

УДК 550.16 + 523.31 + 523.9 : 520.86, 550.388

Т. Г. Живолуп¹, Л. Ф. Черногор²

¹ Інститут іоносфери Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України, Харків

² Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ РАКЕТЫ «СОЮЗ» В СПОКОЙНЫХ И МАГНИТОВОЗМУЩЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Представлено результати спостережень за великомасштабними (~2000 км) збуреннями в іоносфері, що виникали під час старту та польоту ракет «Союз». Важливо, що одна із них стартувала у магнітоспокійний день, а інша — у магнітозбурений. Підтверджено, що навіть помірні магнітні бурі можуть сильно маскувати іоносферні ефекти стартів ракет. Знайдено часи запізнення та швидкості хвиль, що відповідають за перенесення збурень. Отримані результати узгоджуються з результатами наших попередніх досліджень.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосферные эффекты, возникающие при стартах ракет (СР), изучаются в течение примерно 40 лет [12, 13]. Первые наблюдения эффектов вблизи траектории ракеты выполнены еще в 1960-е гг. В работах [15, 17, 18, 25] показано, что при пролете ракеты образуются локальные ионосферные возмущения, в первую очередь уменьшение концентрации N электронов. В работах [19, 21] было получено, что возмущения могут быть достаточно крупномасштабными.

Результаты исследования эффектов уменьшения N в следе ракет обобщены в работе [20].

В работах [8, 14] показано, что во время стартов наряду с уменьшением N генерируются волновые процессы. Волны распространялись на расстояния в несколько тысяч километров. Обзор результатов изучения возмущений в ионосфере, примыкающих к траектории ракеты, выполнен в книгах [1, 13]. Подобные возмущения продолжали изучаться и в последнее время [1, 16]. Особый интерес представляют возмущения, способные распространяться на глобальные расстояния. Изложение результатов систематических исследований таких возмущений проведено в монографии [12]. Оказалось, что эффекты СР существенно зависят от состояния космической

погоды, от степени естественной возмущенности ионосферы.

Примеры поиска эффектов СР на фоне геокосмических бурь описаны в работах [3–6]. В них продемонстрировано, что взаимодействие подсистем в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера существенно осложняет выделение эффектов, связанных с СР.

В данной работе будет проведен сравнительный анализ ионосферных эффектов при стартах двух одинаковых ракет, причем один из стартов имел место в спокойных условиях, а второй — в магнитовозмущенных. Чтобы убедиться в том, что эффект СР не полностью маскируется на фоне естественного возмущения, для анализа выбрано событие с умеренной магнитной бурей.

Старты ракеты «Союз» с космодрома Байконур прошли 28 апреля 2001 г. в 7:37 и 25 мая 2004 г. в 12:34 (здесь и далее время UT).

СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Рассмотрим состояние космической погоды в период с 22 по 28 мая 2004 г. (рис. 1).

На рис. 1 (сверху вниз) приведены временные вариации параметров солнечного ветра: концентрации частиц n_{sw} , температуры T , радиальной скорости V_{sw} (ACE Satellite — Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor) и динамического давления p_{sw} (расчет); потоков протонов Π_{pr} (GOES-8 (W75) и электронов Π_e (GOES-12); компонен-

