

УДК 550.385.37: 550.388

Л. Ф. Черногор, М. А. Шамота

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

## Геомагнитные пульсации, сопутствовавшие стартам ракет с космодромов КНР

Надійшла до редакції 18.02.08

Проаналізовано результати спостережень варіацій геомагнітного поля в діапазоні періодів 1—1000 с, які супроводжували старти 33 ракет з китайських космодромів Цеюянь, Січан і Тайюань в 2002—2007 рр. Вимірювання виконано поблизу м. Харкова (віддалення від космодромів  $R \approx 5000$ — $6000$  км). Виявлено три групи збурень, що мали запізнення 39—53, 100—129 і 140—180 хв. Їхні тривалості склали 30—50, 37—45 і 38—57 хв відповідно. У геомагнітних пульсаціях переважали періоди 9—12 хв. Амплітуди цих пульсацій досягали 3—5 нТл.

### ВВЕДЕНИЕ

Старты и полеты космических аппаратов (КА) оказывают значительное влияние на все подсистемы системы Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ЗАИМ), порождая целый спектр явлений [20—22]. Старты ракет (СР) сопровождаются тепловым, динамическим, химическим, акустическим и электромагнитным воздействиями на среду [1, 2, 8, 14, 17, 20, 22].

Локальное высокоэнергетическое воздействие должно сказаться на ионосферной токовой системе из-за изменения проводимости в результате инъекции в среду большого количества (сотен тонн) отработанного топлива, представляющего собой высокотемпературный (3000 К) ионизированный газ. Возможен и другой механизм воздействия на подсистемы системы ЗАИМ. Известно, что при движении ракеты со сверхзвуковой скоростью генерируется ударная волна, которая модулирует плотность атмосферы, электронную концентрацию и электрическое поле ионосферы. На больших расстояниях от места воздействия ударная волна трансформируется в акустико-гравитационную волну (АГВ), которая вовлекает в движение ионизиро-

ванный компонент. В результате этого в месте регистрации должны возникать геомагнитные пульсации, в частности с теми же периодами, что и у АГВ [11]. Таким образом, ионосферный и магнитный эффекты СР оказываются связанными между собой.

Более чем за три десятилетия регистрации, изучения и моделирования эффектов СР проведен анализ большого объема экспериментальных данных, полученных радиофизическими методами [14, 15, 17, 23, 25, 27]. Исследования в основном проводились на близких расстояниях (вдоль траектории полета КА) [1, 16, 17], но особый интерес представляла возможность регистрации эффектов на больших удалениях [2—11, 14—18, 26]. Наблюдению эффектов СР магнитометрическим методом посвящены только отдельные работы [11, 18, 23].

В работах [11] и [23] изложены результаты исследования реакции геомагнитного поля в окрестности г. Харькова на 43 запуска ракет с космодрома Байконур и 16 запусков ракет с космодрома Плесецк. Вывявлены три группы квазипериодических возмущений со скоростями 5—9 км/с, 800—1100 м/с и 300—400 м/с соответственно. Амплитуды колебаний варьировались в

зависимости от уровня геомагнитной активности и составляли в среднем 3—6 нТл.

Большой интерес представляет изучение возможности обнаружения эффектов СР на расстояниях, значительно превосходящих расстояния до космодромов Плесецк и Байконур (удаления 1500 км и 2100 км соответственно). Для этого удобными являются китайские космодромы, удаленные до которых от места регистрации составляют  $R \approx 5000\text{—}6000$  км.

Целью настоящей работы является изложение результатов наблюдений вариаций уровня и спектральных составляющих геомагнитного поля вблизи г. Харькова, которые сопровождали старты 33 ракет различных типов с китайских космодромов Цеюянь, Сичан и Тайюань.

Возможности программно-аппаратного измерительного комплекса, использовавшегося для наблюдений, изложены в работе [10].

Методики измерений и анализа аналогичны описанным авторами в работе [11].

**Сведения о ракетах и космодромах.** В работе изучалась реакция геомагнитного поля на старты 33 ракет «Long March» следующих модификаций: 2С (7 запусков), 2D (4 запуска), 2F (4 запуска), 3А (9 запусков), 3В (1 запуск), 4В (8 запусков). Характеристики и основные параметры ракет приведены в табл. 1. Видно, что ракеты модификаций 2F и 3В относятся к классу тяжелых ракет, а ракеты 2С, 2D, 3А и 4В — к ракетам средней тяжести [15].

