

УДК 550.388.2

Т. Г. ЖИВОЛУП, С. В. ПАНАСЕНКО, Л. Ф. ЧЕРНОГОР

**ВОЗМУЩЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ, СОПРОВОЖДАВШИЕ СТАРТЫ РАКЕТЫ «СОЮЗ» С КОСМОДРОМА ПЛЕСЕЦК**

Проанализированы временные зависимости критических частот F-области ионосферы для трех стартов ракеты «Союз» с космодрома Плесецк по данным двух ионозондов, расположенных вблизи г. Тромсе (Норвегия) и г. Лонгьир (архипелаг Свалбард, Норвегия). Обнаружены квазипериодические вариации этих частот, наблюдавшиеся после стартов с запаздываниями 30 – 60 мин и около 70 мин для ионозондов вблизи г. Тромсе и г. Лонгьир соответственно. Периоды волновых возмущений составили 30 – 60 мин, а амплитуды равнялись 0.05 – 0.2 МГц. Горизонтальные скорости распространения возмущений соответствовали скоростям акустико-гравитационных волн на высотах максимума концентрации электронов.

**Ключевые слова:** ионозонд, критические частоты, старты ракет, волновые возмущения.

**Введение.** В последние десятилетия мощность ракет и частота их стартов достигла таких значений, что высвобождаемую при этом энергию необходимо учитывать при анализе процессов в атмосфере и геокосмосе. Стартующая ракета оказывает механическое, тепловое, химическое и электромагнитное воздействия на окружающую среду. При этом часть энергии тратится на генерацию и распространение волновых возмущений в атмосфере и ионосфере, способных распространяться на тысячи километров от места старта [1].

Обнаружение и оценка параметров таких волновых процессов является актуальной задачей по нескольким причинам. С одной стороны, старты и полеты ракет являются своего рода активными экспериментами в геокосмосе, в которых расстояние до космодрома и выделяемая энергия, зависящая от массы ракеты, являются известными величинами. Таким образом, анализ динамических процессов позволяет уточнить модели этих процессов, вызванных локальными высокоэнергичными источниками, а также выявить механизмы преобразования и передачи энергии в системе Земля – атмосфера – геокосмос. С другой стороны, наблюдаемые волновые возмущения сами по себе являются индикатором исследуемых событий. При наличии одновременных измерений, проведенных рядом разнесенных в пространстве измерительных комплексов, по значениям параметров наблюдаемых процессов можно определить местоположение, время старта и оценить массу стартовавшей ракеты.

Анализ волновых возмущений, наблюдаемых вдали от места старта, проводится в течение нескольких десятилетий [1]. При этом активно применяются наземные методы дистанционного зондирования, такие как метод вертикального зондирования [2 – 4], некогерентного рассеяния [5, 6], доплеровского зондирования [7], а также магнитометрические методы [8].

Целью данной работы является анализ временных вариаций критических частот F2-слоя ионосферы, имевших место после старта ракеты «Союз» с космодрома Плесецк, по данным ионозондовых наблюдений.

**Сведения о ракете и средствах наблюдения.**

Ракета «Союз» относится к тяжелым ракетам [1]. Она

имеет полную массу 305 т, высоту 46.1 м, начальную тягу 4.14 МН. Ее низкоорбитная полезная нагрузка составляет 6855 кг для высоты 200 км. Параметры нулевой ступени следующие: масса –  $4 \times 44.4$  т, тяга –  $4 \times 1.02$  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.

Для диагностики ионосферных возмущений использовались данные двух ионозондов (Dynasonde), расположенных вблизи г. Тромсе (Норвегия) и г. Лонгьир (архипелаг Свальбард, Норвегия) [9].

Ионозонд, расположенный вблизи г. Тромсе, является одним из шести цифровых ионозондов, спроектированных и созданных в Лаборатории космической среды (Боулдер, США) в течение 1975 – 1978 гг. Для стандартного зондирования он излучает радиоимпульсы гауссовской формы длительностью по половинной мощности около 128 мкс. Максимальная мощность составляет 10 кВт. Два приемника используются с мультиплексорами на входах таким образом, что можно подключать различные пары шести приемных антенн при приеме каждого импульса. Ширина полосы пропускания приемника равна 30 кГц. Погрешность оценки критических частот  $f_{o,x}F2$  составляет около 10 кГц (0.01 МГц).

