади этих центров приближается к классу 2В. Следовательно, ее необходимо учитывать при анализе наблюдаемых явлений.

Вторая и третья вспышки 2 VIII произошли с малым временным разрывом (табл. 1) и в близко расположенных областях Солнца. Вероятно, что одна из этих вспышек индуцировала другую. В создавшейся ситуации возможно возникновение двух фронтов ударных волн, между которыми осуществляется обмен энергией. Интересно и то, что обе эти вспышки возникли спустя достаточно малое (16—17 час.) время после первой вспышки. Такая последовательность двух достаточно мощных вспышек, следующих одна за другой через короткое время, не наблюдалась, по крайней мере, с 1958 г. (2).

7. Эффективная скорость ударной волны на орбите Земли, вычисленная для профиля Форбуш-понижения I типа (2), составила $0,9 \cdot 10^8$ см/сек. Это свидетельствует, что Форбуш-понижение вызвано вспышкой 2 VIII в 2^h 50^m. Полученный результат хорошо согласуется с данными космических аппаратов «Пионер-10», которые зарегистрировали скорость ударной волны, равную $1 \cdot 10^8$ см/сек и $0,5 \cdot 10^8$ см/сек, на расстояниях 0,77 и 2,2 а.е. соответственно (3—5). Наличие фронтов двух ударных волн, вызванных вспышками 2 VIII в 18^h 41^m и 20^h 06^m, привело к специфическим изменениям

ям в геомагнитном поле (резкое получасовое уменьшение вертикальной составляющей) и глубокому минимуму интенсивности космических лучей.

Перед минимумом интенсивности космических лучей в 13^h 4 VIII наблюдалось увеличение интенсивности, которое особенно заметно на высоколатитных станциях⁽⁶⁾ и связано с приходом солнечных космических лучей от вспышки 4 VIII.

Вспышка 4 VIII произошла через 30 час. после двойной вспышки, ударная волна которой находилась в это время на расстоянии около 0,6 а.е. от Солнца. В это время распределение плотностей газа межпланетного пространства способствовало ускорению фронта ударной волны. Эффективная скорость фронта составила (к моменту прихода на орбиту Земли в 5^h 5 VIII) около $1,7 \cdot 10^8$ см/сек.

Вспышка 7 VIII произошла на западном лимбе Солнца, поэтому ее геофизические последствия были менее значительны. Например, форбуш-эффект 9 VIII был равен 1,7 %. Несмотря на это эффективная скорость распространения фронта ударной волны оставалась аномально большой и была равной $1,4 \cdot 10^8$ см/сек. Эффективная скорость распространения фронтов ударных волн была вычислена также с использованием *K*-индексов по методике⁽⁷⁾ и совпала с приведенными выше значениями.

Авторы выражают признательность Р. В. Ухову за подготовку ионосферных данных.

Институт геофизики
Уральского научного центра Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
9 X 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Солнечные данные. Бюллетень, № 8, «Наука», 1972. ² Л. И. Дорман, Вариации космических лучей и исследование космоса, Изд. АН СССР, 1963. ³ Spacecraft Team up to Study Solar Storm. Telecommun. J., v. 39, № 11, 691 (1972); Space World, 1, № 11, 50 (1972). ⁴ Raumfahrtforschung, v. 16, № 5, 261 (1972). ⁵ Spaceflight, v. 15, № 1, 20 (1973). ⁶ Л. П. Боровков, Э. В. Вашенюк и др., Результаты измерений солнечных протонов в августе 1972 г. в Апатитах на уровне моря и в стратосфере. Препринт Полярного геофизич. инст. Кольск. фил. АН СССР, К-5, 1972. ⁷ S. W. Snyder, M. Neugebauer, U. R. Rao, J. Geophys. Res., v. 68, 6361 (1963).