Краткие сведения о космодромах КНР приведены в табл. 2. Видно, что количество запусков ракет с разных космодромов примерно одинаковы, а удаления до космодромов составляют  $R \approx 5000\text{—}6000$  км.

**Уровень магнитной возмущенности.** Уровень магнитной возмущенности контролировался при помощи  $A_p$ - и  $K_p$ -индексов, которые представлены в Интернет (табл. 3). Приведены значения индексов в день СР, а также за сутки и двое суток до него. Как видно, старты имели место как в магнитоспокойные, так и в магнитовозмущенные дни.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

**Примеры регистраций.** На рис. 1, а приведены вариации  $H(t)$  и  $D(t)$ , сопутствовавшие старту ракеты 3А 14 ноября 2003 г. с космодрома Сичан, который имел место в 16:01 (здесь и далее UT). Примерно в 15:25 наблюдался заход Солнца на высоте 200 км вблизи г. Харькова. Вероятнее всего, эффекты, связанные с вечерним солнечным терминатором, к моменту СР закончились. Первое изменение характера колебательного процесса наблюдалось в интервале времени 16:40—16:35 и длилось около 33—40 мин для обеих компонент. В  $D$ -компоненте регистрировалось увеличение амплитуды от 2 до 4 нТл, а в  $H$ -компоненте — подавление волно-

Таблица 1. Краткие сведения о китайских ракетах

Тип ракеты	Количество ступеней	Длина, м	Максимальный диаметр, м	Масса, т	Начальная тяга, МН	Масса низкоорбитальной нагрузки, т
2С	2	35.15	3.35	192	2.786	2.4
2D	2	33.67	3.35	232	2.962	3.1
2F	2	58.34	7.85	480	5.923	8.4
3А	3	52.36	3.35	241	2.962	8.5
3В	3	54.84	7.85	425.5	5.924	12.0
4В	3	44.1	3.35	254	2.971	4.2

Таблица 2. Краткие сведения о космодромах КНР

Название	Координаты		Расстояние от космодрома до обсерватории, км	Количество запусков
	широта	долгота		
Цеюянь	41.1° с. ш.	100.3° в. д.	4780	10
Тайюань	38.8° с. ш.	111.5° в. д.	5920	12
Сичан	28.1° с. ш.	102.3° в. д.	5600	11

Таблица 3. Уровень магнитной возмущенности накануне и в день запуска ракет

Дата	Время, УТ	Космодром	Тип ракеты	2 сут до СР		1 сут до СР		СР	
				$A_p$	$K_p$	$A_p$	$K_p$	$A_p$	$K_p$
25 марта 2002 г.	14:15	Цеюянь	2F	8	17	9	15	47	37
15 мая 2002 г.	1:50	Тайюань	4В	12	22	32	35	16	25
26 октября 2002 г.	3:17	Тайюань	4В	47	40	40	37	27	32
29 декабря 2002 г.	16:40	Цеюянь	2F	37	35	19	28	13	23
24 мая 2003 г.	16:34	Сичан	3А	25	30	21	27	22	30
15 октября 2003 г.	1:00	Цеюянь	2F	13	22	48	40	42	36
21 октября 2003 г.	3:16	Тайюань	4В	32	34	30	34	39	38
3 ноября 2003 г.	19:20	Цеюянь	2D	21	28	18	27	10	21
14 ноября 2003 г.	16:01	Сичан	3А	26	32	42	37	37	35
29 декабря 2003 г.	19:06	Сичан	2С	12	24	12	22	6	14
18 апреля 2004 г.	15:59	Сичан	2С	12	22	9	18	11	18
25 июля 2004 г.	7:31	Тайюань	2С	47	38	27	33	122	54
29 августа 2004 г.	7:50	Цеюянь	2С	8	17	12	23	8	17
8 сентября 2004 г.	23:14	Тайюань	4В	14	23	16	25	9	20
27 сентября 2004 г.	8:00	Цеюянь	2D	5	12	4	12	5	11
19 октября 2004 г.	1:20	Сичан	3А	3	6	4	8	4	8
06 ноября 2004 г.	8:10	Тайюань	4В	7	14	4	7	3	4
18 ноября 2004 г.	10:45	Сичан	2С	8	15	6	11	3	5
5 июля 2005 г.	22:40	Цеюянь	2D	11	21	7	15	5	10
12 октября 2005 г.	1:00	Цеюянь	2F	10	17	6	10	1	1
26 апреля 2006 г.	22:48	Тайюань	4В	7	14	5	10	5	11
9 сентября 2006 г.	7:00	Цеюянь	2С	8	11	4	8	2	3
12 сентября 2006 г.	16:02	Тайюань	3А	6	11	8	15	4	8
24 октября 2006 г.	11:34	Тайюань	4В	13	21	3	6	4	8
8 декабря 2006 г.	0:53	Тайюань	3А	28	31	25	31	25	28
2 февраля 2007 г.	16:28	Сичан	3А	16	24	8	17	2	6
11 апреля 2007 г.	3:27	Тайюань	2С	9	14	7	13	4	5
13 апреля 2007 г.	20:11	Сичан	3А	4	5	8	16	2	3
14 мая 2007 г.	16:01	Сичан	3В	3	3	3	7	3	5
25 мая 2007 г.	7:12	Цеюянь	2D	42	36	28	32	16	25
31 мая 2007 г.	16:08	Сичан	3А	4	8	4	8	4	7
19 сентября 2007 г.	3:26	Тайюань	4В	2	3	2	5	3	8
24 октября 2007 г.	10:05	Сичан	3А	5	11	7	13	3	6