Предающая антенна ионосферной станции была установлена в 1980 г. и является четырехмачтовой двухплоскостной логопериодической антенной с коэффициентом логопериодичности  $\tau = 0.92$ . Усиление этой антенны рассчитывается по формуле:  $G(\theta) = 6 \cos^{1.5}(\theta)$  дБ для частот, больших 1 МГц, где  $\theta$  – зенитный угол излучения. Приемная антенна представляет собой квадратный массив из шести длинных диполей, диагональ квадрата равна 141 м. Каждый диполь состоит из двух алюминиевых трубок длиной 11 м и диаметром 15 см, расположенных на высоте 2 м над поверхностью Земли.

Оборудование ионозонда (передатчик, приемник и антенны) практически не изменились с 1980 г., в то время как программное обеспечение и обработка

данных существенно улучшились. Сейчас данные ионозонда представляются в реальном времени в сети Интернет с использованием более детального анализа, что привело к существенному улучшению детализации результатов. В 2002 г. была установлена автономная система анализа данных в реальном времени. Она позволила получать большое разнообразие ионосферных параметров, включая профили концентрации электронов, скорость переноса плазмы, автоматически масштабируемые значения критических частот E- и F- областей [9].

Ионозонд вблизи г. Лонгьер имеет практически такие же характеристики, как и описанный выше, кроме размера приемной антенны – она состоит из четырех длинных диполей.

Данные ионозондов находятся в свободном доступе в сети Интернет (<http://dynserv.eiscat.uit.no>). Расстояние от космодрома Плесецк до ионозондов составляет около 1200 км и 2000 км соответственно. Информация о дате и времени старта ракеты (СР), а также модификации ракеты представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Общие сведения о стартах ракеты и геомагнитной обстановке

Дата	Время старта, UT	Тип ракеты	Высокоширотные индексы		Планетарные индексы	
			$A$	$K$	$A_p$	$K_p$
15.04.2010	15:00:00	Союз У	6	3 3 1 2 1 1 0 0	8	4 3 1 1 1 1 0 1
<b>16.04.2010</b>			<b>2</b>	<b>2 1 0 0 0 1 0</b>	<b>4</b>	<b>2 1 0 0 0 1 1</b>
17.04.2010			2	1 0 1 0 0 0 1 1	2	1 0 0 0 0 0 1 1
05.05.2014	13:49:35	Союз 2.1a	10	1 3 3 3 2 3 2 1	10	2 3 3 2 2 2 2 2
<b>06.05.2014</b>			<b>1</b>	<b>1 1 1 0 0 0 0</b>	<b>3</b>	<b>1 1 1 1 1 0 0 0</b>
07.05.2014			3	0 0 0 0 3 1 0 1	4	0 1 1 1 2 1 1 2
26.06.2011	16:00:00	Союз У	6	3 3 1 1 2 1 0 1	7	3 3 1 1 1 1 1 1
<b>27.06.2011</b>			<b>3</b>	<b>1 1 1 1 2 0 0 1</b>	<b>5</b>	<b>1 2 1 1 1 1 2 2</b>
28.06.2011			1	1 1 0 0 0 0 0 1	4	2 2 0 0 1 1 0 1

Примечание. Данные, относящиеся ко дню старта, выделены жирным начертанием.

**Сведения о геомагнитной обстановке.** В табл. 1 также приведены значения высокоширотных и планетарных индексов геомагнитной активности в день старта, а также в предыдущие и последующие сутки. Видно, что индексы  $A$  и  $A_p$  равнялись 1 – 10, а  $K$  и  $K_p$  в основном не превышали значения 3. Это свидетельствует о том, что в дни стартов ракеты “Союз”, как в предшествующие и последующие дни, состояние магнитного поля Земли было спокойным, что способствовало обнаружению возмущений в ионосферной плазме, сопровождавших старты ракет.

**Анализ  $f$ -графиков.** Для выявления ионосферных возмущений анализировались временные вариации частоты  $f_oF2$ . В тех случаях, когда определить ее значения было невозможно, анализировались вариации  $f_xF2$  (рис. 1 – 3).

Из рис. 1, а видно, что в предыдущий день до СР, 15 апреля 2010 г., значения  $f_oF2$  в интервале времени 12:48 – 13:12 (здесь и далее время UT) изменялись незначительно. Потом имело место падение  $f_oF2$  до ее локального минимума в 13:52, ее рост до ее локального максимума в 14:40, и затем ее спад до небольшого локального минимума в 15:12. С 15:16 до 17:32 наблюдались слабые изменения  $f_oF2$ .

