

**ЭФФЕКТЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ ОТ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ
КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ****GEOMAGNETIC EFFECTS CAUSED BY ROCKET EXHAUST JETS****Ю.В. Липко***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, lipko@iszf.irk.ru***А.Ю. Пашинин***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, pash@iszf.irk.ru***Р.А. Рахматулин***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, rav@iszf.irk.ru***В.В. Хахнин***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, khakhin@iszf.irk.ru***Yu.V. Lipko***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, lipko@iszf.irk.ru***A.Yu. Pashinin***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, pash@iszf.irk.ru***R.A. Rakhmatulin***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, rav@iszf.irk.ru***V.V. Khakhinov***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, khakhin@iszf.irk.ru*

Аннотация. В рамках космического эксперимента «Радар–Прогресс» на магнитоизмерительных комплексах, расположенных в обсерваториях Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, и магнитотеллурической аппаратуре мобильного комплекса проведено 33 сеанса регистрации колебаний магнитного поля Земли во время включений бортовых двигателей космических грузовых кораблей серии «Прогресс» на околоземной орбите. Предполагалось, что работа двигателя может стимулировать возмущения геомагнитного поля в силовых трубках, пересекаемых космическим кораблем. При анализе экспериментального материала учитывались факторы космической погоды: параметры солнечного ветра, суммарный за сутки K_p -индекс возмущенности геомагнитного поля в средних широтах, AE -индекс возмущенности магнитного поля в авроральной зоне, глобальная магнитная возмущенность.

Результаты эксперимента показали, что в 18 из 33 сеансов наблюдались геомагнитные пульсации в различных диапазонах периодов.

Ключевые слова: активный космический эксперимент «Радар–Прогресс», геомагнитные пульсации, колебания магнитного поля Земли, космическая погода.

Abstract. In the space experiment Radar–Progress, we have made 33 series of measurements of geomagnetic variations during ignitions of engines of Progress cargo spacecraft in low Earth orbit. We used magneto-measuring complexes, installed at observatories of the Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, and magnetotelluric equipment of a mobile complex. We assumed that engine running can cause geomagnetic disturbances in flux tubes crossed by the spacecraft. When analyzing experimental data, we took into account space weather factors: solar wind parameters, total daily mid-latitude geomagnetic activity index K_p , geomagnetic auroral electrojet index AE , global geomagnetic activity.

The empirical data we obtained indicate that 18 of the 33 series showed geomagnetic variations in various time ranges.

Keywords: active Radar–Progress space experiment, geomagnetic pulsations, geomagnetic field variations, space weather.

ВВЕДЕНИЕ

С началом эры освоения ближнего космического пространства многие исследователи обратили внимание на возможное влияние техногенных факторов на атмосферу Земли. Наиболее существенными способами активного искусственного воздействия на геофизические процессы в атмосфере и магнитосфере Земли являются ядерные взрывы, выбросы химических соединений и нагрев электромагнитным излучением [Наумов и др., 2014].

Локальные геомагнитные возмущения природного и технического генезиса широко известны с момента

первых высотных ядерных взрывов [Фаткуллин, 1982]. Изучение ядерных технофизических процессов, генерирующих локальные геомагнитные возмущения, приводит к предположению о том, что старты ракет-носителей могут также создавать цепочку ионосферных процессов, способных вызывать специфические геомагнитные вариации [Смирнова и др., 1995].

В рамках исследований активных воздействий на геофизические процессы неоднократно проводились эксперименты по созданию в ионосфере искусственных плазменных образований. Их эволюция может способствовать генерации потоков заряжен-

ных частиц, возникновению локальных токовых систем и магнитогидродинамических возмущений. Активно воздействуют на геофизические процессы также выбросы химических плазмогасящих веществ, инжекция в ионосферу потоков заряженных частиц, лазерного излучения [Наумов и др., 2014].

В работе [Дмитриев и др., 2002] был проведен эксперимент по мониторингу вариаций магнитного поля Земли (МПЗ), которые могли возникнуть в период после запуска ракет-носителей. Исследование показало, что после большинства пусков ракет-носителей через 8–18 ч наблюдалось аномальное понижение напряженности МПЗ (полного вектора T и вертикальной Z -составляющей). Интенсивность максимального понижения МПЗ варьировала в пределах от 20 до 200 нТл. Градиент понижения изменялся в пределах 7–28 нТл/ч. Время полной релаксации МПЗ также варьировало в широких пределах от 8 ч до суток и более [Дмитриев и др., 2002].

Данное исследование вариаций МПЗ проводилось в рамках активного космического эксперимента (КЭ) «Радар–Прогресс» [Лебедев и др., 2008; Хахинов и др., 2010; Khakhinov et al., 2012; Potekhin et al., 2009]. Постановщиком КЭ выступило Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИмаш). Ракетно-космическая корпорация (РКК) «Энергия» им. С.П. Королева отвечала за разработку программно-методического обеспечения и техническую реализацию КЭ. В сеансах КЭ были задействованы наземный пространственно-разнесенный комплекс радиотехнических, оптико-электронных, магнитометрических и навигационных средств наблюдений и измерений Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН) и транспортные грузовые корабли (ТГК) серии «Прогресс» в фазе автономного полета после выполнения основной миссии по доставке грузов на МКС.

Во время пролета ТГК в зоне ответственности Иркутского радара некогерентного рассеяния в предварительно рассчитанное время включался на 8–10 с бортовой сближающе-корректирующий двигатель (СКД), потребляющий 1 кг топлива в секунду. Высокоэнергичные выхлопные газы могли стимулировать развитие в магнитосферно-ионосферной плазме электромагнитных возмущений, которые могли быть зарегистрированы на поверхности Земли магнитометрической аппаратурой.

В связи с этим в обсерваториях ИСЗФ СО РАН и в точке проекции на поверхность Земли силовой трубки геомагнитного поля, в которой по расчетам находился ТГК «Прогресс», работали индукционные магнитометры и производился мониторинг вариаций геомагнитного поля в различных диапазонах периодов.

Настоящая работа посвящена исследованию возможных магнитных возмущений в период работы двигателей ТГК «Прогресс».

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По данным ЦУП рассчитывались координаты проекций на поверхность Земли силовых трубок

МПЗ, пересекаемых ТГК с работающим СКД. Расчет географических координат проводился по методике, представленной в НТО № 807756100-2011 ОКР «Наука–ИСЗФ».

Мобильный комплекс для регистрации вариаций магнитного поля Земли заблаговременно доставлялся в пункт наблюдения, максимально приближенный по координатам к расчетной проекции силовой трубки, где разворачивался для непрерывной регистрации. Комплекс состоял из прибора регистрации LEMI-419, двух высокочувствительных индукционных датчиков LEMI-120 (ориентированных в направлении север–юг и восток–запад), ноутбука, аккумуляторных батарей. LEMI-419 позволяет регистрировать магнитные колебания в диапазоне 0.001–200 Гц с разрешающей способностью 0.01 нТл. Во время полевых наблюдений комплекс находился в салоне автомобиля, датчики были отнесены на расстояние 40 м для минимизации помех. По причине очень высокой чувствительности к вибрациям и ветровой помехе датчики помещались в специальные траншеи глубиной 20–30 см, на дно которых укладывались материалы для демпфирования колебаний (песок). Датчики ориентировались по компасу и уровню.

После инсталляции датчики закрывались предохранительными водонепроницаемыми кожухами в месте подсоединения разъемов. Траншеи закрывались сверху от осадков и ветра.

Датчики устанавливались по крайней мере за 1 ч до начала записи для их температурной стабилизации и уменьшения магнитных помех до уровня нормированных значений шумов.

Наблюдатели находились в палаточном лагере на расстоянии не менее 50 м от места расположения датчиков. Для исключения электромагнитных помех от портативного бензоэлектрогенератора питание аппаратуры осуществлялось от аккумуляторных батарей. Сеанс регистрации был ограничен временем работы ноутбука от батареи — 4 ч. Затем проводился заряд аккумуляторов от генератора, после чего комплекс был готов для следующего сеанса работы. Для минимизации техногенных электромагнитных помех комплекс располагался вдали от населенных пунктов, дорог, ЛЭП.

Одновременно с работой мобильного комплекса работали магнитометрические комплексы в обсерваториях ИСЗФ СО РАН «Патроны», «Узур», «Монды» и «Норильск». Первые три станции располагались в регионе проведения КЭ, т. е. недалеко от проекций орбиты ТГК на поверхность Земли. Обсерватория «Норильск», расположенная на арктических широтах, являлась реперной станцией для мониторинга высокоширотных возмущений, которые могут вносить существенный вклад в спектр наблюдаемых колебаний в средних широтах [Липко и др., 2001; Рахматулин, 2010].

После проведения полевых и обсерваторских наблюдений проводилась камеральная обработка результатов эксперимента. Поскольку спектральный и амплитудный режим геомагнитных пульсаций в средних и высоких широтах зависит от состояния возмущенности ионосферы [Рахматулин, Петровский,

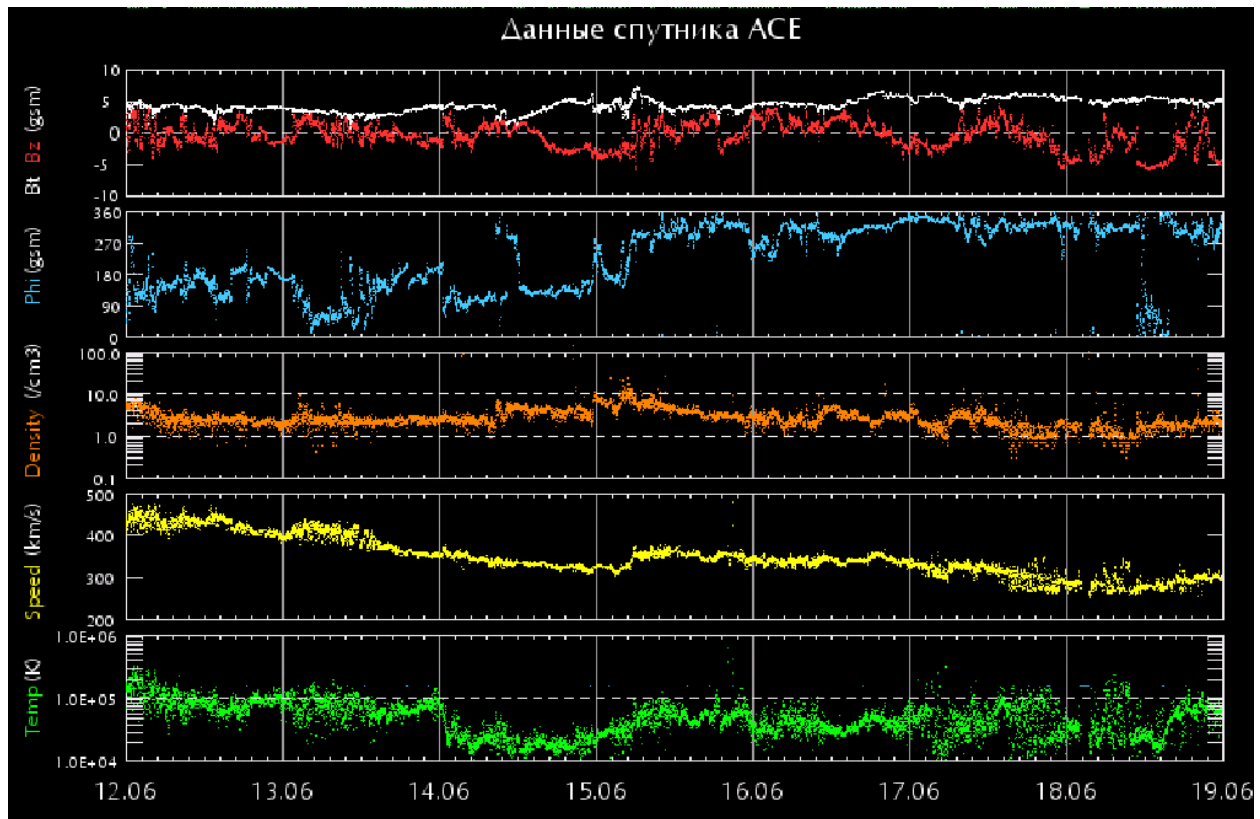


Рис. 1. Данные спутника ACE за период 12–19 июня 2013 г. [<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/ace.html>]

1994; Липко и др., 2001; Rakhmatulin, Pashinin, 2005], этот факт непременно учитывался при анализе зарегистрированных сигналов.

Для каждого события анализировалась ситуация в солнечном ветре, оценивались уровень магнитной возмущенности в глобальном масштабе, магнитная обстановка в регионе наблюдения, магнитная обстановка в авроральной зоне. Все эти меры были направлены на то, чтобы исключить события, когда возможно наложение (сложение) геомагнитного эффекта от работающих двигателей ТГК и естественных вариаций МПЗ.

Уровень возмущенности в глобальном масштабе контролировался по глобальным магнитным индексам K_p , AE , AL и AU .

Степень возмущенности геомагнитного поля в зависимости от величины K_p -индекса можно приблизительно охарактеризовать следующим образом:

- $K_p \leq 2$ — спокойное, $K_p = 2, 3$ — слабовозмущенное, $K_p = 4$ — возмущенное;
- $K_p = 5, 6$ — магнитная буря, $K_p \geq 7$ — большая магнитная буря;

Уровень возмущенности магнитного поля в высоких широтах характеризует индекс авроральной электроструи AE . Для вычисления индекса AE используются магнитограммы H -компонент обсерваторий, расположенных на авроральных или субавроральных широтах и равномерно распределенных по долготе. В настоящее время AE -индексы вычисляются по данным 12 обсерваторий, расположенных в Северном полушарии на разных долготах между 60° и 70° геомагнитной широты. Для численного описания суббуревой активности используются также геомагнитные индексы AL (наибольшая отри-

цательная вариация магнитного поля) и AU (наибольшая положительная вариация магнитного поля).

Данные по солнечному ветру были заимствованы с сайта [<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/ace.html>]. Значения A_p - и K_p -индексов брались на сайте [<http://ipg.geospace.ru/>]. Вариации AE -, AU -, AL -индексов и данные о состоянии магнитного поля в авроральных широтах были заимствованы на сайте [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_provisional/index.html].

Региональный уровень возмущенности контролировался по данным магнитных обсерваторий ИСЗФ.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

13–18 ИЮНЯ 2013 г.

Состояние космической погоды

Состояние космической погоды в период 13–18 июня 2013 г. иллюстрирует рис. 1. Характеристики солнечного ветра имели весь период невозмущенные значения. Скорость солнечного ветра постепенно уменьшалась с 400 км/с 12 июня до 260 км/с к середине суток 18 июня. Южная компонента межпланетного магнитного поля флуктуировала на уровне $B_z = \pm 5$ нТл.

Состояние геомагнитного поля

Данные по индексам K_p , A_p , характеризующим состояние геомагнитного поля в период проведения сеансов КЭ, приведены на рис. 2 и табл. 1. Как видно на рис. 2, эксперимент проходил при очень спокойных условиях в среднеширотной магнитосфере ($K_p \sim 1-2$).

Состояние магнитной активности в высоких широтах анализировалось на базе авроральных индек-

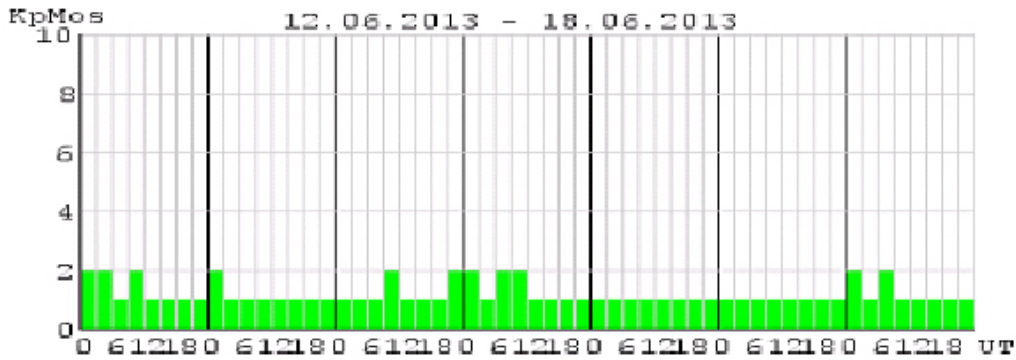


Рис. 2. Значения K_p -индекса [http://ipg.geospace.ru/weekly-geomagnetic-forecast.html]

Таблица 1
Геомагнитное поле по данным [http://ipg.geospace.ru/weekly-geomagnetic-forecast.html]

Дата	Состояние (по A_{pMos})	A_{pMos}
12.06.2013	очень спокойное	005
13.06.2013	очень спокойное	004
14.06.2013	очень спокойное	004
15.06.2013	очень спокойное	005
16.06.2013	очень спокойное	004
17.06.2013	очень спокойное	004
18.06.2013	очень спокойное	005

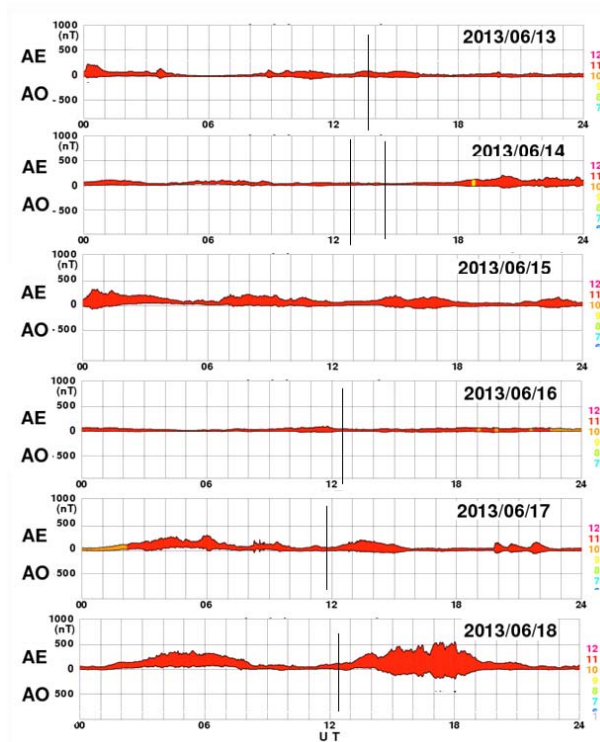


Рис. 3. Значения AE -индекса в период проведения эксперимента. Вертикальными линиями обозначены периоды работы СКД ТГК

сов (рис. 3). Практически все события развивались при отсутствии высокоширотных возмущений, что хорошо видно из данных, представленных на рис. 3.

Анализ экспериментального материала проводился по следующей схеме. Точкой отсчета являлось включение СКД ТГК «Прогресс». По данным индукционных магнитометров программой СВАН (спектрально-временной анализ) строился динами-

ческий спектр колебаний во время работы двигателей, а также за 1 ч до включения и после выключения СКД. Мобильный комплекс был размещен недалеко от деревни Елоты с координатами $52^{\circ}55'35''$ N, $102^{\circ}14'23''$ E. Результаты измерений представлены на рис. 4–9.

13 июня 2013 г. ($AE < 20$ нТл, $K_p = 1$; очень спокойный период)

После включения двигателей ТГК отмечено появление пульсаций в диапазоне периодов ~ 57 с при очень спокойном магнитном фоне, которые повторились через 12 мин (рис. 4).

14 июня 2013 г. ($AE < 20$ нТл, $K_p = 1$; очень спокойный период)

Во время первого пролета ТГК после включения двигателей наблюдались колебания магнитного поля Земли с периодом ~ 80 с (рис. 5).

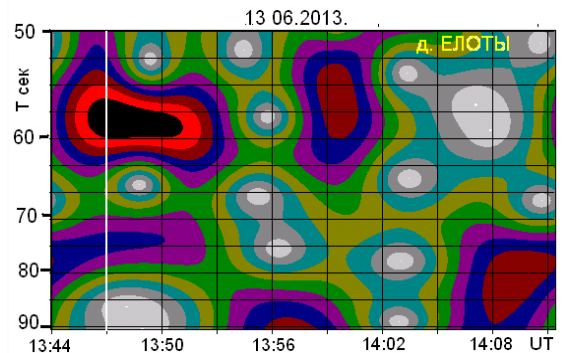


Рис. 4. Динамический спектр геомагнитных пульсаций, зарегистрированных 13 июня 2013 г. комплексом LEM-419. Компонента $H_{с-ю}$ (горизонтальная север–юг). Вертикальной линией отмечен момент включения двигателей

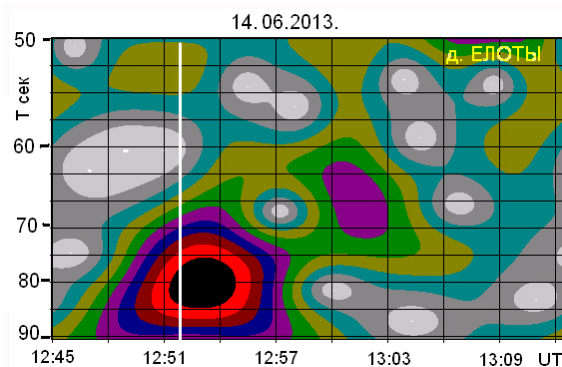


Рис. 5. То же в период первого пролета ТГК 14 июня 2013 г.

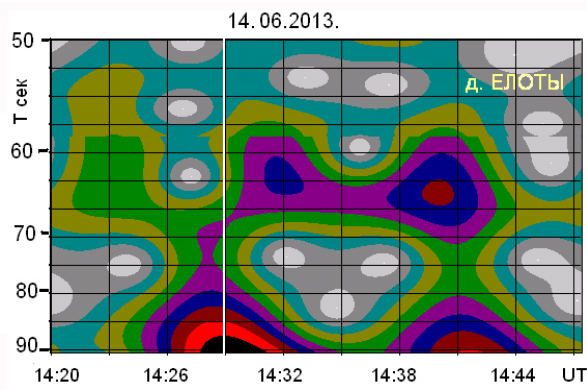


Рис. 6. То же в период второго пролета 14 июня 2013 г.

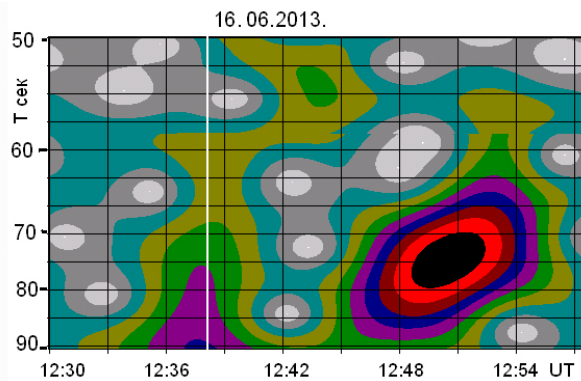


Рис. 7. То же для 16 июня 2013 г.

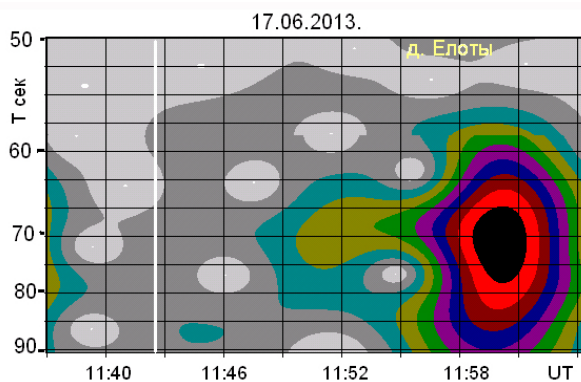


Рис. 8. То же для 17 июня 2013 г.

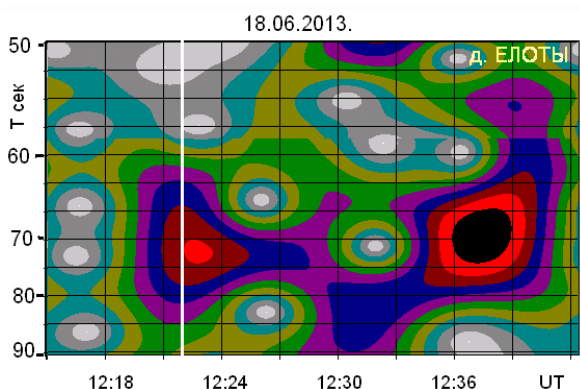


Рис. 9. То же для 18 июня 2013 г.

При втором пролете ТГК «Прогресс» после включения двигателей отмечено появление пульсаций в диапазоне периодов ~ 65 с при очень спокойном магнитном фоне, которые повторились через 9 мин (рис. 6).

16 июня 2013 г. ($AE < 20$ нТл, $K_p = 1$; очень спокойный период)

После включения двигателей ТГК отмечено появление пульсаций в диапазоне периодов ~ 75 с при очень спокойном магнитном фоне, которые повторились через 10 мин (рис. 7).

17 июня 2013 г. ($AE < 70$ нТл, $K_p = 1$; спокойный период)

После включения двигателей отмечено появления пульсаций в диапазоне периодов ~ 65 с при спокойном магнитном фоне, которые повторились через 15 мин (рис. 8).

18 июня 2013 г. ($AE \sim 150$ нТл, $K_p = 1$; слабозамушенный период)

На фоне слабых возмущений геомагнитного поля появились пульсации в диапазоне периодов ~ 70 с, которые повторились через 15 мин (рис. 8).

Подводя итог анализа возбуждения геомагнитных пульсаций при пролетах в апреле и в июне 2013 г., необходимо отметить, что практически все события, за редким исключением, имели место на очень спокойном и спокойном геомагнитном фоне. Анализ данных показывает, что в период экспериментов 2013 г. наблюдались частые случаи возбуждения длиннопериодных колебаний (25–150 с) после включения СКД. Для удобства анализа всех рассмотренных событий мы совместили на рис. 10 моменты начала работы СКД. К результатам экспериментов в июне 2013 г. добавлены некоторые результаты, полученные в апреле 2013 г., когда комплекс регистрирующей аппаратуры был размещен в обсерватории ИСЗФ «Торы» ($51^{\circ}48'38''$ N, $103^{\circ}4'38''$ E).

Характерным для всех рассмотренных случаев является возбуждение геомагнитного поля в диапазоне периодов 25–160 с. В некоторых случаях через 6–15 мин наблюдается повторение сигнала. Необходимо еще раз подчеркнуть, что практически все зарегистрированные пульсации происходили на очень спокойном и спокойном геомагнитном фоне как в средних, так и в высоких широтах, что исключает возможность маскирования наблюдаемого эффекта возмущениями от других источников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью экспериментов в рамках программы «Радар–Прогресс» являлась регистрация вариаций электромагнитного поля Земли в различных диапазонах частот во время пролета ТГК «Прогресс» с работающим бортовым двигателем с последующим анализом полученных результатов. Предполагалось, что работа СКД может стимулировать в определенных диапазонах частот возмущения геомагнитного поля в силовых трубках, пересекаемых ТГК.

В рамках этой программы было проведено 33 сеанса регистрации вариаций магнитного поля Земли при пролетах ТГК над регионом, где располагались обсерватории ИСЗФ и временные пункты наблюдений. Наиболее полная информация по экспериментам приводится в табл. 2.

Как видно из табл. 2, в 18 случаях (из 33) наблюдались геомагнитные вариации в различных диапазонах периодов.

Таблица 2

№ сеанса	Дата	Время включения СКД	ΣK_p	K_p	AE	Магнитная обстановка глобальная	Магнитная обстановка авроральной зоны	Возбуждение колебаний МПЗ
1	23.08.2011	12:46:18	15	2	<20	очень спокойная	спокойный фон	$T \sim 65$ с
2	29.08.2011	11:21:40	14	3	<30	окончание суббури	окончание возмущения	до и после
3	23.04.2012	10:37:57	27	2	20	слабовозмущенная	спокойный фон	нет
4	24.04.2012	11:19:22	28	2	250	слабовозмущенная	во время возмущения	до и после
5	25.04.2012	10:23:55	26	3	600	неустойчивая	во время возмущения	25–35 с
6	26.04.2012	09:27:51	21	2	20	спокойная	после возмущения на спокойном фоне	0.3 с; 35 с
7	26.04.2012	11:04:06	21	2	150	спокойная	во время возмущения	35 с
8	28.04.2012	09:10:03	20	2	80	спокойная	начало возмущения	сбой аппаратуры
9	15.08.2012	14:26:27	13	2	20	очень спокойная	спокойный фон	55–65 с
10	16.08.2012	13:27:16	21	2	60	спокойная	начало возмущения	до и после
11	17.04.2013	13:24:37	6	1	<40	очень спокойная	начало возмущения	нет
12	18.04.2013	12:27:15	6	1	100	очень спокойная	во время возмущения	~ 150 с
13	19.04.2013	11:29:24	7	1	<20	очень спокойная	спокойный фон	до и после
14	20.04.2013	12:07:02	9	2	200	слабовозмущенная	во время возмущения	ВЧ-шум; 25 с
15	21.04.2013	11:08:04	8	1	<20	очень спокойная	спокойный фон	~ 150 с
16	13.06.2013	13:47:03	9	1	<70	очень спокойная	незначительное возмущение	57 с
17	14.06.2013	12:52:43	10	1	<20	очень спокойная	спокойный фон	80 с
18	14.06.2013	14:29:04	11	1	<20	очень спокойная	спокойный фон	65 с
19	16.06.2013	12:38:23	8	1	<20	очень спокойная	спокойный фон	75 с
20	17.06.2013	11:42:25	8	1	<70	очень спокойная	между возмущениями	65 с
21	18.06.2013	12:22:08	12	1	150	очень спокойная	начало возмущения	70 с
22	13.04.2014	13:20:01	19	3	200	спокойная	во время возмущения	до и после
23	14.04.2014	14:01:09	19	3	10	очень спокойная	между возмущениями	60–150 с
24	15.04.2014	13:05:31	11	2	20	очень спокойная	окончание возмущения	длин. T весь день
25	16.04.2014	12:09:29	11	1	250	средневозмущенная	окончание возмущения	до и после
26	17.04.2014	12:49:01	19	2	150	средневозмущенная	начало возмущения	до и после
27	18.04.2014	11:51:51	13	1	50	спокойная	окончание возмущения	80 с
28	26.07.2014	20:24:11	15	2	30	очень спокойная	окончание возмущения	длин T до и после
29	27.07.2014	19:27:23	10	1	20	очень спокойная	спокойный фон	40–60 с
30	28.07.2014	20:06:07	16	2	350	спокойная	начало возмущения	пульс из выс. шир.
31	29.07.2014	19:08:11	11	1	40	очень спокойная	окончание возмущения	до и после
32	30.07.2014	18:09:40	8	0	30	очень спокойная	спокойный фон	20–70 с
33	31.07.2014	18:46:40	19	1	200	очень спокойная	окончание возмущения	до и после

Относительно возмущений в авроральной зоне сеансы регистрации распределены следующим образом:

- спокойный фон — 10 случаев;
- в начале возмущения — 6 случаев;
- в конце возмущения — 7 случаев;
- во время возмущения — 7 случаев;
- между возмущениями — 3 случая.

В заключение необходимо отметить следующее. Если рассматриваемое событие происходит в период длительного спокойного состояния магнитного поля Земли, то в силовых трубках геомагнитного поля концентрация частиц недостаточна для развития неустойчивости в космической плазме. И в этом

случае возбуждение геомагнитных вариаций в периоды работы двигателей «Прогресса» маловероятно, поскольку нет плазмы, способствующей распространению возмущения в магнитосферном резонаторе и его возбуждению. В период сильных магнитных возмущений в авроральной зоне в магнитосфере присутствует широкий спектр геомагнитных возмущений, не позволяющих провести регистрацию «полезных» сигналов. Совсем другая ситуация, когда эксперимент проводится после возмущений на спокойном фоне. Силовые трубки магнитного поля Земли заполнены частицами различных энергий, что позволяет ожидать положительной реакции магнитосферы на работу двигателей.

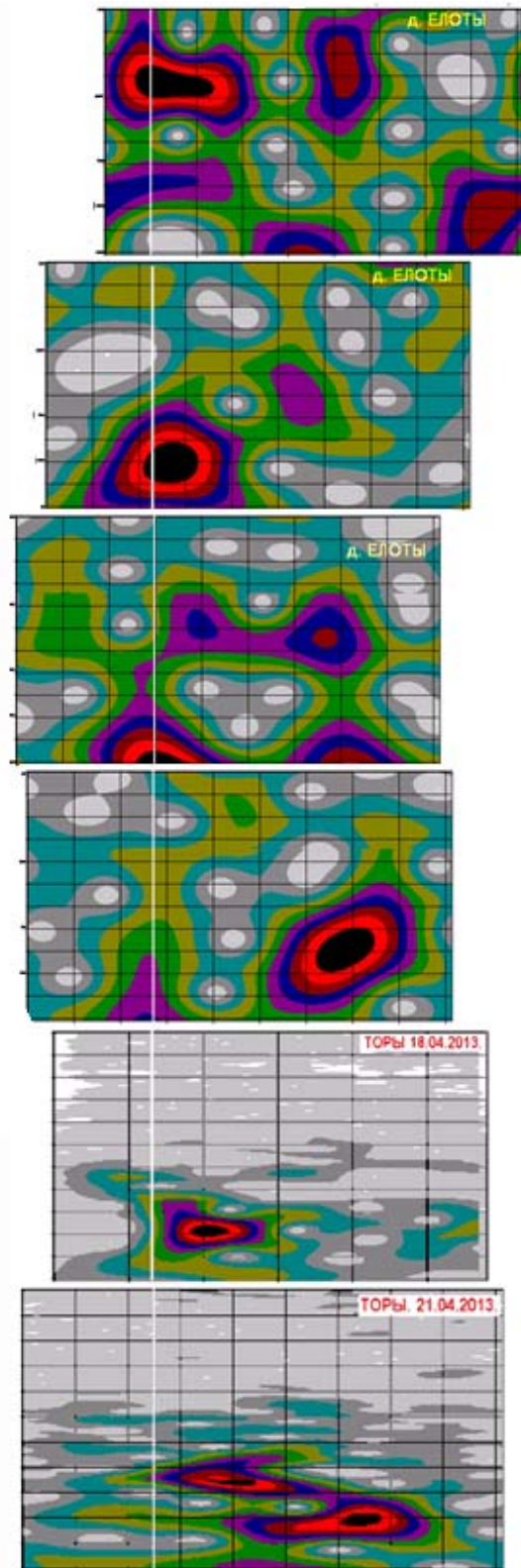


Рис. 10. Динамические спектры геомагнитных пульсаций, совмещенные по моменту начала работы СКД. Вертикальная белая линия — начало работы двигателей ТГК «Прогресс»

При подведении итогов исследований необходимо отметить, что число проведенных экспериментов явно недостаточно для уверенных выводов об обнаруженных закономерностях. Тем более что анализ литературных источников показал отсутствие исследований при такой постановке задачи. При проведении следующих экспериментов в этом

направлении необходимо, по нашему мнению, как можно точнее разместить наблюдательные средства в расчетное место проекции конца силовой трубки на поверхность Земли. Кроме того, в незначительном удалении от этой точки следует разместить аналогичный комплекс аппаратуры, поскольку эффект может быть весьма локальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дмитриев А.Н., Робертус Ю.В., Шитов А.В. К проблеме локальных геомагнитных возмущений при пусках ракет-носителей // Физические проблемы экологии (Экологическая физика). М.: МАКСПресс, 2002. № 8. С. 32–42.

Липко Ю.В., Вугмейстер Б.О., Рахматулин Р.А. Ионосферные проявления геомагнитных пульсаций в высоких широтах // Геомагнетизм и аэронавигация. 2001. № 3. С. 332–336.

Наумов Н., Никольский В., Перцев С., Руденко В. Военно-прикладные аспекты геофизических исследований за рубежом // Зарубежное военное обозрение. 2014. № 1. С. 24–31.

Рахматулин Р.А. Суббурия в геомагнитных пульсациях. Эксперименты на меридиональных цепочках станций Евразийского континента 1973–2003 гг.: автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2010. 42 с.

Рахматулин Р.А., Петровский М.А. Исследование динамических спектров высокоширотных Pi2-пульсаций // Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. М.: Наука, 1994. Вып. 103. С. 49–56.

Смирнова Н.В., Козлов С.И., Козик Е.А. Влияние запусков твердотопливных ракет на ионосферу Земли. 2. Области E, E-F // Космические исследования. 1995. Т. 33, № 2. С. 115–123.

Лебедев В.П., Хахинов В.В., Габдуллин Ф.Ф. и др. Исследование методами радиозондирования характеристик плазменного окружения низкоорбитальных космических аппаратов // Космонавтика и ракетостроение. 2008. № 1 (50). С. 51–60.

Фаткуллин Н.Н. Физика ионосферы // Итоги науки и техники. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. М.: ВИНТИ, 1982. Т. 6. 224 с.

Хахинов В.В., Потехин А.П., Лебедев В.П. и др. Радиофизические методы диагностики ионосферных возмущений, генерируемых бортовыми двигателями ТГК «Прогресс»: алгоритмы, инструменты и результаты // Российская научная конференция «Зондирование земных покровов радаром с синтезированной апертурой» (6.09–10.09.2010, Улан-Удэ): электронный сборник докладов. 2010. С. 553–569.

Khakhinov V.V., Shpynev B.G., Lebedev V.P., et al. Radiosounding of ionospheric disturbances generated by exhaust streams of the transport spacecraft “Progress” engines // PIERS Proc. Moscow, Russia, August 19–23, 2012. P. 1168–1171.

Potekhin A.P., Khakhinov V.V., Medvedev A.V., et al. Active space experiments with the use of the transport spacecraft “Progress” and Irkutsk IS Radar // PIERS Proc. Moscow, Russia, August 18–21, 2009. P. 223–227.

Rakhmatulin R.A., Pashinin A.Yu. Influence of the ionosphere on the observation of the mid-latitude Pi2 pulsations at the global scale // Chinese J. Space Sci. 2005. V. 25, N 5. P. 447–449.

URL: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/ace.html> (дата обращения 12 марта 2016 г.).

URL: <http://ipg.geospace.ru/> (дата обращения 12 марта 2016 г.).

URL: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_provisional/index.html (дата обращения 12 марта 2016 г.).

URL: <http://ipg.geospace.ru/weekly-geomagnetic-forecast.html> (дата обращения 12 марта 2016 г.).

REFERENCES

- Dmitriev A.N., Robertus Yu.V., Shitov A.V. On the problem of local geomagnetic disturbances during launches of carrier rockets. *Fizicheskie problemy ekologii (Ekologicheskaya fizika)* [Physical Problems in Ecology (Ecological Physics)]. Moscow: MAKSPress Publ. 2002, no. 8, pp. 32–42. (In Russian).
- Fatkullin N.N. Physics of the Ionosphere. *Itogi nauki i tekhniki. Geomagnetizm i vysokie sloi atmosfery* [Results in Science and Technology. Geomagnetism and high atmospheric layers]. Moscow: VINITI Publ., 1982, vol. 6, 224 p. (In Russian).
- Khakhinov V.V., Potekhin A.P., Lebedev V.P., Medvedev A.V., Kushnarev D.S., Shpynev B.G., Zarudnev V.E., Alsatkin S.S., Ratovsky K.G., Podlesny A.V., Bryn'ko I.G. Radiophysical methods of diagnostics of ionospheric disturbances generated by on-board engines of transport spacecraft "Progress": Algorithms, instruments and results. *Rossiyskaya nauchnaya konferentsiya "Zondirovanie zemnykh pokrovov radarami s sintezirovannoi aperturoi"* [National Scientific Conference Earth Surface Sounding by Radars and Synthetic Aperture]. 2010, pp. 553–569. (In Russian).
- Khakhinov V.V., Shpynev B.G., Lebedev V.P., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S., Khabituiev D.S. Radiosounding of ionospheric disturbances generated by exhaust streams of the transport spacecraft "Progress" engines. *PIERS Proc.* Moscow, Russia, August 19–23, 2012, pp. 1168–1171.
- Lipko Yu.V., Vugmeister B.O., Rakhmatulin R.A. Ionospheric manifestations of geomagnetic pulsations at high latitudes. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2001, no. 3, pp. 332–336. (In Russian).
- Naumov N., Nikolsky V., Pertsev S., Rudenko V. Military-applied aspects of geophysical research abroad. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign Military Review]. 2014, no. 1, pp. 24–31. (In Russian).
- Potekhin A.P., Khakhinov V.V., Medvedev A.V., Kushnarev D.S., Lebedev V.A., Shpynev B.G. Active space experiments with the use of the transport spacecraft "Progress" and Irkutsk IS Radar. *PIERS Proc.* Moscow, Russia, August 18–21, 2009, pp. 223–227.
- Rakhmatulin R.A. *Subburya v geomagnitnykh pulsatsiyakh. Eksperimenty na meridional'nykh tsepkakh stantsiy Evraziyskogo kontinenta 1973–2003: aforeferat diss.* [Substorm in geomagnetic pulsations. Experiments at meridional chains of Eurasia continent stations 1973–2003. Abstract of dissertation... Dr. Phys. and Math. Sci.]. 2010, 42 c. (In Russian).
- Rakhmatulin R.A., Petrovsky M.A. Research into dynamic spectra of high-latitude Pi2 pulsations. *Isslelovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa* [Research on Geomagnetism, Aeronomy and Solar Physics]. Moscow: Nauka Publ., 1994, iss. 103, pp. 49–56. (In Russian).
- Rakhmatulin R.A., Pashinin A.Yu. Influence of the ionosphere on the observation of the mid-latitude Pi2 pulsations at the global scale. *Chinese J. Space Sci.* 2005, vol. 25, no. 5, pp. 447–449.
- Smirnova N.V., Kozlov S.I., Kozik E.A. Effect of launches of solid-propellant rockets on the Earth's ionosphere 2. Regions E, E-F. *Kosmicheskie issledovaniya* [Cosmic Research]. 1995, vol. 33, no. 2, pp. 115–123. (In Russian).
- Lebedev V.P., Khakhinov V.V., Gabdullin F.F., Korsun A.G., Tverdokhlebova E.M., Laletina E.A., Manzhelei A.I., Research into characteristics of plasma surroundings of low-orbit spacecraft by radio sounding methods. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering]. 2008, no. 1 (50), pp. 51–60. (In Russian).
- URL: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/ace.html> (accessed March 12, 2016).
- URL: <http://ipg.geospace.ru/> (accessed March 12, 2016).
- URL: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_provisional/index.html (accessed March 12, 2016).
- URL: <http://ipg.geospace.ru/weekly-geomagnetic-forecast.html> (accessed March 12, 2016).