вого процесса. Периоды составляли 10—14 мин. Следующее возмущение, заметное в обоих компонентах, имело место в интервале времени с 18:25 до 19:10 и сопровождалось незначительным увеличением амплитуды и появлением высокочастотной составляющей. Отчетливо фиксируемое увеличение амплитуды до 7 нТл произошло приблизительно в 19:30. Для  $H$ - и  $D$ -компонентов оно продолжалось 57 и 52 мин соответственно. Кроме того, периоды вариаций  $H$ -компонента геомагнитного поля увеличились до 14—15 мин.

Запуск китайской ракеты модификации 3А с космодрома Сичан произошел 24 октября 2007 г.

в 10:05. На рис. 1, б показаны временные зависимости  $H$ - и  $D$ -компонентов геомагнитного поля. Первое отчетливо регистрируемое (явное подавление высокочастотной составляющей в вариациях  $H(t)$ ) изменение характера колебаний имело запаздывание 23—25 мин, продолжительность составляла 58—63 мин. Периоды колебаний варьировали в пределах 10—11 мин для обоих компонентов. Следующее возмущение наблюдалось примерно через 128—130 мин после момента СР и длилось 42—46 мин. Периоды преобладающих колебаний для  $H$ - и  $D$ -составляющих равнялись 7 и 12 мин соответственно. Третье возмущение, длительностью 52 мин про-