16 апреля 2010 г., т.е. в день СР, поведение  $f_oF2$  было иным. По данным ионозонда вблизи г. Тромсе перед СР наблюдалось некоторое увеличение  $f_oF2$  до ее локального максимума в 14:32, потом ее уменьшение до ее локального минимума в 14:48 и увеличение до локального максимума в 14:52. Затем после СР началось уменьшение  $f_oF2$  до локального минимума в 15:12. После этого наблюдались два локальных максимума  $f_oF2$  в 15:24 и 16:56 (см. рис. 1, б).

Вариации  $f_oF2(t)$  в следующий после старта день 17 апреля 2010 г. были иными, чем в день СР (см.

рис. 1, в). В период с 13:44 до 14:52  $f_oF2$  почти не изменялась, потом уменьшилась до небольшого локального минимума, который наблюдался в 15:04, потом возросла до своего локального максимума в 16:44, после чего стала уменьшаться с небольшими флуктуациями.

По данным ионозонда вблизи г. Лонгьер, перед СР после локального максимума в 14:18 наблюдалось монотонное уменьшение  $f_oF2$  до момента СР в 15:00, которое продолжилось и после старта до локального минимума  $f_oF2$  в 15:24. Затем  $f_oF2$  увеличилась до локального максимального значения, которое наблюдалось с 15:42 до 16:06 и после этого стала уменьшаться с небольшими флуктуациями (см. рис. 1, г).

Рассмотрим временные вариации частоты  $f_xF2$  в день старта ракеты “Союз” 6 мая 2014 г. в 13:49, а также в предыдущий старту и следующий после старта день (см. рис. 2).

Как видно из рис. 2, а, 5 мая 2014 г. до 13:40 наблюдались квазипериодические колебания  $f_xF2$ , после чего  $f_xF2$  возрастает до своего локального максимального значения, которое наблюдалось с 14:40 до 14:50, и потом монотонно уменьшилась до своего минимального значения в 15:34.

6 мая 2014 г., в день СР, поведение  $f_xF2$  отличалось от ее поведения 5 мая 2014 г. (см. рис. 2, б). До СР в период 09:00 – 12:00  $f_xF2$  почти не изменялась. После 12:00  $f_xF2$  медленно увеличивалась до своего локального максимума, который наблюдался с 13:30 до 13:40, и с 13:50, после СР, стала постепенно уменьшаться до своего локального минимального значения, которое было достигнуто в 14:20. Потом  $f_xF2$  медленно увеличилась до своих локальных максимальных значений, которые наблюдались с 15:34 до 15:50. После этого частота  $f_xF2$