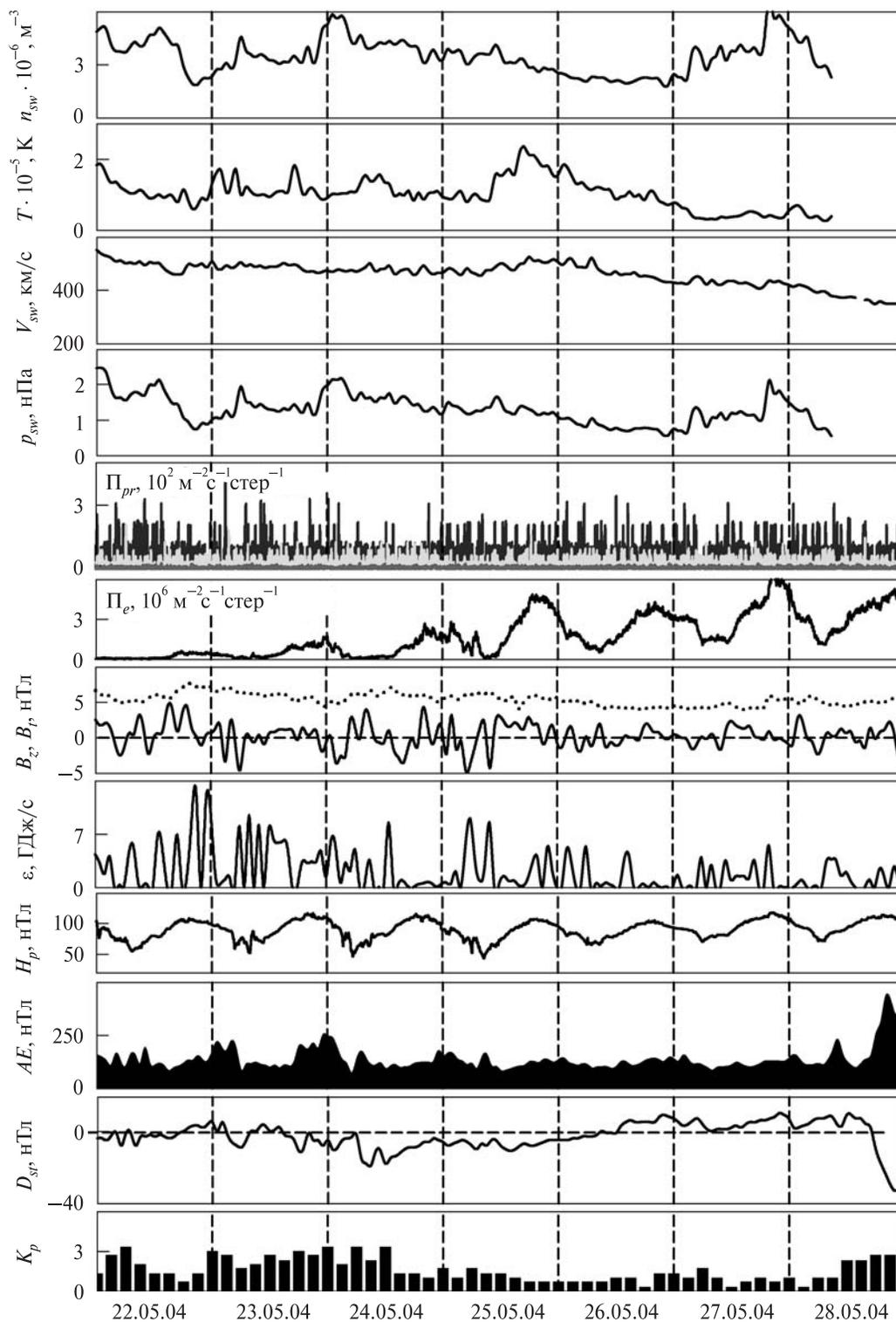


Рис. 1. Вариации параметров, описывающих состояние космической погоды с 22 по 28 мая 2004 г. (см. текст)

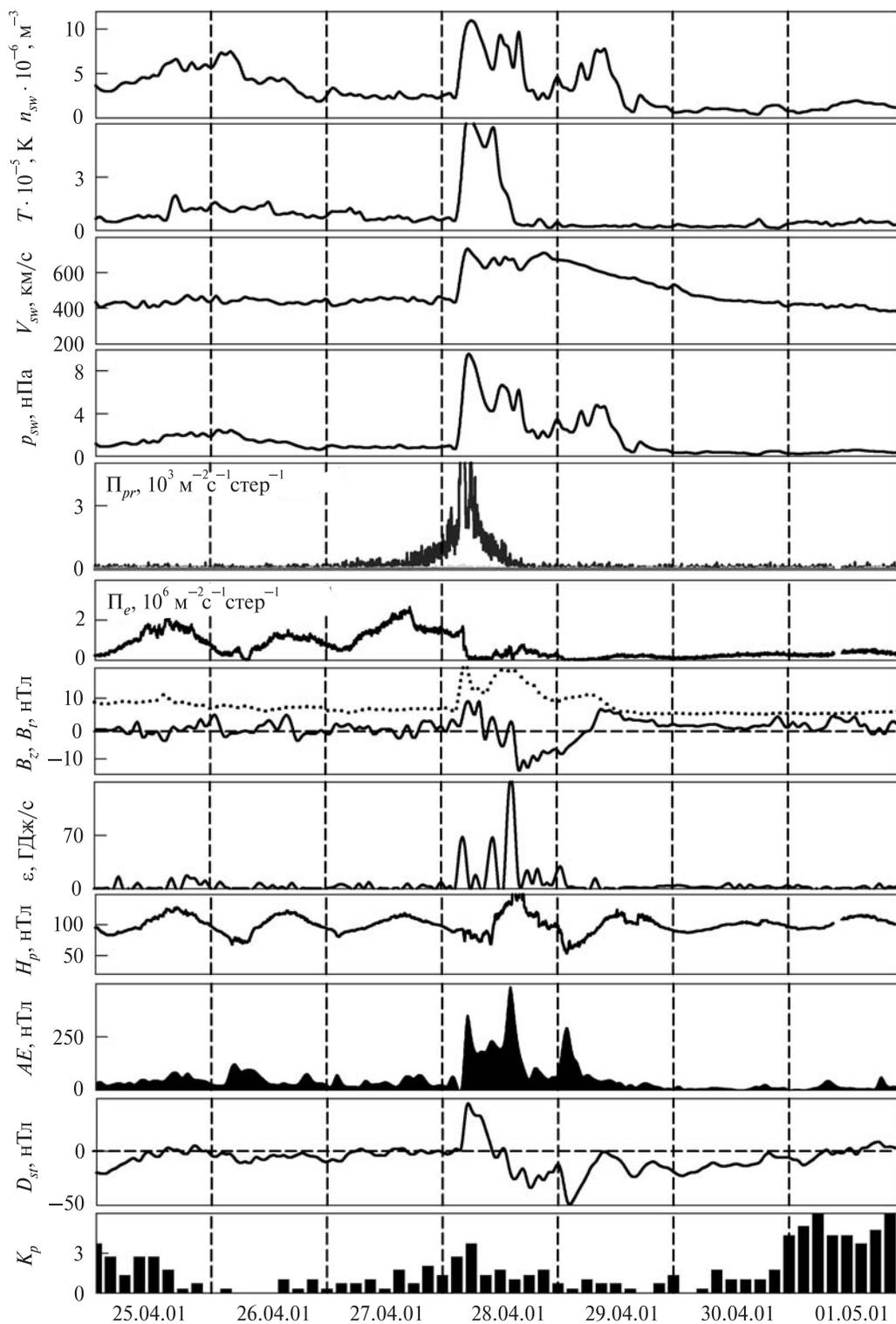


Рис. 2. Вариации параметров, описывающих состояние космической погоды с 25 апреля по 1 мая 2001 г. (см. текст)

