

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

Волновые возмущения геомагнитного поля, сопутствовавшие стартам ракет с космодрома Плесецк

Надійшла до редакції 12.11.07

Проаналізовано результати спостережень варіацій геомагнітного поля в діапазоні періодів 1—1000 с, які супроводжували старти 16 ракет з космодрому Плесецьк в 2002—2007 рр. Вимірювання виконано поблизу м. Харкова (віддалення від космодрому 1500 км). Виявлено три групи збурень, що мали запізнення 5—12, 25—40 і 60—85 хв. Їхні тривалості склали 12—20, 40—50 і 42—55 хв відповідно. У геомагнітних пульсаціях переважали періоди 6—8, 10—12 і 10—12 хв відповідно. Амплітуди цих пульсацій досягали 3—5 нТл.

ВВЕДЕНИЕ

Старты и полеты космических аппаратов (КА) относятся к высокоэнергетическим локальным воздействиям на окружающую среду и геокосмос. Эффекты таких воздействий представляют большой интерес для изучения и моделирования динамических процессов в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ЗАИМ) [20—22]. Старты и полеты КА оказывают тепловое, динамическое, химическое, акустическое и электромагнитное воздействия на среду [1, 2, 8, 14, 17, 20, 22]. В частности, при движении ракеты со сверхзвуковой скоростью генерируется ударная волна, которая, в свою очередь, на больших удалениях превращается в акустико-гравитационную волну (АГВ) [1, 8, 12]. Акустико-гравитационная волна модулирует концентрацию электронов и частоты соударений электронов с тяжелыми частицами в ионосфере. Это приводит к модуляции проводимости плазмы и ионосферного электрического поля. В результате должны возникать геомагнитные пульсации, в частности с теми же периодами, что и у АГВ [11]. Таким образом, ионосферный и магнитный эффекты СР связаны между собой.

Задачами поиска и исследования возмущений, сопутствующих стартам и полетам КА, занимаются уже десятилетия [14, 15, 17, 23, 24, 26, 28]. За это время накоплен большой объем экспериментальных и теоретических данных. Для изучения указанных возмущений применяются как наземные средства наблюдения, так и искусственные спутники Земли. Большинство исследований проводится на близких расстояниях от места воздействия (вдоль траектории полета КА) [1, 16, 17]. Особый интерес представляет изучение эффектов на больших удалениях от места старта. Этому вопросу посвящен ряд наших работ [2—10, 15, 25, 27].

В работе [11] изложены результаты исследования реакции геомагнитного поля на 43 запуска ракет с космодрома Байконур, которые позволили утверждать, что нами впервые обнаружены возмущения геомагнитного поля на удалениях около 2100 км от места старта. Выявлены три группы квазипериодических возмущений с запаздываниями 6—7, 35—45 и 90—130 мин, продолжительностями 17—27, 45—80 и 40—70 мин соответственно. Преобладающие периоды составляли 5—8, 9—11 и 9—11 мин для этих трех типов возмущений. Амплитуды колебаний

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

Для космодрома Байконур возмущения распространялись практически перпендикулярно к магнитным силовым линиям (в направлении, близком к широтному), в то же время космодром Плесецк расположен в Архангельской области, т. е. при регистрации вблизи г. Харькова направление распространения возмущений является почти долготным. В данном случае удаления от мест стартов сопоставимы: 2100 и 1500 км для Байконура и Плесецка соответственно. Поэтому целесообразно сравнить полученные результаты для обоих космодромов.

Целью настоящей работы является изложение результатов наблюдений достаточно высокочастотных (периоды 1—1000 с) вариаций уровня и

спектральных составляющих геомагнитного поля вблизи г. Харькова, которые сопровождали старты 16 ракет различных типов с космодрома Плесецк ($R \approx 1500$ км). Программно-аппаратный измерительный комплекс описан в работе [10]. Методики измерений и анализа изложены в работе [11].

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАКЕТАХ

В работе изучалась реакция геомагнитного поля на старты 16 ракет следующих типов: «Союз» (3 запуска), «Рокот» (5 запусков), «Молния» (1 запуск), «Космос-3М» (7 запусков). Характеристики и основные параметры ракет приведены в табл. 1. Видно, что согласно классификации [15] ракеты «Союз» и «Молния» относятся к