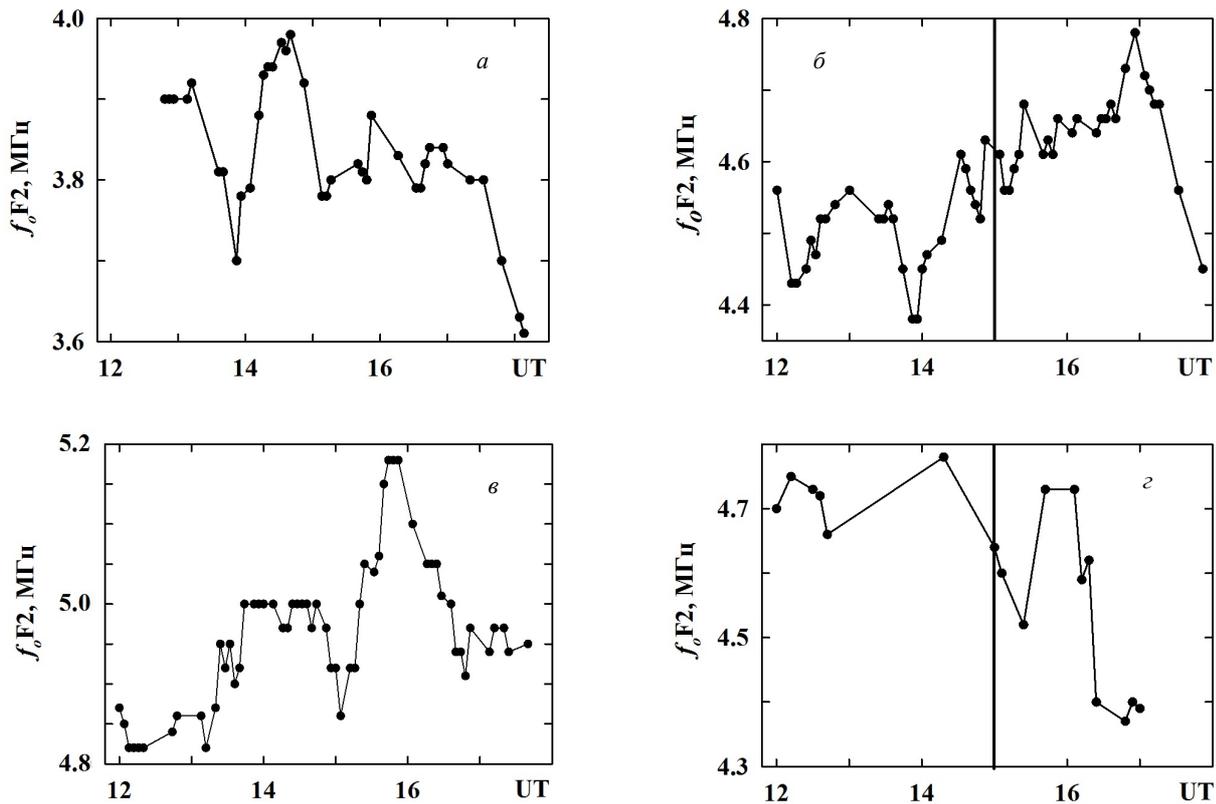


Рис. 1 – Временные вариации критической частоты F-области ионосферы  $f_oF_2$ , полученные с помощью ионозонда вблизи г. Тромсø: *a* – 15.04.2010 г.; *б* – 16.04.2010 г. и *в* – 17.04.2010 г., а также ионозонда вблизи г. Лонггьир: *г* – 16.04.2010 г. Здесь и далее вертикальными сплошными линиями показан момент старта ракеты.

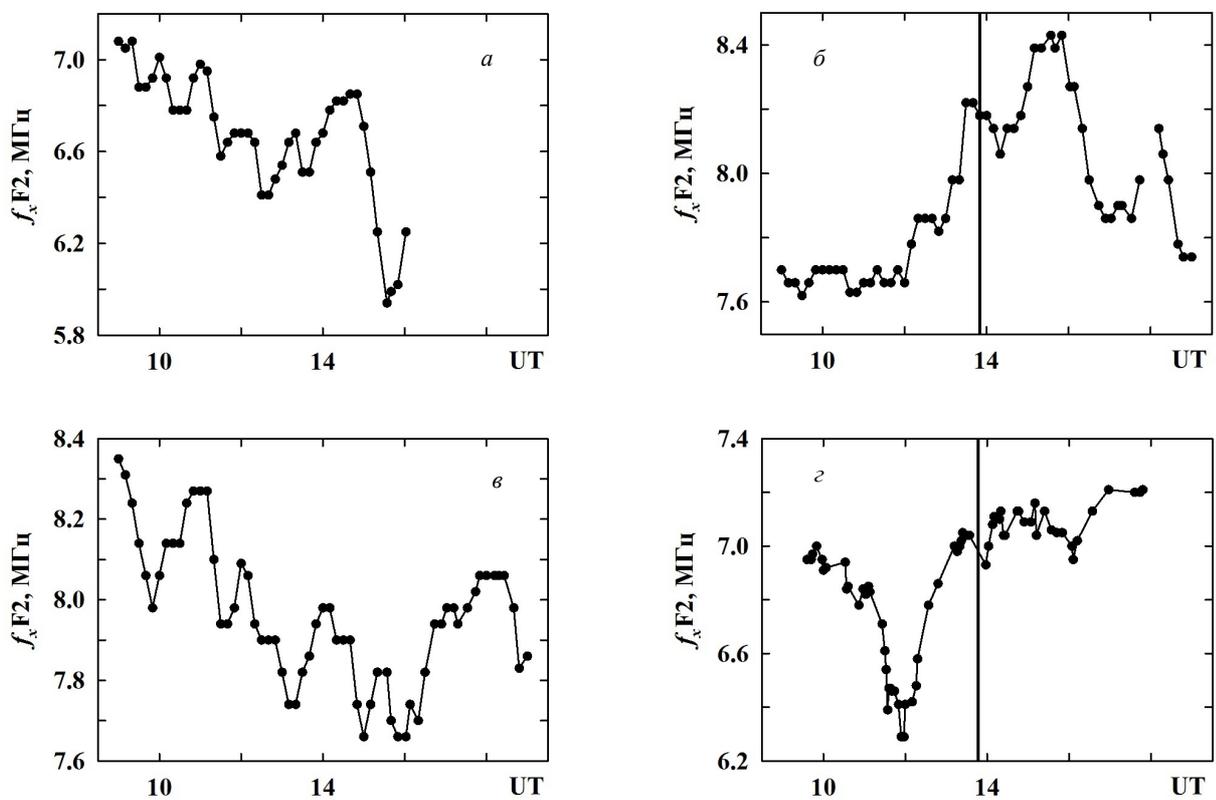


Рис. 2 – То же, что и на рис. 1, для  $f_xF_2$ : *a* – 05.05.2014 г.; *б*, *г* – 06.05.2014 г. и *в* – 07.05.2014 г.