та B_z , модуля вектора B_I (точки) межпланетного магнитного поля (ACE Satellite — Magnetometer); функции Акасофу ε (расчет); H_p -компонента геомагнитного поля (GOES-12); AE -индекса авроральной активности (WDC Kyoto); D_{st} -индекса (WDC-C2 for Geomagnetism Kyoto University); K_p -индекса (Air Force Weather Agency).

Старту 25 мая 2004 г. предшествовало малосущественное магнитное возмущение (индекс K_p изменялся от 1 до 3). Незначительными были вариации концентрации (от $2 \cdot 10^6$ до $6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$), температуры (от 10^5 до $2.4 \cdot 10^5 \text{ К}$), скорости (от 350 до 550 км/с), давления (от 1 до 2.5 нПа) солнечного ветра. Значения функции Акасофу изменялись от 1 до 14 ГДж/с.

Несущественными были вариации плотности потока протонов. Плотность потока электронов, напротив, постепенно нарастала по квазипериодическому закону с периодом около 1 сут. Составляющая B_z хаотически изменялась в пределах ± 5 нТл. Достаточно упорядоченными с периодом 1 сут были вариации H_p -компонента геомагнитного поля. Значения индекса D_{st} также хаотически флуктуировали в пределах ± 10 нТл. Вариации индекса AE были незначительными. Значения индекса K_p не превышали 3.

День старта 25 мая 2004 г. был спокойным. Это обстоятельство существенно облегчало выделение возмущений, связанных со СР.

В период, предшествующий старту 28 апреля 2001 г., состояние космической плазмы характеризовалось как невозмущенное (рис. 2). В день старта, 28 апреля 2001 г., примерно в 3:00 резко увеличились значения концентрации (в 4 раза), температуры (в 5–7 раз), скорости (в 1.5–1.8 раза), давления (в 10 раз) солнечного ветра. Скорость поступления энергии солнечного ветра увеличивалась до 70–140 ГДж/с. Внезапно началась весьма умеренная или умеренная (по классификации [9, 11]) магнитная буря. При этом

индекс D_{st} сначала увеличился до 45 нТл, а затем уменьшился до -50 нТл — наступила главная фаза магнитной бури. Эта фаза продолжалась до начала следующих суток. Фаза восстановления заняла еще около двух суток. Главной фазе сопутствовало изменение знака составляющей B_z межпланетного магнитного поля, которое также продолжалось около суток. На регулярные вариации $H_p(t)$ при этом наложился флуктуации.

Внезапное начало бури сопровождалось всплеском плотности протонов (примерно в 10 раз), которое продолжалось 15–20 ч. Плотность потока электронов, напротив, уменьшилась в несколько раз. Индекс авроральной активности в ходе магнитной бури увеличивался в 5–10 раз. В то же время индекс K_p 28 апреля 2001 г. не превышал 4. Сильное увеличение индекса K_p без видимых причин наступило только 1 мая 2001 г. и продолжалось более суток.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ

В качестве источника возмущений в ионосфере рассматривался старт и полет ракеты «Союз». Российская ракета «Союз» относится к тяжелым ракетам. Она имеет полную массу 305 т, высоту 46.1 м, начальную тягу 4.14 МН, ее низкоорбитальная полезная нагрузка составляет 6855 кг для высоты 200 км. Параметры нулевой ступени следующие: масса 4×44.4 т, тяга 4×1.02 МН, диаметр 2.7 м, высота 19.6 м, время работы 120 с. Параметры первой ступени: масса 105.4 т, тяга 1 МН, диаметр 3 м, высота 27.8 м, время работы 286 с. Вторая ступень имеет следующие параметры: масса 25.2 т, тяга 0.3 МН, диаметр 2.7 м, высота 6.7 м, время работы 300 с. Общая продолжительность работы двигателей ракеты — около 12 мин.

Основные ориентировочные параметры ступеней ракеты «Союз» и ее траектории приведены в таблице.

Ориентировочные параметры ступеней ракеты «Союз» и ее траектории

Время полета, с	Масса топлива, т	Расход топлива, т/с	Энерговыделение, ТДж	Средняя мощность, ГВт	Высота, км	Дальность, км	Скорость, км/с
120	170	1.42	1.7	14.2	48	44	1.8
406	100	0.35	1	3.5	171	450	3.9
706	25	0.08	0.25	0.83	200	1680	7.7

Энерговыведение и мощность ступеней оценивались по формулам

$$E = qt, P = q\dot{m},$$

где m — масса топлива, $q \approx 10^7$ Дж/кг — удельная теплотворная способность топлива, \dot{m} — расход топлива. Видно, что ракета достигает высот эффективной генерации возмущений ($z \approx 120$ км [1]) при времени ее полета $\Delta t_0 \approx 3$ мин. За это время ракета удаляется от космодрома на расстояние около 100—150 км.