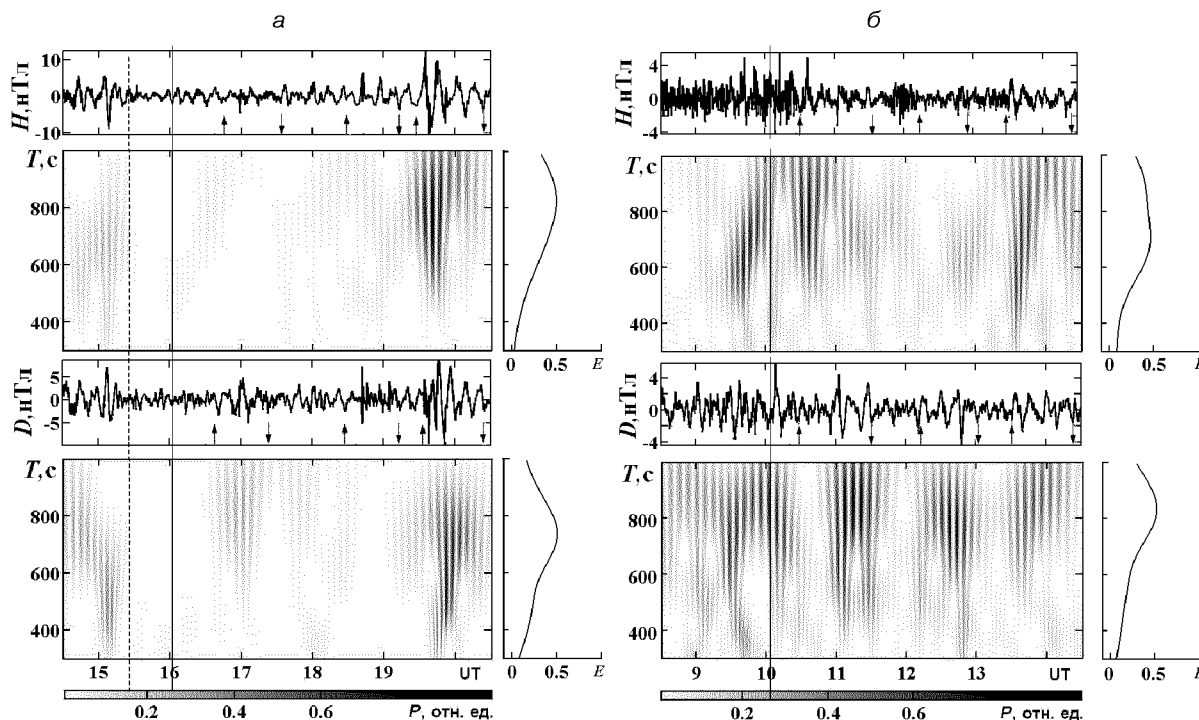


Рис. 1. Временные вариации H- и D-компонентов геомагнитного поля, соответствующие им вейвлет-спектры и распределения средней энергии  $E$  колебаний по периодам в диапазоне периодов 300—1000 с, сопровождавшие старты китайских ракет модификации 3А с космодрома Сичан. Сплошной вертикальной линией показан момент старта ракеты ( $a$  — 16:01 UT 14 ноября 2003 г.,  $b$  — 10:05 UT 24 октября 2007 г.). Штриховой линией показан момент захода Солнца на высоте 200 км вблизи г. Харькова

явилось через 180—200 мин. Оно сопровождалось значительным увеличением периода (от 7 до 14 мин) и амплитуды (от 1 до 3.5 нТл) в H-компоненте. Для D-компонента эффекты были выражены слабее. Все три процесса сопровождалось существенным увеличением периода волнового процесса, который достигал 12—14 мин.

**Результаты статистического анализа.**

Гистограммы времен запаздывания, продолжительностей и периодов преобладающих колебаний для 33 СР приведены на рис. 2—4. Там же приводятся соответствующие гистограммы для фоновых дней (за день до и на следующий день после СР; выделение подобных эффектов для них проводилось относительно времен реальных стартов). Видно, что непосредственно после СР имели место три группы возмущений с запаздываниями:  $\Delta t_1 \approx 39$ —53 мин,  $\Delta t_2 \approx 100$ —129 мин и  $\Delta t_3 \approx 140$ —180 мин. Продолжительности воз-

Таблица 4. Значения основных параметров возмущений, сопутствовавших СР ( $\Delta t$  — времена запаздывания возмущений,  $\Delta T$  и  $T$  — их продолжительности и периоды)

Параметр	Значение
$\Delta t_1$ , мин	$46.0 \pm 7.1$
$\Delta t_2$ , мин	$116.8 \pm 11.9$
$\Delta t_3$ , мин	$166.0 \pm 37.1$
$\Delta T_1$ , мин	$51.6 \pm 6.8$
$\Delta T_2$ , мин	$56.9 \pm 15.5$
$\Delta T_3$ , мин	$53.2 \pm 8.03$
$T_1$ , мин	$10.4 \pm 0.2$
$T_2$ , мин	$10.3 \pm 0.3$
$T_3$ , мин	$11.6 \pm 0.3$

мущений:  $\Delta T_1 \approx 30$ —50 мин,  $\Delta T_2 \approx 37$ —45 мин и  $\Delta T_3 \approx 38$ —57 мин; периоды колебаний составляли 9—12 мин. Средние значения запаздываний, продолжительностей и периодов колебаний для всех СР и оценки их средних квадратичных