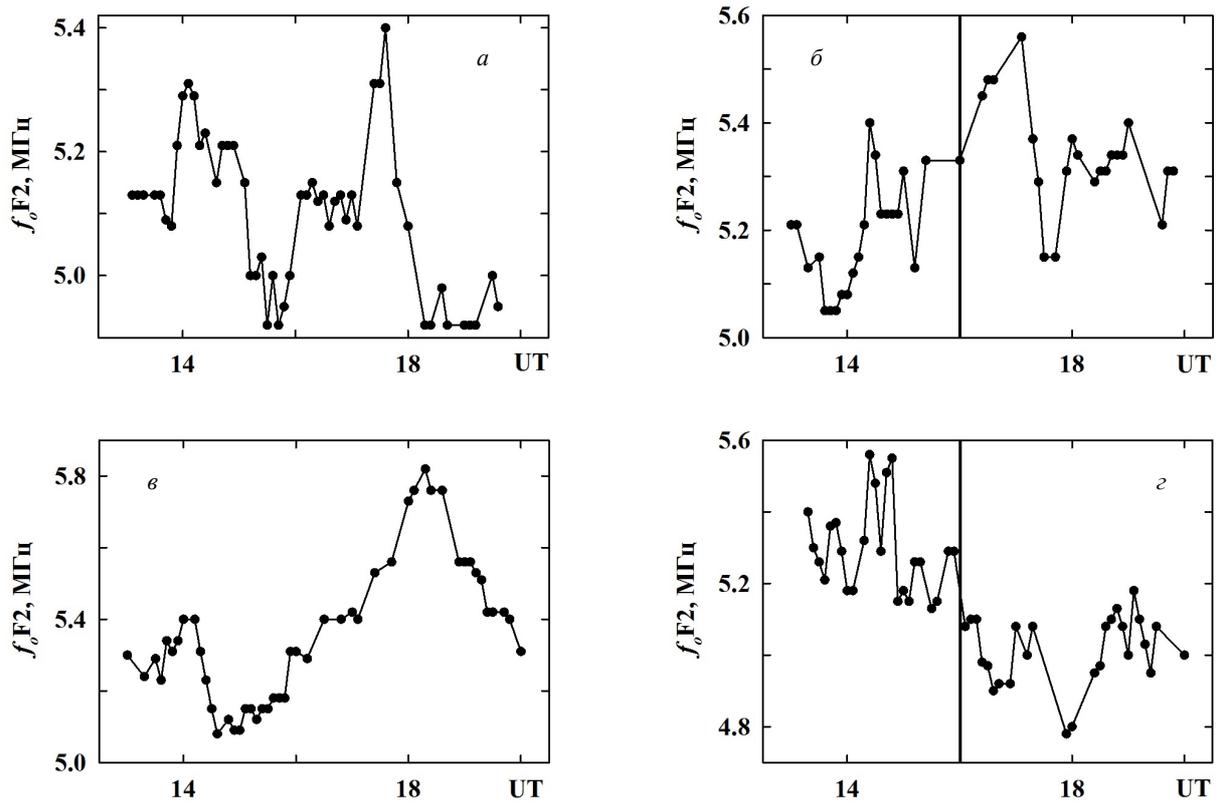


Рис. 3 – То же, что и на рис. 1, для: а – 26.06.2011 г.; б, в – 27.06.2011 г. и г – 28.06.2011 г.

уменьшилась до локальных минимальных значений, которые наблюдались с 16:54 до 17:52, после чего  $f_xF2$  несколько возросла, и третий локальный максимум наблюдался в 18:12.

7 мая 2014 г. поведение  $f_xF2$  также отличалось от ее поведения в день СР (см. рис. 2, в). С 09:00 до 16:02 наблюдались квазипериодические колебания  $f_xF2$ . После 16:02  $f_xF2$  постепенно увеличилась до своих максимальных значений, которые наблюдались с 17:50 до 18:26, и после этого стала медленно убывать.