Таблица 1. Краткие сведения о ракетах

Параметры	Тип ракеты			
	«Молния»	«Союз»	«Космос-3М»	«Рокот»
Полная масса, т	305.5	305	109	107.5
Начальная тяга, МН	4.19	4.14	1.48	1.6
Высота, м	40	46.1	32.4	29
Низкоорбитальная полезная нагрузка, кг на 200 км	1800	6855	1500	1950
Нулевая ступень				
Масса, т	43.4	177.6	—	—
Тяга, МН	1	4.08	—	—
Диаметр, м	2.7	2.7	—	—
Высота, м	19	19.6	—	—
Время работы, с	119	120	—	—
Первая ступень				
Масса, т	100.6	105.4	—	77.2
Тяга, МН	1	1	1.74	1.8
Диаметр, м	2.7	3	2.4	2.5
Высота, м	19	27.8	—	13.3
Время работы, с	119	286	170	121
Вторая ступень				
Масса, т	24.8	25.2	—	12.2
Тяга, МН	0.3	0.3	0.16	0.2
Диаметр, м	2.6	2.7	2.8	2.5
Высота, м	2.8	6.7	—	2.9
Время работы, с	241	300	375	155
Третья ступень				
Масса, т	6.7	—	—	5.6
Тяга, МН	0.07	—	—	0.02
Диаметр, м	2.4	—	—	2
Высота, м	3.2	—	—	2.3
Время работы, с	250	—	—	730

Таблица 2. Уровень магнитной возмущенности накануне и в день запуска ракет

Дата	UT	Тип ракеты	2 сут до СР		1 сут до СР		СР	
			A_p	K_p	A_p	K_p	A_p	K_p
20.06.02	09:34	«Рокот»	11	18	16	26	10	22
08.07.02	06:36	«Космос-3М»	23	30	11	25	10	19
29.09.02	15:30	«Космос-3М»	6	16	6	17	8	17
28.11.02	06:07	«Космос-3М»	14	23	21	29	15	24
19.06.03	20:01	«Молния»	50	39	54	40	18	27
19.08.03	10:50	«Космос-3М»	15	21	86	48	21	27
27.09.03	06:12	«Космос-3М»	28	33	17	26	9	18
29.10.03	13:43	«Рокот»	15	22	20	29	189	55
31.05.05	12:00	«Союз»	22	22	67	42	17	26
27.08.05	18:34	«Рокот»	24	29	11	21	7	14
08.01.05	15:02	«Рокот»	4	8	11	18	22	28
03.05.06	17:38	«Союз»	2	4	4	6	3	5
28.07.06	07:05	«Рокот»	6	11	9	12	29	26
19.12.06	14:00	«Космос-3М»	4	6	8	15	14	21
07.06.07	18:00	«Союз»	3	4	2	3	3	6
02.07.07	19:38	«Космос-3М»	6	11	5	11	3	6

тяжелым ракетам, а «Космос» и «Рокот» к ракетам средней тяжести.

УРОВЕНЬ МАГНИТНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТИ

Для общего контроля уровня магнитной возмущенности использовались A_p - и K_p -индексы, которые представлены в интернете (табл. 2). 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 слабомагнитовозмущенные дни. Старт 29 октября 2003 г. совпал с сильнейшей магнитной бурей ($A_p = 189$, $K_p = 9$).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Рассмотрим старты ракет с космодрома Плесецк в дневное, вечернее и ночное время.

Старты ракет в дневное время. Старт тяжелой ракеты «Союз» произошел 31 мая 2005 г. в 12:00 (здесь и далее UT). Временные вариации горизонтальных составных геомагнитного поля и их вейвлет-спектры приведены на рис. 1, а. Видно, что первое значительное изменение характера колебаний (увеличение амплитуды колебаний от 4 до 10 нТл и от 4 до 6 нТл для H -

и D -компонентов соответственно) наблюдалось через 2—3 мин после момента старта и имело продолжительность 10—15 мин. Второе возмущение регистрировалось с 12:30 до 12:40—12:50 и имело амплитуды 8—10 и 3—4 нТл для H - и D -компонентов соответственно. Следующее изменение характера колебаний началось в 13:00—13:10, сопровождалось увеличением периода примерно в два раза и имело продолжительность 40—50 мин. Амплитуда колебаний составляла около 6 и 4 нТл для H - и D -компонентов соответственно.

Предполагаемые эффекты СР более четко выражены на вейвлет-спектрах для H -компонента.

На рис. 1, б представлены вариации $H(t)$ и $D(t)$, сопутствовавшие старту ракеты средней тяжести «Рокот» 28 июля 2006 г. в 07:05. Заметное увеличение амплитуды (до 10—12 и 6—8 нТл для H - и D -компонентов соответственно) и изменение периода наблюдалось с 07:25 до 08:10. Следующее возмущение началось в 08:30 и продолжалось до 09:20 для обеих компонент. Периоды волновых процессов составляли 8—10 мин.

Искомые возмущения от СР также лучше проявлялись на вейвлет-спектрах для H -компонента.