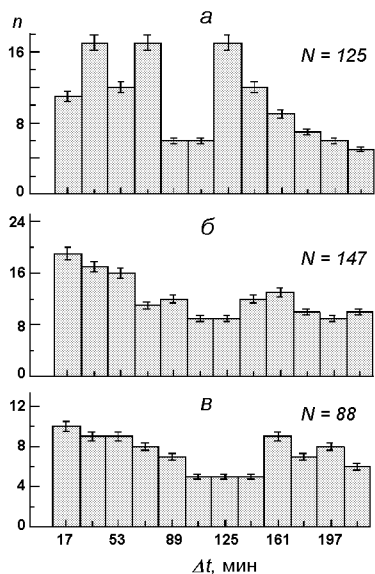


Рис. 2. Гистограммы времен запаздывания  $\Delta t$  для дневного, вечернего и ночного времени суток: *a* — для возмущений геомагнитного поля, сопутствовавших СР, *б* — за день до СР, *в* — на следующий день после СР

отклонений приведены в табл. 4.

Из рис. 2—4 также видно, что для фоновых дней распределения времен запаздываний волновых возмущений близки к равномерным, что свидетельствует о случайной природе возмущений в фоновые дни.

**Результаты спектрального анализа.** Вейвлет-спектры также свидетельствуют о наличии трех групп запаздываний (см. рис. 1, *a*). Особенно четко в обеих спектрограммах проявляются возмущения, имеющие запаздывания около 200—230 мин.

24 октября 2007 г. после СР также наблюдались три группы возмущений (см. рис. 1, *б*). Амплитуда колебаний была больше для *D*-компонента сигнала.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Практически всем из рассмотренных стартов ракет сопутствовали заметные или значительные изменения спектрального состава волновых процессов. В большинстве случаев наблюдалось увеличение амплитуды, но в ряде случаев отмечалось подавление сигнала, свидетельствующее

о противофазном сложении волновых процессов. Почти всегда вариации характера сигнала сопровождались изменением периодов квазипериодических процессов.

Возмущения, следовавшие за СР, принципиально ничем не отличались от естественных возмущений. Поэтому анализ вариаций геомагнитного поля после отдельных стартов не может дать полной уверенности о связи наблюдаемых возмущений со СР. Такой уверенности прибавляют результаты статистического анализа. Как показывает последний, чаще всего регистрировались три группы возмущений с  $\Delta t_1 \approx 39$ —53 мин,  $\Delta t_2 \approx 100$ —129 мин и  $\Delta t_3 \approx 140$ —180 мин. Возмущения представляли собой цуги колебаний продолжительностями около 30—50 мин и периодами 9—12 мин.

Знание запаздываний сигналов  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$  позволяет вычислить скорости соответствующих волновых процессов.

Возмущения магнитного поля, скорее всего, генерируются на высотах максимума токовой струи ( $z \approx 100$ —150 км). Время  $\Delta t_0$  достижения ракетой этих высот зависит от типа ракеты и составляет около 3 мин. При этом скорректированные времена распространения возмущений, наблюдаемых вблизи г. Харькова,  $\Delta t' = \Delta t - \Delta t_0$ . Исходя из средних значений  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_3$ , получим, что  $\Delta t'_1 \approx 37$ —49 мин,  $\Delta t'_2 \approx 102$ —124 мин и  $\Delta t'_3 \approx 149$ —199 мин. При  $R \approx 5000$ —6000 км им соответствуют скорости  $v'_1 \approx 2.0$ —3.7 км/с,  $v'_2 \approx 670$ —980 м/с и  $v'_3 \approx 420$ —670 м/с. Наибольшую скорость имеют медленные МГД-волны, которые детально изучены в [19]. Такие скорости волн, следующих за СР, наблюдались нами неоднократно [2—7, 15]. Скорость распространения возмущений второй группы близки к скоростям, полученным нами в работах [11, 23]:  $v_2 \approx 800$ —1100 м/с и 880—910 м/с соответственно. Эти волны ассоциируются со скоростью ударных волн, которые по мере удаления от космодрома постепенно превращаются в АГВ (будем условно называть их ударно-волновыми АГВ). Скорость  $v_3 \approx 420$ —670 м/с имеют внутренние гравитационные волны (ВГВ) в F-области ионосферы [13].