Опишем временные зависимости критической частоты  $f_xF2$  по данным ионозонда вблизи г. Лонгвир 6 мая 2014 г. (см. рис. 2, г). С 09:58  $f_xF2$  уменьшалась с небольшими флуктуациями до своих минимальных значений, наблюдаемых с 11:54 до 11:58. Потом  $f_xF2$  возрастает до своих локальных максимальных значений, наблюдаемых с 13:24 до 13:34. После этого и после СР наблюдается локальный минимум  $f_xF2$  в 13:58. После 13:58  $f_xF2$  немного возрастает с небольшими флуктуациями, но в 16:06 наблюдался третий локальный минимум  $f_xF2$ , после чего она немного возросла.

Рассмотрим временные вариации частоты  $f_oF2$  в день старта ракеты “Союз” 27 июня 2011 г. в 16:00, а также в предыдущий старту и следующий после старта день (см. рис. 3).

Как видно из рис. 3, а, 26 июня 2011 г.  $f_oF2$  после своего локального максимума в 14:06 монотонно уменьшалась до своего локального минимального значения в 15:42, испытывая небольшие флуктуации. После этого  $f_oF2$  несколько увеличилась и в период 16:06 – 17:06 слабо изменялась. Затем она резко

возросла до своего максимального значения в 17:36 и потом также резко уменьшилась до своих минимальных значений, которые наблюдались в интервале 18:18 – 19:12.

27 июня 2011 г., в день СР, поведение  $f_oF2$  сильно отличалось от ее поведения 26 июня 2011 г. (см. рис. 3, б). До СР в период 15:24 – 16:00  $f_oF2$  не изменялась, а после СР стала увеличиваться до своего максимального значения в 17:06, потом резко уменьшилась до своих локальных минимальных значений, которые наблюдались с 17:30 до 17:42. После этого  $f_oF2$  несколько возросла до своего локального максимума в 18:00, после чего второй локальный максимум наблюдался в 19:00.

28 июня 2011 г. поведение  $f_oF2$  также имело некоторые особенности (см. рис. 3, в). Частота  $f_oF2$  после локального максимума в 14:12 уменьшилась до своего минимального значения в 14:36, затем увеличилась до своего максимального значения в 18:18, испытывая небольшие флуктуации, и после этого стала убывать с небольшими квазипериодическими колебаниями.

По данным ионозонда вблизи г. Лонгвир, до момента старта в 16:00 наблюдались квазипериодические волновые колебания  $f_oF2$  (см. рис. 3, г). С 15:48 до 15:54 имел место локальный максимум  $f_oF2$ . После СР  $f_oF2$  стала убывать с небольшими флуктуациями до своего минимума в 16:36. После этого наблюдались два небольших локальных максимума в 17:00 и 17:18, а затем  $f_oF2$  снова уменьшилась до своего локального минимума в 17:54. Потом имело место возрастание  $f_oF2$  до

локального максимума в 19:06 с последующим уменьшением ее значений.

**Обсуждение результатов.** Проанализируем временные вариации критических частот  $f_oF_2$ , которые могут быть вызваны стартом ракеты “Союз”. Как видно из рис. 1, б, имели место квазигармонические вариации  $f_oF_2$  с квазипериодом 30–40 мин, которые начались примерно в 14:30 и продолжались до 16:00. Его амплитуда равнялась около 0.05 МГц. Если подавление колебаний связано с СР, то время запаздывания возмущений составило около 1 часа. С учетом расстояния от ионозонда до космодрома Плесецк горизонтальная скорость распространения возмущений  $v$  составляет около 340 м/с. Из рис. 1, а, в видно, что в соседние дни не наблюдалось волновых возмущений  $f_oF_2$  с таким же или близким квазипериодом. Из-за плохого качества данных, полученных в этот же день с помощью ионозонда вблизи г. Лонгьир, подобные вариации  $f_oF_2$  обнаружены не были (рис. 1, г).

Что касается СР, произошедшего 6 мая 2014 г. (рис., 2, б), то здесь эффекты старта менее заметны. С ним может быть связан квазигармонический процесс с периодом около 60 мин и амплитудой 0.2 МГц, начавшийся примерно через 30 мин после СР. Тогда  $v \approx 680$  м/с. Следует отметить, что такого процесса не наблюдалось с помощью ионозонда вблизи г. Лонгьир (см. рис. 2, г). Кроме того, в соседние дни по данным ионозонда вблизи г. Тромсе также имели место подобные волновые возмущения (см. рис. 2, а, в).