Наблюдение за состоянием ионосферы осуществлялось при помощи модифицированного ионозонда «Базис».

Ионозонд расположен в ионосферной обсерватории Института ионосферы (49°36′ с. ш., 36°18′ в. д.) вблизи г. Харькова. При вертикальном зондировании диапазон частот составляет 0.3—20 МГц, его выходная мощность 10 кВт, длительность излучаемых импульсов — 100 мкс, частота следования импульсов 3.125—25 Гц. Ионограммы снимались один раз в 15 мин.

Погрешность отсчета критических частот F -области ионосферы ($f_{o,x}F2$) — 0.05 МГц.

Временные зависимости $f_oF2(t)$ подвергались спектральному анализу при помощи оконного преобразования Фурье (ОПФ), адаптивного преобразования Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразования (ВП). В отличие от ОПФ предложенное одним из авторов АПФ обладает самоподобным базисом. Это при определенных условиях обеспечивает лучшую локализацию исследуемого волнового процесса [10]. Здесь, как и в работах [2, 10], при ВП использован вейвлет Морле.

Сначала из зависимости $f_oF2(t)$ удалялся тренд $\langle f_oF2(t) \rangle$, вычисленный на интервале времени $T_i = 195$ мин с шагом скольжения $\Delta T_i = 15$ мин. Затем вычислялся временной ряд $\Delta f_oF2(t) = f_oF2(t) - \langle f_oF2(t) \rangle$, который и подвергался спектральному анализу в диапазоне периодов от 30 до 180 мин. Кроме спектров, вычислялись энергограммы, представляющие собой среднее распределение энергии колебаний по периодам.

Необходимость применения системного спектрального анализа, использующего ОПФ, АПФ и ВП, обоснована в работах [2, 10]. Дело в том, что эти преобразования хорошо дополняют друг друга, компенсируя недостатки одного преоб-

разования достоинствами другого. Кроме того, при конечном времени обработки совместное применение этих преобразований позволяет получить с большей точностью данные о время-периодной локализации искомого волнового процесса на фоне шумов.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Анализ ионограмм. Опишем ионограмму, полученную 25 мая 2004 г. в 12:00, т. е. накануне СР. Четко наблюдались два следа, соответствующие обыкновенному (О) и необыкновенному (Х) компонентам зондирующей волны. Спорадический слой E_s на ионограмме не фиксировался. Затухание зондирующей радиоволны в ионосфере было сравнительно большим, из-за чего двукратно отраженный сигнал (сигнал, отразившийся сначала от ионосферы, затем от поверхности Земли и снова от ионосферы) наблюдался неуверенно.

Примерно через 11 мин после СР исчез след, соответствующий Х-компоненту радиоволны. Стал наблюдаться спорадический слой, а также два «многократных» сигнала, причем верхний — более отчетливо. На ионограмме, полученной в 13:00, т. е. через 26 мин после СР, регистрировались уже три «многократных» сигнала О- и Х-компонентов радиоволны, а также мощный E_s (с граничной частотой около 9 МГц) и его «многократный» сигнал. С 14:15 до 16:00 наблюдались четыре «многократных» сигнала О- и Х-компонентов радиоволны и «многократный» сигнал E_s .

Перейдем к описанию ионограммы, полученной 28 апреля 2001 г. в 07:00, т. е. до СР. Кроме двух следов, соответствующих О- и Х-компонентам зондирующей волны, видно отражение от спорадического слоя E_s с граничной частотой около 4 МГц. На ионограмме также четко наблюдается «двукратный» сигнал. На ионограмме, полученной в 07:45, т. е. через 8 мин после СР, «многократный» сигнал почти исчез, а граничная частота спорадического слоя увеличилась до 7 МГц. С 08:15 до 11:30 слой E_s на ионограммах не наблюдался. С 11:45 спорадический слой на ионограммах снова появился, и граничная частота его начала увеличиваться, достигнув максимума

7.8 МГц в 12:30. После этого граничная частота спорадического слоя стала уменьшаться.

Анализ f_oF_2 -графиков. Зависимость критической частоты О-волны f_oF_2 от времени для 25 мая 2004 г. приведена на рис. 3. Из рис. 3 видно, что перед СР вариации f_oF_2 были незначительными. Уже после 12:15 значения f_oF_2 уменьшились на 0.6—0.8 МГц. Уменьшение продолжалось не менее 1 ч. После 13:15 началось увеличение f_oF_2 . Максимальное значение этого параметра наблюдалось в 13:45, после чего имело место непродолжительное уменьшение f_oF_2 , а затем — увеличение f_oF_2 от 6.5 до 7.3 МГц.

В возмущенный день 28 апреля 2001 г. временные вариации f_oF_2 были иными (рис. 4). Перед СР наблюдались вариации, не превышающие 0.8 МГц. После 07:30 началось стремительное увеличение f_oF_2 от 10.6 до 13.3 МГц. В 08:30 зафиксировано максимальное значение этого параметра, равное 13.3 МГц. Далее примерно в течение 1.5 ч имело место уменьшение f_oF_2 до 11.8 МГц. Затем наблюдалось непродолжительное увеличение f_oF_2 , которое в 11:00 сменилось ее уменьшением от 12.3 до 10.7 МГц.

На описанные сравнительно медленные изменения f_oF_2 25 мая 2004 г. и 28 апреля 2001 г. накладывались квазипериодические вариации Δf_oF_2 . Их параметры оценены ниже.

Вариации Δf_oF_2 и концентрации электронов ΔN , как известно, связаны соотношением

$$\delta_N = \frac{\Delta N}{N} \approx \frac{2\Delta f_oF_2}{f_oF_2}.$$

Результаты спектрального анализа. В магнитоспокойный день 25 мая 2004 г. перед СР имело место квазипериодическое колебание с квазипериодом $T \approx 30$ мин $\Delta f_oF_2 \approx 0.05 \dots 0.10$ МГц (рис. 5). Примерно через 26 мин после СР оно подавляется. В интервале времени 13:30—13:45 возникает новый квазипериодический процесс с $T \approx 100 \dots 120$ мин и $\Delta f_oF_2 \approx 0.10 \dots 0.15$ МГц. Его продолжительность — не менее 2—2.5 ч. При этом $\delta_N \approx 3\text{—}5\%$.

Результаты спектрального анализа для магнитовозмущенного дня 28 апреля 2001 г. приведен на рис. 6. Оказалось, что до СР в спектре Δf_oF_2 преобладали колебания с $T \approx 40 \dots 70$ мин, их амплитуда не превышала 0.2 МГц. После 08:40 ос-

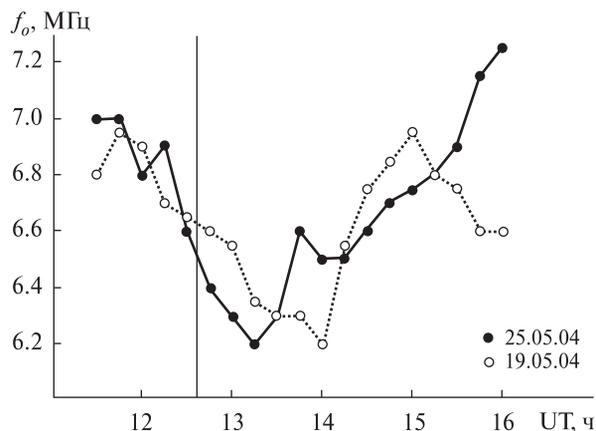


Рис. 3. Зависимость f_oF_2 от времени в фоновый период 19 мая 2004 г. (кружки) и в период СР 25 мая 2004 г. (точки). Вертикальной стрелкой здесь и далее показан момент СР

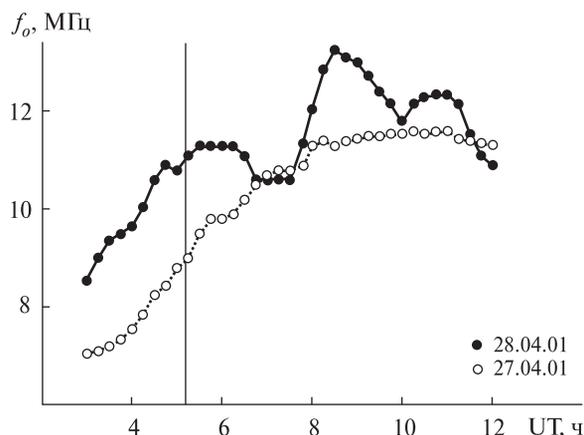


Рис. 4. Зависимость f_oF_2 от времени в фоновый период 27 апреля 2001 г. (кружки) и в период СР 28 апреля 2001 г. (точки)

новым стало колебание с $T \approx 150 \dots 180$ мин. Его амплитуда достигла 0.4 МГц. Указанным значениям Δf_oF_2 соответствовали δ_N , равные 3.5 и 7%. Добавим, что периоды основных колебаний лучше всего оценивать по максимумам в энергограммах.

ОБСУЖДЕНИЕ

Со стартом 25 мая 2004 г., по-видимому, связано уменьшение f_oF_2 , которое наступило примерно через 26 мин после старта и наложилось на естественный ход f_oF_2 . Скорее всего, пришла

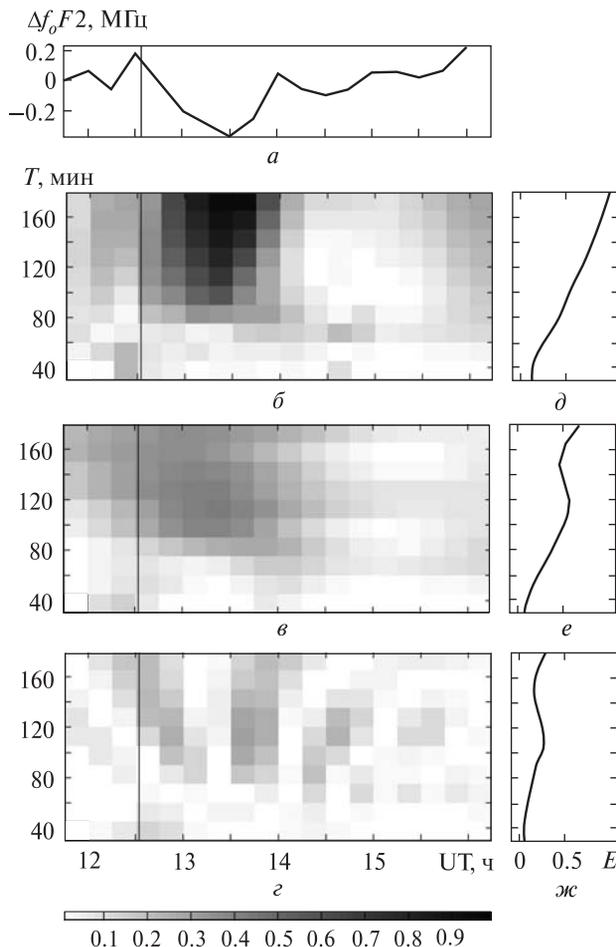


Рис. 5. Результаты спектрального анализа вариаций $\Delta f_0 F2(t)$ 25 мая 2004 г.: *a* — исходная зависимость; *б, в, г* — спектрограммы (в относительных единицах) соответственно ОПФ, АПФ и ВП; *д, е, ж* — энергограммы (в относительных единицах) соответственно для ОПФ, АПФ, и ВП в диапазоне периодов 30—180 мин. Интервал вычисления тренда составлял 195 мин

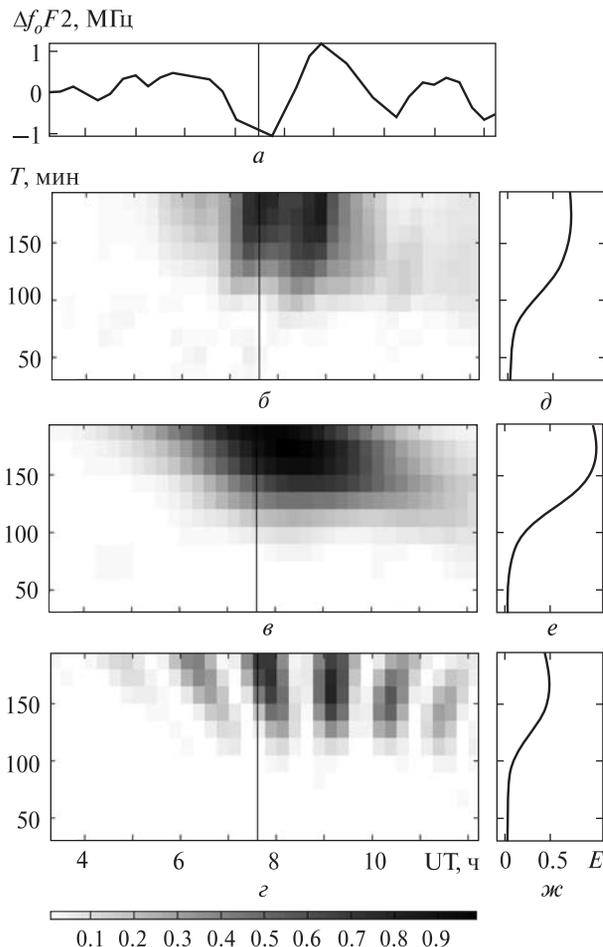


Рис. 6. Результаты спектрального анализа вариаций $\Delta f_0 F2(t)$ 28 апреля 2001 г.: *a* — исходная зависимость; *б, в, г* — спектрограммы (в относительных единицах) соответственно ОПФ, АПФ и ВП; *д, е, ж* — энергограммы (в относительных единицах) соответственно для ОПФ, АПФ, и ВП в диапазоне периодов 30—180 мин. Интервал вычисления тренда составлял 195 мин

отрицательная полуволна возмущения, вызванного СР.

Учтем, что при дискретности временных отсчетов $\tau = 15$ мин и равномерном законе $p(t)$ распределения момента появления реакции на СР, средняя квадратичная ошибка определения задержки Δt реакции ионосферы составляет

$$\sigma_t = \frac{\tau}{\sqrt{12}} \approx 4.3 \text{ мин.} \quad (1)$$

Тогда $\Delta t_1 \approx 26 \pm 4$ мин. Соотношение (1) легко получить из следующих элементарных вычисле-

ний. При

$$p(t) = \begin{cases} \frac{1}{\tau}, & |t| \leq \frac{\tau}{2} \\ 0, & |t| > \frac{\tau}{2} \end{cases},$$

имеем

$$\bar{t} = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} tp(t)dt = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} t dt = 0,$$

$$\bar{t^2} = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} t^2 p(t)dt = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} t^2 dt = \frac{\tau^2}{12},$$

$$\sigma_i^2 = \overline{t^2} - \bar{t}^2 = \frac{\tau^2}{12}. \quad (2)$$

Из соотношения (2) следует выражение (1).

Следующее изменение во временной зависимости $f_oF2(t)$ имело место в 13:30. При этом $\Delta t_2 = 71 \pm 4$ мин. Время Δt_0 движения ракеты «Союз» до области эффективной генерации ионосферных возмущений (высоты 120—130 км) составляет около 3 мин. Ракета при этом находится на расстоянии около 2300 км от места наблюдения. Тогда скорректированные задержки составляли 23 ± 4 и 68 ± 4 мин. Им соответствовали скорректированные скорости $v_1' = 1.7 \pm 0.3$ км/с и $v_2' = 560 \pm 30$ м/с.

Обсудим временные вариации f_oF2 в магнитовозмущенный день 28 апреля 2001 г. Маловероятно, что резкое и значительное увеличение f_oF2 в интервале времени с 07:30 до 08:30 вызвано только СР. При этом N увеличилась в 1.57 раза, $\delta_N \approx 0.57$. Скорее всего, сначала «провал», а затем «всплеск» f_oF2 в интервале времени 06:15—07:45 и 07:45—10:00 вызваны ионосферной бурей, которая сопровождала описанную выше магнитную бурю. Хорошо известно, что в процессе геокоsmических бурь в высокоширотной области (широты 70...75°) генерируются перемещающиеся в сторону экватора атмосферные возмущения [22—24], которые вызывают перемещающиеся ионосферные возмущения. Их скорость распространения составляет от нескольких сотен метров до километра в секунду [1].

Рассмотрим подробнее первое (отрицательное) возмущение. Скорее всего, оно связано с резким увеличением индекса AE , которое имело место около 04:30—06:00. Примерно в то же время индекс D_{st} увеличился от 0 до максимального значения 45 нТл. Запаздывание первого возмущения составило 60—90 мин.

Интересно, что у второго (положительного) ионосферного возмущения передний фронт в 2.5 раза круче, чем задний. Такой эффект в нелинейной теории волн называется эффектом укрупнения [7]. Для его возникновения требуется выполнение двух условий: 1) чтобы волна была сильной ($\delta_N \geq 0.2 \dots 0.3$); 2) чтобы волна прошла значительное расстояние. Первое условие выполняется, так как выше получена оценка $\delta_N \approx$

≈ 0.57 . Проверим выполнение второго условия. Волна прошла расстояние от 70...75° до 50° с. ш., т. е. примерно 2200—2800 км. При запаздывании 1.5—3 ч ее скорость движения была близка к 220—440 м/с и при квазипериоде около 2 ч длина волны λ составляет 1600—3200 км. Видно, что λ одного порядка с R , т. е. нелинейные эффекты сполна могли проявиться.

Увеличение f_oF2 в интервале времени 10:00—11:00, по-видимому, связано также с приходом возмущения из высоких широт. Также возмущения генерируются в период магнитных бурь, когда производная dD_{st}/dt достигает максимального значения [1]. Последнее имело место в 08:30—09:20. Примерно в этом же интервале времени имел место второй всплеск индекса AE . Тогда запаздывание возмущений составило 60—90 мин. При $R = 2200 \dots 2800$ км имеем среднюю горизонтальную скорость распространения 410—780 м/с.

В чем же заключалась реакция ионосферы на СР? Скорее всего, она наложилась на возмущения, вызванные геокоsmической бурей. Не исключено также, что имело место синергетическое взаимодействие возмущений от бури и ракеты и их усиление. В частности, значения δ_N достигли 7 %, а в магнитоспокойный день они не превышали 5 %.

Похоже, что времена запаздывания реакции на СР, определенные по изменению характера Δf_oF2 , составили 23 ± 4 и 68 ± 4 мин. При этом $\Delta t_1' = 20 \pm 4$ мин, $\Delta t_2' = 65 \pm 4$ мин. Тогда $v_1' = 2.0 \pm 0.4$ км/с, $v_2' = 590 \pm 40$ м/с.

Таким образом, оцененные скорости распространения хорошо согласуются между собой, а также с результатами измерений, выполненных для этих же СР методом некогерентного рассеяния [3, 4]. Этим методом для F-области ионосферы получены следующие значения скоростей: 1.5 км/с и 550 м/с для 25 мая 2004 г. и 2 км/с и 610 м/с для 28 апреля 2001 г. Такие скорости имеют медленные МГД-волны и внутренние гравитационные волны [12].

ВЫВОДЫ

1. Подтверждено, что реакция ионосферы на старты ракет существенно зависит от состояния

космической погоды. Не исключено, что эффекты ионосферных бурь могут синергетически взаимодействовать с эффектами стартов и полетов ракет, усиливая друг друга.

2. Как и следовало ожидать, эффекты ионосферных бурь существенно осложняют выделение эффектов стартов и полетов ракет.

3. Выявлены две группы возмущений, имевшие скорости распространения около 2 км/с и 600 м/с. Такие скорости, неоднократно наблюдаемые ранее, свойственны медленным МГД-волнам и внутренним гравитационным волнам соответственно.

4. Относительная амплитуда возмущений концентрации электронов достигала 5–7 %, а величина квазипериода — около 2–3 ч.

5. Обнаружены сильные ионосферные возмущения, имевшие место в течение геокосмической бури 28 апреля 2001 г. (с 07:30 до 11:30). Величина δ_N достигала 0.57. Скорее всего, возмущения связаны с генерацией в высоких широтах и распространением к средним широтам перемещающихся ионосферных возмущений, на которые наложилось возмущение от ракеты.

Большая крутизна переднего фронта первого возмущения по сравнению с задним фронтом свидетельствует о нелинейном характере наблюдаемого ионосферного возмущения.

Авторы благодарны В. П. Бурмаке за помощь в обработке результатов наблюдений.

1. *Афраймович Э. Я., Перевалова Н. П.* GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. — Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. — 480 с.
2. *Бурмака В. П., Панасенко С. В., Черногор Л. Ф.* Современные методы спектрального анализа квазипериодических процессов в геокосмосе // *Успехи современной радиоэлектроники.* — 2007. — № 11. — С. 3–24.
3. *Бурмака В. П., Черногор Л. Ф.* Комплексная диагностика ионосферной плазмы, возмущенной удаленными стартами ракет // *Радиофизика и радиоастрономия.* — 2009. — **14**, № 1. — С. 26–44.
4. *Бурмака В. П., Черногор Л. Ф.* Комплексная диагностика параметров ионосферной плазмы вдали от траектории стартующих ракет // *Геомагнетизм и аэронавигация.* — 2009. — **49**, № 5. — С. 667–682.
5. *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.
6. *Живолуп Т. Г., Черногор Л. Ф.* Ионосферные эффекты в течение полета ракеты «Протон»: результаты вертикального зондирования // *Космічна наука і технологія.* — 2010. — **16**, № 3. — С. 15–21.
7. *Заславский Г. М., Сагдеев Р. З.* Введение в нелинейную физику. — М.: Наука, 1988. — 368 с.
8. *Карлов В. Д., Козлов С. И., Ткачев Г. Н.* Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем // *Космические исследования.* — 1980. — **18**, № 2. — С. 266–277.
9. *Черногор Л. Ф.* Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // *Радиофизика и радиоастрономия.* — 2003. — **8**, № 1. — С. 59–106.
10. *Черногор Л. Ф.* Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов // *Геомагнетизм и аэронавигация.* — 2008. — **48**, № 5. — С. 681–702.
11. *Черногор Л. Ф.* О нелинейности в природе и науке: Монография. — Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2008. — 528 с.
12. *Черногор Л. Ф.* Радиофизические и геомагнитные эффекты стартов ракет: Монография. — Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. — 386 с.
13. *Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду /* Под ред. В. В. Адушкина, С. И. Козлова, Д. В. Петрова. — М.: Анкил, 2000. — 640 с.
14. *Abdu M. A., Muralikrishna P., Batista I. S., Chaves A. H. P.* On the rocket-induced wave disturbances in the daytime equatorial ionosphere // *J. Geophys. Res.* — 1988. — **93**, N 4. — P. 2758–2760.
15. *Booker H. G.* A local reduction of F-region due to missile transit // *J. Geophys. Res.* — 1961. — **66**, N 4. — P. 1073–1081.
16. *Drobzhev V. I., Gordienko G. I., Mukasheva S. N.* Ionosphere disturbances during rocket launches at Baikonur (Kazakhstan) // *Mathematics and Computers in Simulation.* — 2004. — **67**, N 4–5. — P. 433–439.
17. *Felker J. K., Roberts W. T.* Ionospheric rarefaction following rocket transit // *J. Geophys. Res.* — 1966. — **71**, N 19. — P. 4692–4694.
18. *Jackson J. E., Whale H. A., Bauer S. J.* Local ionospheric disturbance created by a burning rocket // *J. Geophys. Res.* — 1962. — **67**, N 5. — P. 2059–2061.
19. *Mendillo M., Hawkins G. S., Klobuchar J. A.* A sudden vanishing of the ionospheric F-region due to launch of skylab // *J. Geophys. Res.* — 1975. — **80**, N 16. — P. 2217–2228.
20. *Mendillo M.* Ionospheric holes: a review of theory and recent experiments // *Adv. Space Res.* — 1988. — **8**, N 1. — P. 51–62.

21. *Mendillo M.* The effect of rocket launches on the ionosphere // *Adv. Space Res.* — 1981. — **1**, N 2. — P. 275—290.
22. *Prolss G. W.* On explaining the local time variation of ionospheric storm effects // *Ann. Geophys.* — 1993. — **11**. — P. 1.
23. *Prolss G. W.* Common origin of positive ionospheric storms at middle latitudes and the geomagnetic activity effect at low latitudes // *J. Geophys. Res.* — 1993. — **98**. — P. 5981.
24. *Prolss G. W.* Ionospheric F-region storms // *Handbook of atmospheric electrodynamics*, V. 2 / Ed. by H. Volland. — CRC, Boca Raton, Fla, 1995. — 195 p.
25. *Stone M. L., Bird L. E., Balsev M.* A Faraday rotation measurement on the ionospheric perturbation produced by a burning rocket // *J. Geophys. Res.* — 1964. — **69**, N 5. — P. 971—977.

Надійшла до редакції 20.12.09

T. G. Zhivolup, L. F. Chernogor

IONOSPHERIC EFFECTS DURING FLIGHTS OF THE ROCKET «SOYUZ» UNDER MAGNETICALLY QUIET AND MAGNETICALLY DISTURBED CONDITIONS

The results of observations of large-scale (about 2000 km) disturbances in the ionosphere which arose during launching and flight of rockets «Soyuz» are presented. It is important that one of the rockets was launched on magnetically quiet day and another rocket was launched on magnetically disturbed day. It is confirmed what even a moderate magnetic storm can strongly mask ionospheric effects of rocket launchings. We found delay times and speeds of waves which are responsible for carry of disturbances. Our results are in good agreement with results of our earlier researches.