Возникает естественный вопрос, могут ли волны указанных типов преодолевать расстояния в 5000—6000 км и сохранить при этом регистри-

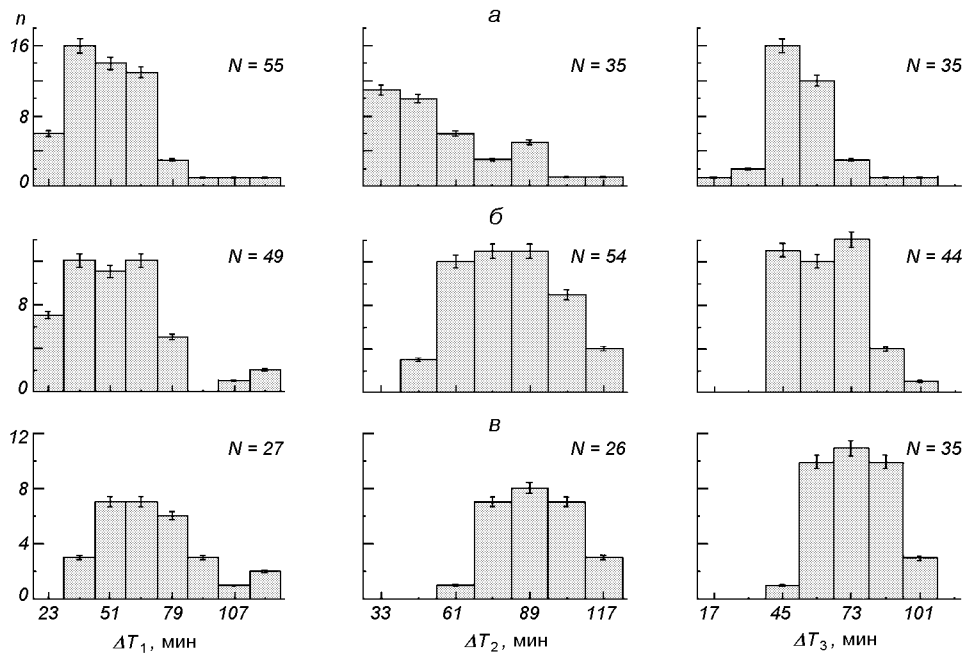


Рис. 3. Гистограммы продолжительностей  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$  и  $\Delta T_3$ : *a* — для возмущений геомагнитного поля, сопутствовавших СР, *б* — за день до СР, *в* — на следующий день после СР

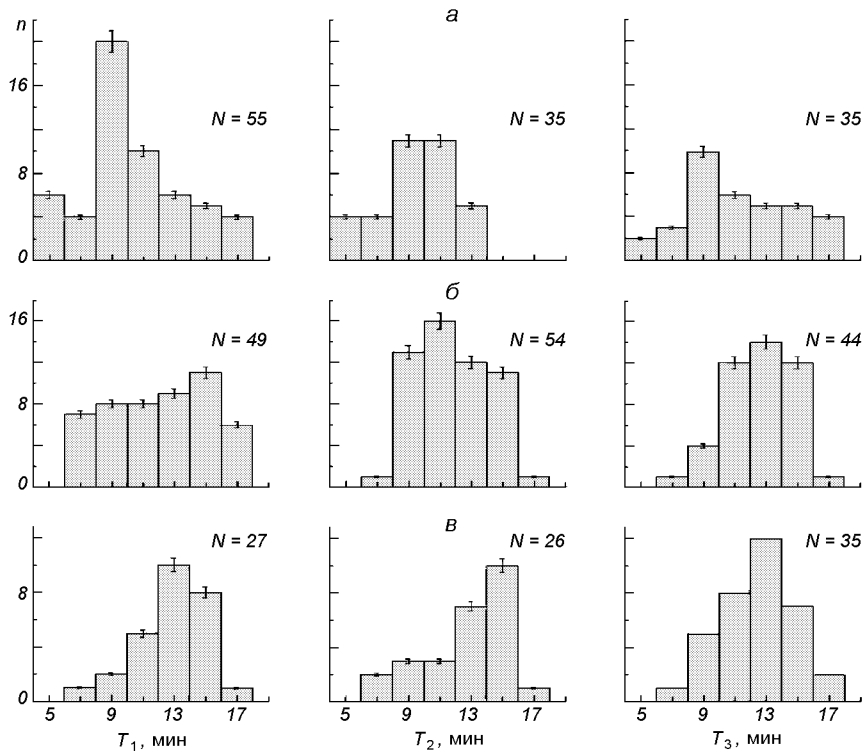


Рис. 4. Гистограммы периодов  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ : *a* — для возмущений геомагнитного поля, сопутствовавших СР, *б* — за день до СР, *в* — на следующий день после СР

руемую амплитуду? Что касается гравитационных волн (АГВ и ВГВ), то они могут распространяться на указанные расстояния [12]. Этому способствует два обстоятельства. Во-первых, волны этих типов распространяются в волноводе, из-за чего их энергия убывает как  $R^{-1}$ , а амплитуда возмущения давления и плотности частиц — как  $R^{-1/2}$ . Поэтому в отсутствие затухания волн их амплитуда для одинаковых типов ракет при СР с китайских космодромов была бы всего в 1.5—1.7 раза меньше, чем при СР с космодрома Байконур. Что касается декремента затухания, то, как показывают наши оценки, он не больше, чем  $3 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-1}$ .

Сложнее дело обстоит с ослаблением медленных МГД-волн. Этот вопрос, насколько нам известно, пока не обсуждался. Можно только надеяться, что их ослабление не сильно отличается от затухания АГВ и ВГВ. Основанием для этого служат результаты наблюдений волн с такими скоростями [2—7, 11, 14, 15].

#### ВЫВОДЫ

1. Изучены вариации геомагнитного поля, следовавшие за 33 стартами ракет с китайских космодромов Сичан, Цеюянь и Тайюань. Установлено, что практически во всех случаях после СР наблюдались заметные или значительные изменения характера колебаний.

2. В результате статистического анализа выявлены три группы возмущений, имевших запаздывания 39—53, 100—129 и 150—180 мин. Им соответствовали продолжительности процессов 30—50, 37—45 и 38—57 мин; периоды этих процессов составляли 9—12 мин.

3. В предположении, что возмущения вызваны СР, определены скорости распространения трех групп возмущений:  $v'_1 \approx 2\text{—}2.6 \text{ км/с}$ ,  $v'_2 \approx 800\text{—}970 \text{ м/с}$  и  $v'_3 \approx 500\text{—}600 \text{ м/с}$ . Такие скорости имеют медленные МГД-волны, ударно-волновые АГВ и ВГВ соответственно.

4. Непротиворечивость полученных параметров возмущений результатам наших более ранних исследований и результатам исследований других авторов позволяет нам с определенной степенью уверенности утверждать, что описанные возмущения могут быть связаны со СР с китайских космодромов.

Авторы благодарны К. П. Гармашу и С. Г. Леусу за проведение систематических магнитометрических измерений.

1. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П., Плотников А. В. Регистрация ионосферных откликов на ударно-акустические волны, генерируемые при запусках ракет-носителей // Геомагнетизм и аэронавигация.—2002.—42, № 6.—С. 790—797.
2. Бурмака В. П., Костров Л. С., Черногор Л. Ф. Статистические характеристики сигналов доплеровского ВЧ радара при зондировании средней ионосферы, возмущенной стартами ракет и солнечным терминатором // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 2.—С. 143—162.
3. Бурмака В. П., Лысенко В. Н., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Волновые процессы в F-области ионосферы, сопутствовавшие стартам ракет с космодрома Байконур // Геомагнетизм и аэронавигация.—2006.—46, № 6.—С. 783—800.
4. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты комплексных радиофизических наблюдений волновых возмущений в геокосмосе, сопровождавших старты и полеты ракет // Космічна наука і технологія. Додаток.—2003.—9, № 2.—С. 57—61.
5. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые возмущения в ионосфере, сопутствовавшие стартам ракет на фоне естественных переходных процессов // Геомагнетизм и аэронавигация.—2004.—44, № 4.—С. 518—534.
6. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Комплексные радиофизические исследования волновых возмущений в ионосфере, сопровождавших старты ракет на фоне естественных нестационарных процессов // Радиофизика и радиоастрономия.—2004.—9, № 1.—С. 5—28.
7. Бурмака В. П., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Волновые возмущения в геокосмосе, сопровождавшие старты и полеты ракет «Союз» и «Протон» // Радиофизика и радиоастрономия.—2005.—10, № 3.—С. 254—272.
8. Гармаш К. П., Гоков А. М., Костров Л. С. и др. Радиофизические исследования и моделирование процессов в ионосфере, возмущенной источниками различной природы. 2. Процессы в искусственно-возмущенной ионосфере. Вариации характеристик радиосигналов. Моделирование возмущений // Вестник Харьков. ун-та. Радиофизика и электроника.—1999.—№ 427, вып. 1.—С. 3—22.
9. Гармаш К. П., Костров Л. С., Розуменко В. Т. и др. Глобальные возмущения ионосферы, вызванные стартом ракеты, на фоне магнитной бури // Геомагнетизм и аэронавигация.—1999.—39, № 1.—С. 72—78.
10. Гармаш К. П., Леус С. Г., Пазюра С. А. и др. Статистические характеристики флуктуаций электромагнитного поля Земли // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 2.—С. 163—180.
11. Гармаш К. П., Леус С. Г., Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Вариации геомагнитного поля, сопутствовавшие стартам и полетам космических аппаратов // Космічна наука і технологія.—2007.—13, № 6.—С.