Наконец, 27 июня 2011 г., по данным ионозонда вблизи г. Тромсе примерно через 40 мин после СР, наблюдались колебания  $f_oF_2$  с периодом около 50 мин и амплитудой около 0.15 МГц. При этом  $v \approx 500$  м/с. Важно, что квазипериодический процесс почти с таким же периодом и амплитудой около 0.1 МГц был зарегистрирован с помощью ионозонда вблизи г. Лонгьир (см. рис. 3, г). Время его запаздывания составило около 70 мин. Поэтому, с учетом расстояния до космодрома 2000 км  $v \approx 475$  м/с. Это значение очень близко к тому, что наблюдалось с помощью ионозонда вблизи г. Тромсе, причем примерно на 20 мин позже. Таким образом, наблюдаемое возмущение, скорее всего, вызвано СР.

Все наблюдаемые волновые возмущения имели горизонтальную скорость, лежащую в диапазоне 340–680 м/с, что соответствует скоростям акустико-гравитационных волн (АГВ) на рассматриваемых высотах. АГВ, сопровождавшие СР, были обнаружены также по данным других наблюдений [2–8].

**Выводы.** Проанализированы временные вариации критических частот F-области ионосферы, сопровождавшие старты ракеты “Союз” с космодрома Плесецк, по данным двух ионозондов, расположенных на расстоянии около 1200 км и 2000 км от места старта соответственно. Выявлены волновые возмущения, наблюдавшиеся с запаздываниями 30–60 мин и около 70 мин относительно момента времени СР для ионозондов вблизи г. Тромсе и г. Лонгьир соответственно. Показано, что эти возмущения имеют горизонтальные скорости 340–680 м/с, которые

соответствуют скоростям АГВ на этих высотах. Дополнительным аргументом в пользу того, что возмущения 27 июня 2011 г. могут быть вызваны СР, является возрастание времени запаздывания с увеличением расстояния до космодрома.

**Список литературы:** 1. Chernogor L. F. Radiophysical and geomagnetic effects of rocket burn and launch in the near-the-Earth environment / L. F. Chernogor, N. Blaunstein – Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group. 2014 – 534 p. 2. Живолуп Т. Г. Ионосферные эффекты в течение полета ракеты “Протон”: результаты вертикального зондирования / Т. Г. Живолуп, Л. Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 15–21. 3. Живолуп Т. Г. Ионосферные эффекты в течение полетов ракеты “Союз” в спокойных и магнитовозмущенных условиях / Т. Г. Живолуп, Л. Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 22–31. 4. Черногор Л. Ф. Сравнительный анализ ионосферных эффектов в течение полетов ракеты “Протон” при различных состояниях космической погоды / Л. Ф. Черногор, Т. Г. Живолуп // Радиофізика і радіоастрономія. – 2011. – Т. 16, № 4. – С. 394–403. 5. Бурмака В. П. Волновые возмущения в ионосфере, сопутствовавшие стартам ракет на фоне естественных переходных процессов / В. П. Бурмака, В. И. Таран, Л. Ф. Черногор // Геомагнетизм і аерономія. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 518–534. 6. Бурмака В. П. Комплексная диагностика ионосферной плазмы, возмущенной удаленными стартами ракет / В. П. Бурмака, Л. Ф. Черногор // Радиофізика і радіоастрономія. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 26–44. 7. Бурмака В. П., Л. С. Костров, Л. Ф. Черногор. Статистические характеристики сигналов доплеровского ВЧ радара при зондировании средней ионосферы, возмущенной стартами ракет и солнечным терминатором / В. П. Бурмака, Л. С. Костров, Л. Ф. Черногор // Радиофізика і радіоастрономія. – 2003. – Т. 8, № 2. – С. 143–162. 8. Черногор Л. Ф. Геомагнитный эффект стартов и полетов крупных космических аппаратов / Л. Ф. Черногор // Косміческие исследования. – 2013. – Т. 51, № 6. – С. 455–469. 9. Rietveld M. T. The Tromsø Dynasonde / M. T. Rietveld, J. W. Wright, N. Zobotin, M. L. W. Pitteway // Polar Science – 2008. – V. 2, No 1. – P. 55–71.