Старты ракет в вечернее время. Запуск ракеты средней тяжести «Космос-3М» в 15:30

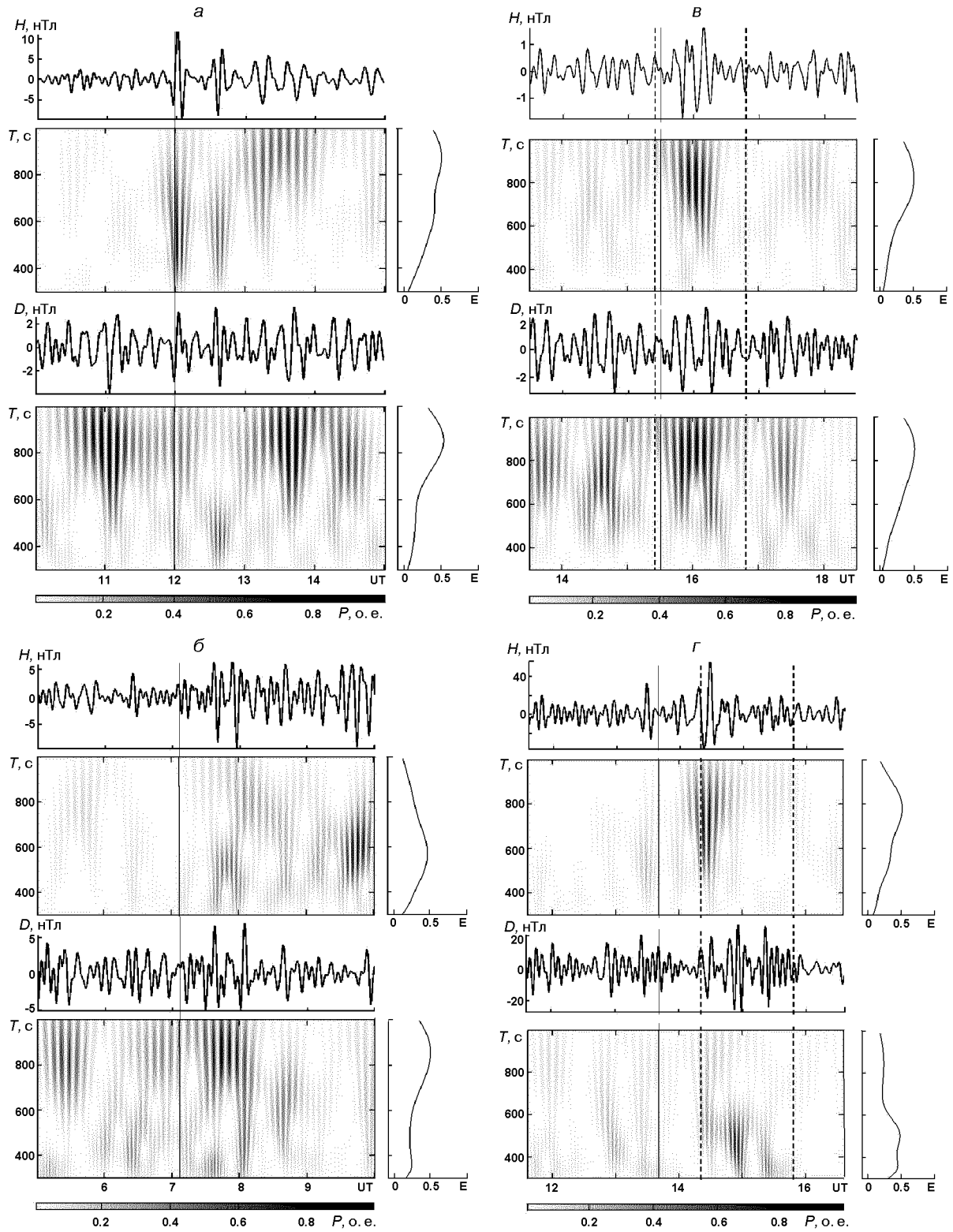


Рис. 1. Окончание см. на с. 33

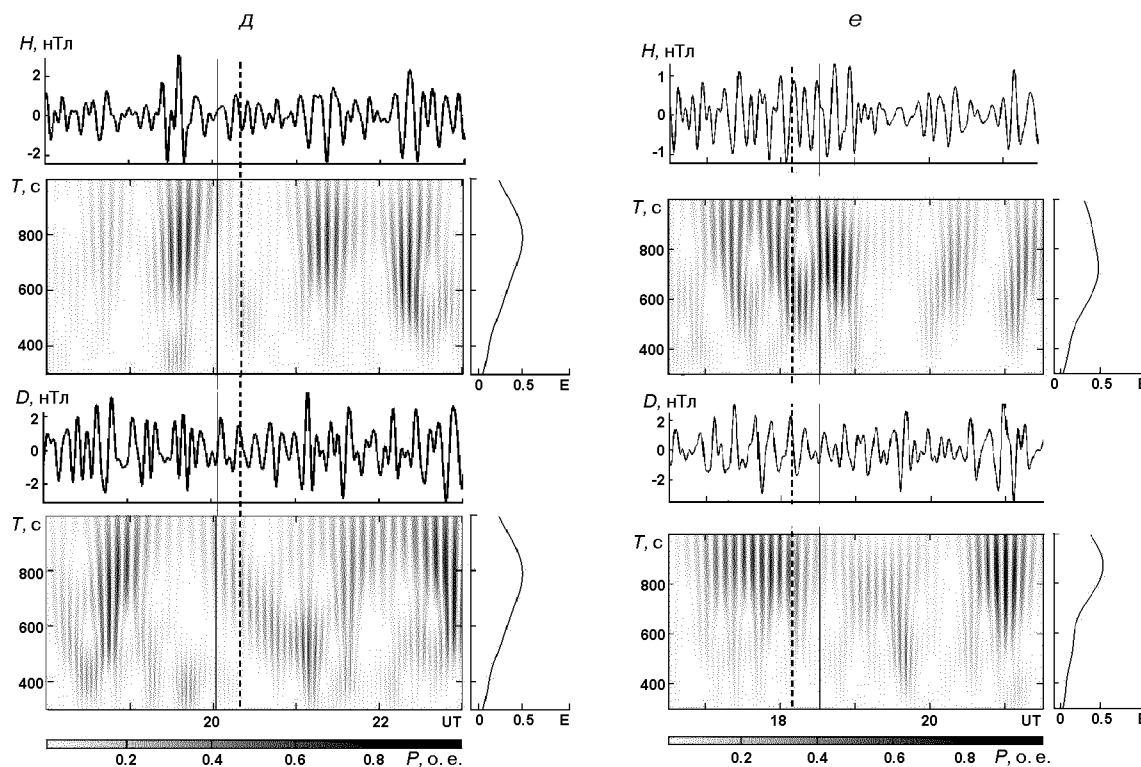


Рис. 1. Временные вариации H - и D -компонентов геомагнитного поля, соответствующие им вейвлет-спектры и распределения средней энергии E колебаний по периодам в диапазоне периодов 300—1000 с, сопровождавшие старты ракет. Сплошной вертикальной линией показан момент старта ракеты: a — «Союз 31» 31 мая 2005 г. (12:00 UT), b — «Рокот» 28 июля 2006 г. (07:05 UT), $в$ — «Космос 3М» 26 сентября 2002 г. (15:30 UT), $г$ — «Рокот» 29 октября 2003 г. (13:43 UT), $д$ — «Молния» 19 июня 2003 г. (20:01 UT), $е$ — «Рокот» 27 августа 2005 г. (18:34 UT). Пунктирными линиями показаны моменты захода Солнца на уровне Земли в месте расположения обсерватории и на высоте 200 км

26 сентября 2002 г. практически совпал с моментом захода Солнца на уровне Земли вблизи г. Харькова (рис. 1, $в$). Этот факт очень затрудняет принятие решений о наличии эффектов, связанных со стартом. Изменение характера сигнала началось примерно в 15:40 и длилось 30 и 50 мин для H - и D -компонентов соответственно. Скорее всего, вариации от вечернего терминатора и СР наложились друг на друга. Следующий слабо выраженный квазипериодический процесс, возможно связанный со СР, происходил в интервале времени 17:00—17:40.

Следующий старт ракеты 29 октября 2003 г. имеет уникальное значение для изучения реакции геомагнитного поля на воздействие высокоэнергетических процессов, так как в этом случае имели место три явления: сильнейшая маг-

нитная буря, прохождение вечернего солнечного терминатора (в 14:20 на уровне Земли) и СР «Рокот» с космодрома Плесецк, который произошел в 13:43 (рис. 1, $г$). Весьма затруднительно делать выводы о причастности определенного источника к какому-нибудь конкретному возмущению. Скорее всего, реакции на все три высокоэнергетических процесса наложились. Отчетливо фиксируемое увеличение амплитуды до 60 нТл и периода (от 3—4 до 8 мин) сигнала H -компонента началось в 14:15 и имело продолжительность 20 мин. В D -компоненте наблюдалось аналогичное возмущение, но с меньшими амплитудами (до 20 нТл). Можно предположить, опираясь на наши результаты [11], что это возмущение является откликом на генерируемую ракетой ударную волну. Следующее воз-

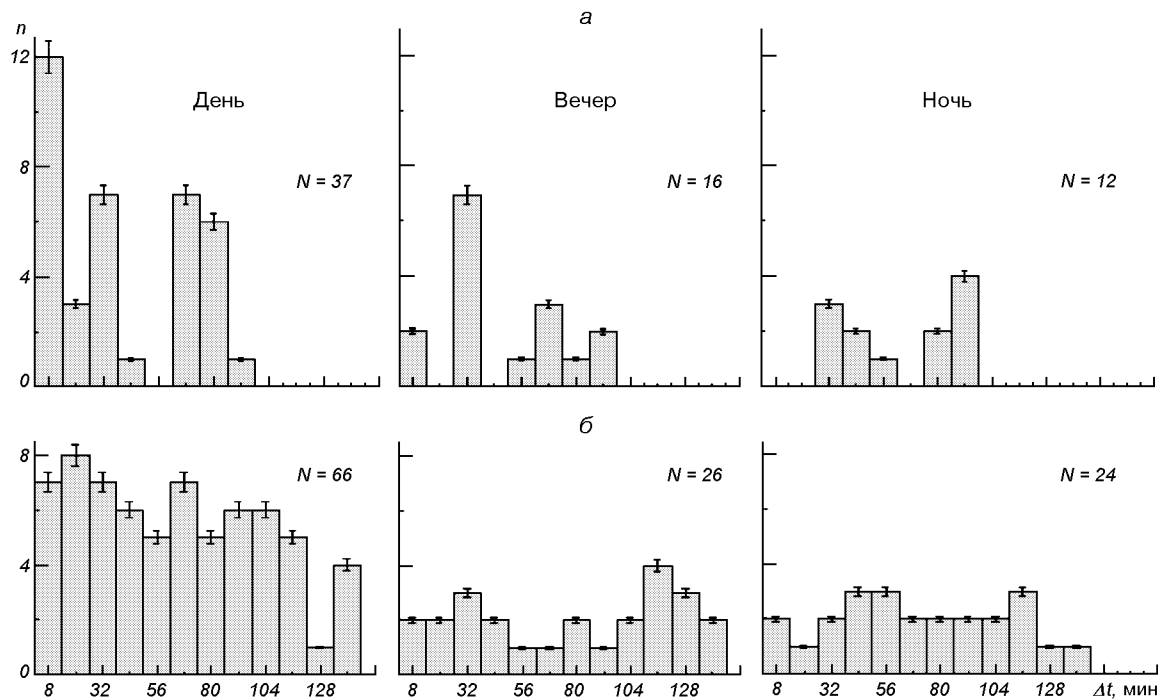


Рис. 2. Гистограммы времен запаздывания Δt для дневного, вечернего и ночного времени суток: *a* — для возмущений геомагнитного поля, сопутствовавших СР, *б* — для фоновых дней (за день до и на следующий день после СР)

мушение в D -компоненте с периодами 6–8 мин имело место в интервале времени с 14:50 до 15:30 с амплитудой 25 нТл. Скорее всего, оно было связано с заходом Солнца на высотах около 100 км, так как впоследствии (после 16:00) амплитуда пульсаций резко уменьшилась до 10 нТл, период преобладающих колебаний увеличился для обеих компонент сигнала.

Старты ракет в ночное время. СР «Молния» имел место 19 июня 2003 г. в 20:01 (рис. 1, д). Примерно за 40 мин до старта в H -компоненте наблюдается квазипериодический процесс, связанный с прохождением вечернего терминатора. Он сопровождался увеличением амплитуды приблизительно в два раза. Для D -компонента сильный квазипериодический процесс регистрировался также в интервале времени 18:10–18:50.

Существенные изменения характера сигнала (увеличение периода и амплитуд волновых процессов) начались в 20:55 и 22:10 и имели продолжительности около 50 мин для H -компонента. Для D -компонента возмущения выражены менее ярко.

Пример регистрации уровня составляющих геомагнитного поля и соответствующие им вейвлет-спектры для СР «Рокот» в 18:34 27 августа 2005 г. приведены на рис. 1, е. Эффекты, связанные с заходом Солнца, скорее всего, прекратились к моменту запуска. Характер сигнала изменялся в интервале времени с 19:05–19:10 до 19:55 для H - и D -компонентов соответственно. Заметим, что для D -компонента наблюдалось усиление уровня сигнала в 1.5–2 раза, а для $H(t)$ имело место уменьшение амплитуды, обусловленное подавлением квазипериодического процесса (генерацией волновых возмущений примерно в противофазе). В 20:25 появилось существенное изменение характера колебаний (аналогичное предыдущему) продолжительностью 30–40 мин для H - и D -компонентов магнитного поля Земли соответственно.

Вейвлет-спектры до СР и после него заметно различались.

Характерные параметры возмущений. Гистограммы времен запаздывания, продолжительностей и периодов преобладающих колебаний приведены на рис. 2–4 для 16 СР. Из них

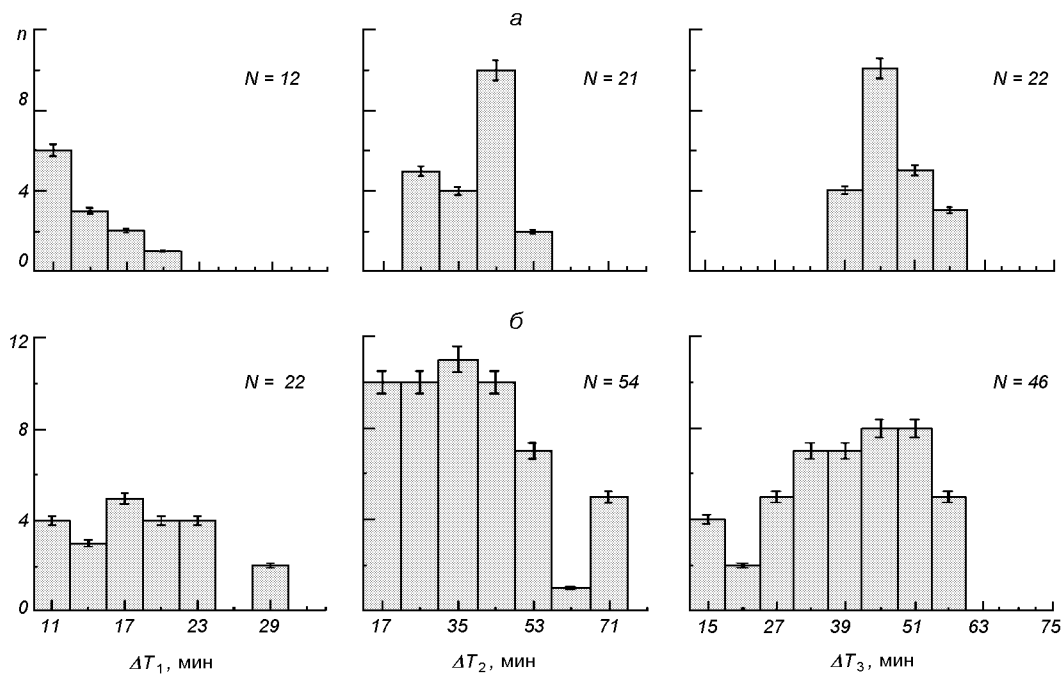


Рис. 3. Гистограммы продолжительностей ΔT_1 , ΔT_2 и ΔT_3 : а — для трех типов возмущений геомагнитного поля, сопутствовавших СР, б — для фоновых дней (за день до и на следующий день после СР)

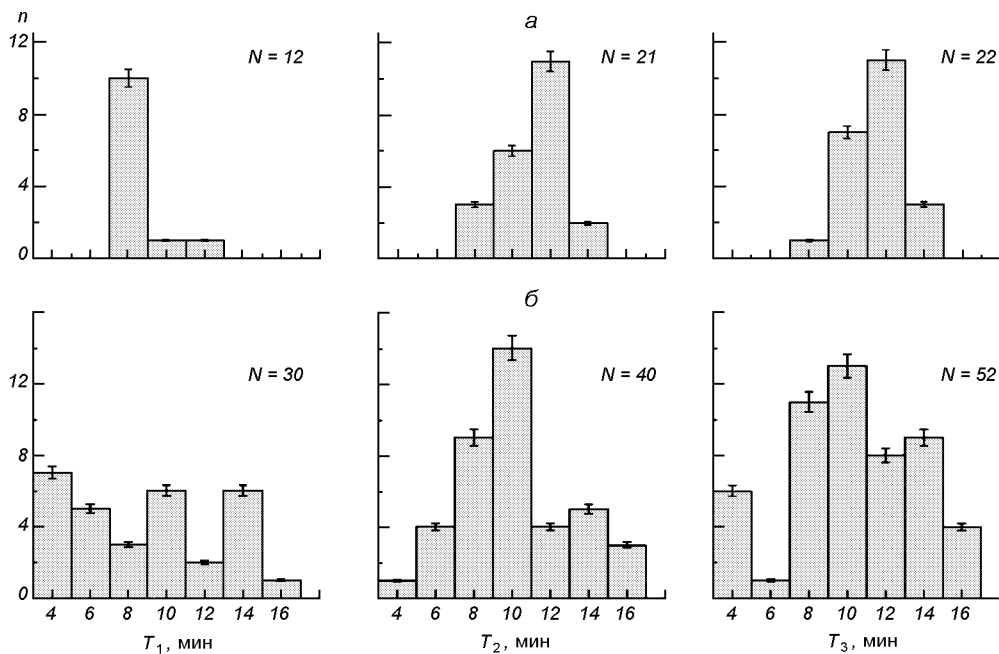


Рис. 4. То же для периодов T_1 , T_2 и T_3

дневных стартов было 7, вечерних — 6, ночных — 3. 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). Число выборок показано на соответствующих гистограммах. Максимальное число выборок при оценке времени запаздывания Δt возмущений $N = N_1 N_2 N_3$, где N_1 — число стартов в данный период суток, $N_2 = 3$ — число возможных возмущений, $N_3 = 2$ — число компонентов геомагнитного поля. При оценке продолжительностей ΔT возмущений и их периодов T число $N = N_3 N_4$, где N_4 — число всех стартов.

Из рис. 2, а — 4, а видно, что после старта в дневное, а возможно и вечернее время, имели место три группы возмущений с запаздываниями: $\Delta t_1 \approx 7.1 \pm 1.2$ мин, $\Delta t_2 \approx 30.5 \pm 1.1$ мин и $\Delta t_3 \approx 78.7 \pm 5.2$ мин. Продолжительности возмущений: $\Delta T_1 \approx 14.9 \pm 1.3$ мин, $\Delta T_2 \approx 42.3 \pm 1.92$ мин и $\Delta T_3 \approx 46.8 \pm 1.39$ мин. В ночное время возмущений, которым соответствовало запаздывание Δt_1 , не было. Периоды колебаний обычно составляли $T_1 \approx 7.2 \pm 0.6$ мин, $T_2 \approx 11.1 \pm 0.4$ мин и $T_3 \approx 11.9 \pm 0.5$ мин. Средние значения параметров возмущений и их средние квадратичные отклонения для 16 СР приведены в табл. 3.

Анализ данных для фоновых дней показал, что законы распределения времен запаздывания и продолжительностей возмущений от вообра-

жаемых СР оказались близкими к равномерным. Некоторое отклонение от равномерного закона связано с ограниченностью выборки, а также с влиянием возмущений другой природы (прохождений солнечного терминатора, изменений магнитной активности, вариаций космической и атмосферной погоды и т. п.).

ОБСУЖДЕНИЕ

Практически всем из рассмотренных стартов ракет сопутствовали заметные или значительные изменения характера сигнала. В большинстве случаев наблюдалось увеличение амплитуды пульсаций, но в ряде случаев (3 случая) имело место и подавление колебаний, что, по-видимому, свидетельствует о противофазном сложении волновых процессов. Практически всегда изменение характера сигнала сопровождалось изменением периодов квазипериодических процессов.

В дневное время чаще всего наблюдались три группы возмущений с $\Delta t_1 \approx 5$ —12 мин, $\Delta t_2 \approx 25$ —40 мин и $\Delta t_3 \approx 60$ —85 мин. В ночное время наблюдались только две группы реакций с запаздываниями 35—45 мин и 80—95 мин соответственно для второго и третьего возмущения.

Первой группы возмущений ночью не было, днем же она появлялась в 86 % случаев, имела шумоподобный (высокочастотный) характер и продолжительность порядка 10 мин, небольшие амплитуды (2—4 нТл) и периоды 7—9 мин.

Вторая и третья группы возмущений представляли собой цуги колебаний продолжительностью 40—50 мин. Периоды составляли 10—12 мин. Параметры возмущений второй и третьей групп близки, поэтому не исключено, что они представляют собой части одного и того же волнового процесса.

В работе [11] высказано предложение, что возмущения магнитного поля генерируются на высотах 100—120 км. С одной стороны, на этих высотах имеют место достаточно большие значения концентрации электронов и плотности ионосферных токов, а значит, могут генерироваться волны электромагнитной природы. С другой стороны, на этих высотах плотность нейтральных частиц еще достаточно велика, и поэтому могут генерироваться ударные волны в

Таблица 3. Значения основных параметров возмущений, сопутствовавших СР (Δt — времена запаздывания возмущений, ΔT и T — их продолжительности и периоды)

Параметр	Значение
Δt_1 , мин	7.1 ± 1.2
Δt_2 , мин	30.5 ± 1.1
Δt_3 , мин	78.7 ± 5.2
ΔT_1 , мин	14.9 ± 1.3
ΔT_2 , мин	42.3 ± 1.9
ΔT_3 , мин	46.8 ± 1.4
T_1 , мин	7.2 ± 0.6
T_2 , мин	11.1 ± 0.4
T_3 , мин	11.9 ± 0.5

газе, превращающиеся на больших расстояниях в акустико-гравитационные волны.

Время Δt_0 достижения ракетой высоты $z = 100\text{--}120$ км зависит от типа ракеты и составляет 2—3 мин. При этом время распространения возмущений, наблюдаемых вблизи г. Харькова равно $\Delta t' = \Delta t - \Delta t_0$. Тогда, исходя из средних значений Δt_1 , Δt_2 и Δt_3 (см. табл. 3), получим, что $\Delta t'_1 \approx 4.1\text{--}5.1$ мин, $\Delta t'_2 \approx 27.5\text{--}28.5$ мин и $\Delta t'_3 \approx 76\text{--}77$ мин. При $R \approx 1500$ км им соответствуют скорости $v'_1 \approx 4.9\text{--}6.1$ км/с, $v'_2 \approx 880\text{--}910$ м/с и $v'_3 \approx 325\text{--}330$ м/с. Эти скорости распространения возмущений близки скоростям, полученным нами в работе [11]: $v'_1 \approx 9$ км/с, $v'_2 \approx 800\text{--}1100$ м/с и $v'_3 \approx 300\text{--}400$ м/с. Параметры трех типов возмущений при СР с космодрома Плесецк хорошо согласуются с аналогичными параметрами для 43 СР с космодрома Байконур.

Наименьшая из скоростей $v'_1 \approx 325\text{--}330$ м/с — скорость распространения акустико-гравитационных волн в Е-области ионосферы. Скорости $v'_2 \approx 880\text{--}910$ м/с ассоциируются со скоростью ударных волн, которые по мере удаления от источника постепенно превращаются в АГВ. Наиболее быстрые волны ($v'_1 \approx 4.9\text{--}6.1$ км/с), по-видимому, относятся к волнам магнитогидродинамической природы.

В фоновые дни, как и следовало ожидать, гистограммы для времен запаздывания возмущений от воображаемых СР и их продолжительностей существенно отличаются от аналогичных гистограмм в дни реальных СР. В фоновые дни нет четко выраженных групп времен запаздывания возмущений и их продолжительностей. Что касается периодов квазипериодических возмущений, то их набор в фоновые дни больше, чем в дни СР.

Таким образом, нами подтверждено наличие эффекта СР в вариациях геомагнитного поля и определены основные параметры и скорости распространения возмущений, которые согласуются с результатами других работ [2, 4—7, 11, 18]. Важно, что параметры магнитных и ионосферных возмущений близки между собой. Это повышает достоверность полученных результатов, а также свидетельствует об общем механизме генерации возмущений в ионосфере (атмосфере) и геомагнитном поле.

ВЫВОДЫ

1. Изучена реакция геомагнитного поля на 16 стартов ракет с космодрома Плесецк. Установлено, что во всех случаях СР наблюдались заметные или значительные изменения характера колебаний.

2. Выявлены три группы возмущений, имеющих запаздывания 5—8, 25—40 и 60—85 мин. Им соответствовали продолжительности процессов 12—20, 40—50 и 42—55 мин и преобладающие периоды 6—8, 10—12 и 9—12 мин.

3. Отмечено, что быстрые возмущения (скорости около 5—6 км/с) выражены менее ярко и наблюдались в дневное время в 6 случаях из 7 (примерно в 86 %). Возмущения со скоростями 880—910 и 325—330 м/с отмечались практически всегда и в любое время суток. Не исключено, что они являются частями одного процесса.

4. Установлено, что результаты исследования реакции геомагнитного поля на СР с космодрома Байконур и Плесецк хорошо согласуются между собой, а параметры возмущений оказались в целом подобными.

Авторы благодарны К. П. Гармашу и С. Г. Лесусу 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. Госсард Э. Э., Хук У. Х. Волны в атмосфере. — М.: Мир, 1978.—532 с.
13. Деминов М. Г., Ораевский В. Н., Ружин Ю. Я. Ионосферно-магнитосферные эффекты запусков ракет в сторону высоких широт // Геомагнетизм и аэронавигация.—2001.—41, № 6.—С. 772—781.
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 аэронавигация.—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 аэронавигация.—1998.—38, № 2.—С. 100—106.
17. Нагорский П. М., Таращук 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 аэронавигация.—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. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду. Справочное пособие / Под ред. В. В. Адушкина, С. И. Козлова и А. В. Петрова. — М.: Анкил, 2000.—640 с.
24. Arendt P. R. Ionospheric undulations following Apollo 14 Launching // Nature.—1971.—231.—P. 438—439.
25. 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.
26. 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.
27. Garmash K. P., Gokov A. M., Kostrov L. S., et al. Radiophysical investigations and modeling of ionospheric processes generated by sources of various nature. 2. Processes in a modified ionosphere signal parameters variations. disturbance simulation // Telecommunications and Radio Engineering.—1999.—53, N 6. P. 1—22.
28. Noble S. T. A Large-amplitude traveling ionospheric disturbance excited by the space shuttle during launch // J. Geophys. Res.—1990.—95, N A11.—P. 19.037—19.044.

WAVE DISTURBANCES OF GEOMAGNETIC FIELD ASSOCIATED WITH ROCKET LAUNCHES FROM THE PLESETSK COSMODROME

L. F. Chernogor, M. A. Shamota

We analyse the results of observations of geomagnetic field variations in 1—1000 s period range that accompanied 16 rocket launches from the Plesetsk cosmodrome in 2002—2007. The measurements were made near Kharkiv city at a distance 1500 km from the cosmodrome. Our analysis revealed three groups of disturbances with time delays of 5—12, 25—40 and 60—85 min and durations of 12—20, 40—50 and 42—55 min, respectively. The 6—8, 10—12 and 10—12 min geomagnetic micropulsation periods become dominant, and their amplitudes attained a value of 3—5 nT.