- 87—98.
12. Гершман Б. Н. Динамика ионосферной плазмы. — М.: Наука, 1974.—256 с.
  13. Госсард Э. Э., Хук У. Х. Волны в атмосфере. — М.: Мир, 1978.—532 с.
  14. Засов Г. Ф., Карлов В. Д., Романчук Т. Е. и др. Наблюдение возмущений в нижней ионосфере во время экспериментов по программе Союз—Аполлон // Геомагнетизм и аэрномия.— 1977.—17, № 2.—С. 346—348.
  15. Костров Л. С., Розуменко В. Т., Черногор Л. Ф. Доплеровское радиозондирование возмущений в средней ионосфере, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов // Радиофизика и радиоастрономия.—1999.—4, № 3.—С. 227—246.
  16. Нагорский П. М. Неоднородная структура области F ионосферы, образованная ракетами // Геомагнетизм и аэрномия.—1998.—38, № 2.—С. 100—106.
  17. Нагорский П. М., Тарашук Ю. Е. Искусственная модификация ионосферы при стартах ракет, выводящих на орбиту космические аппараты // Изв. вузов. Физика.—1993.—№ 10.—С. 94—106.
  18. Соколова О. И., Краснов В. М., Николаевский Н. Ф. Изменения геомагнитного поля под влиянием запусков ракет с космодрома Байконур // Геомагнетизм и аэрномия.—2003.—46, № 4.—С. 561—565.
  19. Сорокин В. М., Федорович Г. В. Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. — М.: Энергоиздат, 1982.—134 с.
  20. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
  21. Черногор Л. Ф. Земля—атмосфера—ионосфера—магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 1 // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
  22. Черногор Л. Ф. Земля—атмосфера—ионосфера—магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 2 // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 55—97.
  23. Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Волновые возмущения геомагнитного поля, сопутствовавшие стартам ракет с космодрома Плесецк // Космічна наука і технологія.—2008.—14, № 3.—С. 29—38.
  25. Arendt P. R. Ionospheric undulations following Apollo 14 Launching // Nature.—1971.—231.—P. 438—439.
  26. Chernogor L. F., Garmash K. P., Kostrov L. S., et al. Perturbations in the ionosphere following U. S. powerful space vehicle launching // Radio Physics and Radio Astronomy.—1998.—3, N 2—P. 181—190.
  27. Foster J. C., Holt J. M., Lanzerotti L. J. Mid-latitude ionospheric perturbation associated with Spacelab-2 plasma depletion experiment at Millstone Hill // Ann. Geophys.—2000.—18.—P. 111—120.

---

#### GEOMAGNETIC PULSATIONS ASSOCIATED WITH ROCKET LAUNCHES FROM THE CHINA COSMODROMES

*L. F. Chernogor, M. A. Shamota*

We analysed geomagnetic field variations in 1—1000 s period range that accompanied 33 rocket launches in 2002—2007. The measurements were made near Kharkiv city at a distance of about 5000—6000 km from the China cosmodromes. Our analysis revealed three groups of disturbances with time delays of 39—53, 100—129 and 140—180 min and with durations of 30—50, 37—45 and 38—57 min, respectively. The 9—12 min geomagnetic micropulsation periods became dominant, and their amplitudes attained a value of 3—5 nT.