**Bibliography (transliterated):** 1. Chernogor L. F. Radiophysical and geomagnetic effects of rocket burn and launch in the near-the-Earth environment / L. F. Chernogor, N. Blaunstein – Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group. 2014 – 534 p. 2. Zhivolup T. G., Chernogor L. F. Ionosferniye efekty v techeniye polyota rakety “Proton”: rezul'taty vertikal'nogo zondirovaniya // Kosmichna nauka i tehnologiya – 16.3 (2010): 15–21. Print. 3. Zhivolup T. G., Chernogor L. F. Ionosferniye efekty v techeniye polyotov rakety “Soyuz” v spokoynyh i magnitovozmushchennyh usloviyah // Kosmichna nauka i tehnologiya. 16.3 (2010): 22–31. Print. 4. Chernogor L. F., Zhivolup T. G. Sravnitelnyy analiz ionosfernyh effektov v techeniye polyota rakety “Proton” pry razlichnyh sostoyaniyah kosmicheskoy pogody // Radiofizika i radioastronomiya – 16.4 (2011): 394–403. Print. 5. Burmaka V. P., Taran V. I., Chernogor L. F. Volnovye vozmushheniya v ionosfere, soputstvovavshie startam raket na fone estestvennyh perehodnyh processov // Geomagnetizm i aeronomiya – 44.4 (2004): 518–534. Print. 6. Burmaka V. P., Chernogor L. F. Kompleksnaya diagnostika ionosfernoy plazmy, vozmushchennoy udalennymi startami raket // Radiofizika i radioastronomiya. – 14.1 (2009) 26–44. Print. 7. Burmaka V. P., Kostrov L. S., Chernogor L. F. Statisticheskie karakteristiki signalov doplerovskogo VCh radara pri zondirovaniy sredney ionosfery, vozmushhennoj startami raket i solnechnym terminatorom // Radiofizika i radioastronomiya. 8.2 (2003): 143–162. Print. 8. Chernogor L. F. Geomagnetnyy jeffekt startov i poletov krupnyh kosmicheskikh apparatov // Kosmicheskie issledovaniya. – 51.6 (2013): 455–469. Print. 9. Rietveld M. T. The Tromsø Dynasonde / M. T. Rietveld, J. W. Wright, N. Zobotin, M. L. W. Pitteway // Polar Science – 2008. – V. 2, No 1. – P. 55–71.

Поступила (received) 03.09.2015

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Живолуп Тарас Григорович** – кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник Інституту іоносфери НАН і МОН України, м. Харків; тел.: (057) 706-22-87; e-mail: [iion@kpi.kharkov.ua](mailto:iion@kpi.kharkov.ua).

**Живолуп Тарас Григорьевич** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института ионосферы НАН и МОН Украины, г. Харьков; тел.: (057) 706-22-87; e-mail: [iion@kpi.kharkov.ua](mailto:iion@kpi.kharkov.ua).

**Zhivolup Taras Grygorovych** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Research scientist of Institute of ionosphere, Kharkiv; phone: (057) 706-22-87; e-mail: [iion@kpi.kharkov.ua](mailto:iion@kpi.kharkov.ua).

**Панасенко Сергій Валентинович** – кандидат фізико-математичних наук, завідувач відділу Інституту іоносфери НАН і МОН України, м. Харків; тел.: (057) 706-22-87; e-mail: [sergii.v.panasenko@gmail.com](mailto:sergii.v.panasenko@gmail.com).

**Панасенко Сергей Валентинович** – кандидат физико-математических наук, заведующий отделом Института ионосферы НАН и МОН Украины, г. Харьков; тел.: (057) 706-22-87; e-mail: [sergii.v.panasenko@gmail.com](mailto:sergii.v.panasenko@gmail.com).

**Panasenko Sergii Valentynovych** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department of Institute of ionosphere, Kharkiv; phone: (057) 706-22-87; e-mail: [sergii.v.panasenko@gmail.com](mailto:sergii.v.panasenko@gmail.com).

**Чорногор Леонід Феоктистович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри космічної радіофізики ХНУ імені В. Н. Каразіна МОН України, м. Харків; тел.: (057) 707-55-61; e-mail: [Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua](mailto:Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua).

**Черногор Леонид Феоктистович** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры космической радиофизики ХНУ имени В. Н. Каразина МОН Украины, г. Харьков; тел.: (057) 707-55-61; e-mail: [Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua](mailto:Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua).

**Chernogor Leonid Feoktistovich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Full Professor, Professor at Department of Space Radiophysics, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv; phone: (057) 707-55-61; e-mail: [Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua](mailto:Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua).