

О.И. СОКОЛОВА, В.М. КРАСНОВ

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РС1-2 ПУЛЬСАЦИЙ НА АЛМАТИНСКОМ РЕГИОНЕ

Изучены особенности поведения РС1-2 пульсаций в диапазоне периодов 3–15с по данным обсерватории «Алма-Ата» за период магнитных наблюдений с марта 2004 по февраль 2005 г. Найдена интересная особенность: возмущение геомагнитного поля «убирает» из фонового спектрального состава колебаний короткие периоды.

Важным источником информации о параметрах магнитосферы и солнечного ветра служат геомагнитные пульсации. Вместе с тем вопрос о

генерации пульсаций геомагнитного поля на сегодня остается открытым. В частности, сопоставление данных наземных и спутниковых наблю-

дений позволяет предположить, что источником пульсаций, наблюдаемых на земной поверхности, являются гидромагнитные волны в солнечном ветре [1, 2].

Взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли (рис. 1) может вызывать усиление магнитогидродинамических волн внутри магнитосферы, способствовать передаче колебаний из переходной области в магнитопаузу или возбуждать волны в самой магнитопаузе [3–5]. Нижний предел периода магнитогидродинамических волн соответствует периоду ларморовского вращения магнитосферных протонов, а верхний определяется временем распространения магнитогидродинамической волны через область замкнутых силовых линий.

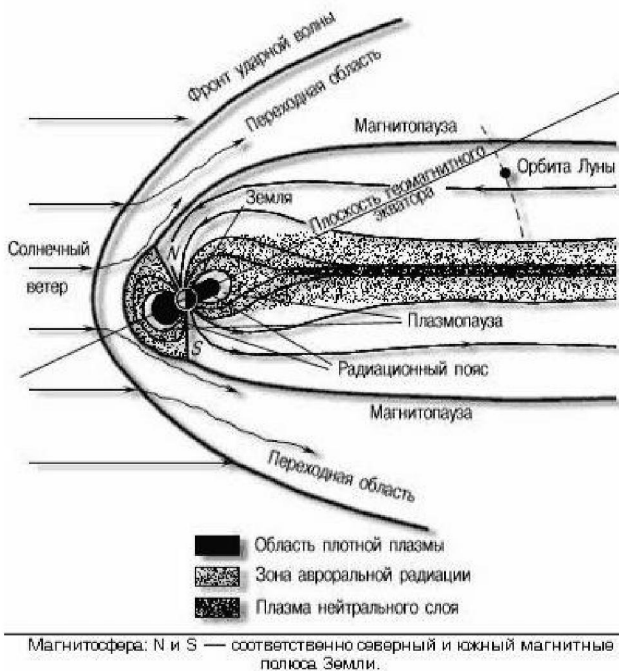


Рис. 1. Структура магнитосферы

Такие волны получили название магнитных пульсаций. Гидромагнитный резонанс стал основным элементом теории пульсаций. Источником волн могут стать также неустойчивости на границе между солнечным ветром и магнитосферой; внезапные сжатия или расширения магнитосферы; поджатие ночной стороны магнитосферы, связанное с резким изменением магнитного поля в околоземной части хвоста магнитосферы.

С 2004 г. в Геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» введено в строй новое оборудова-

ние, которое позволяет вести непрерывные автоматизированные измерения вариаций геомагнитного поля в реальном времени. Изменилась также погрешность измерения параметров геомагнитного поля. Если раньше погрешность составляла величину порядка 5–10 нТл и период дискретизации процессов составлял 3 мин, то в настоящее время погрешность измерений вариаций составляет 0,01 нТл при периоде дискретизации 1с. Это дало возможность впервые посмотреть особенности поведения пульсаций в диапазоне 3–15 с (Pc1-2) в Алматинском регионе.

Результаты экспериментальных исследований. Для выделения из общего спектрального состава короткопериодных колебаний геомагнитного поля – пульсаций Pc1-2 с периодами от 3–15 с была создана программа фильтрации. Программа позволяет выделять эти колебания без искажения амплитуды. Для проверки работоспособности алгоритма фильтрации и программ обработки через фильтр пропускались синусоиды единичной амплитуды с различными периодами. На рис. 2, а приведена зависимость коэффициента передачи фильтра (отношение сигнала выходной синусоиды к входной) от периода. Как видно, программа фильтрации хорошо выделяет колебания для интересующего нас периода времени от 3 до 15 с.

Для анализа спектрального состава Pc1-2 колебаний были разработаны алгоритм и программы расчета спектра и определения частоты (периода) пиков на спектре. Для проверки алгоритмов и программ и определения точности значений частоты пиков на спектре была подготовлена тест-программа – сгенерирована синусоида, у которой каждые две минуты частота изме-

нялась по следующему закону: $T = t_1 + 2 \cos\left(\frac{2\pi}{T_2} t\right)$,

где $t_1=8$ с, $T_2=40$ мин. В результате выражение для синусоидального сигнала имеет вид

$$a(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{T(t)} t\right).$$

График зависимости T от времени представлен на рис. 2, б. Расчеты спектра проводились последовательно по отрезку записи, равному 2 мин. Наблюдается хорошее согласие кривых, максимальная ошибка определения периода колебания не превышает 0,3 %. Таким образом,

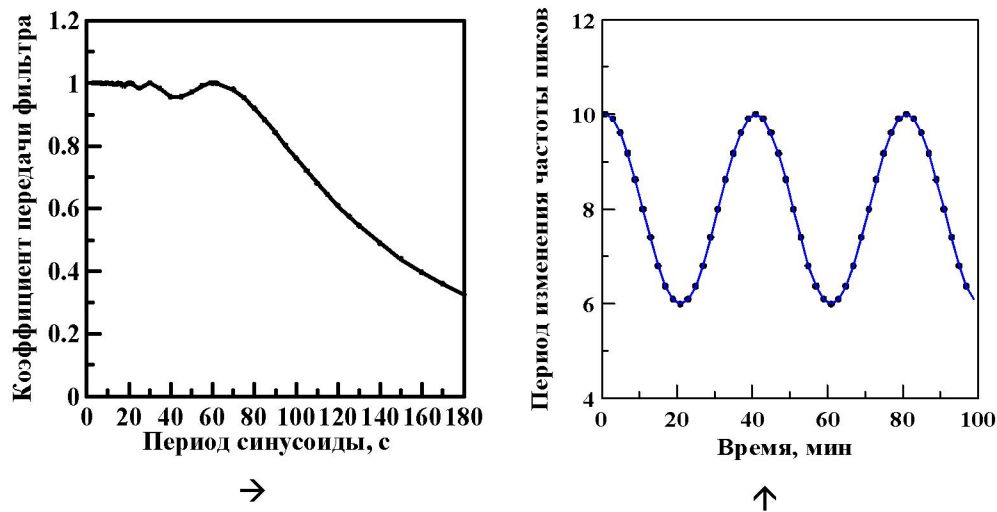


Рис. 2. Пример тестового расчета фильтрации и спектрального анализа. а – коэффициент передачи фильтра, кружки – расчетные значения; б – теоретические (сплошная линия) и расчетные (линия с кружками) периоды синусоиды

выбранная методика позволяет достаточно точно отслеживать временной ход частоты (периода) колебаний.

Для фильтрации и анализа экспериментальных данных использовались секундные значения элементов геомагнитного поля (F , D и I) за период магнитных наблюдений с марта 2004 по февраль 2005 г. на обсерватории «Алма-Ата». Программно файлы с данными фильтровались, затем рассчитывались спектры каждые 2 мин. Далее, в каждом спектре выбирались пики; определялись амплитуда и частота (период) пиков. Затем строились графики зависимости периодов пиков и амплитуды этих пиков от времени с шагом дискретизации 2 мин. Для примера на рис. 3 приведены результаты расчетов для магнитоспокойного дня 26 января 2005 г. (локальный индекс геомагнитной активности $k \leq 3$). Показаны суточные зависимости амплитуд спектральных пиков от времени (рис. 3, а–в) и суточное распределение периодов этих пиков по частоте и времени (рис. 3, г–е) для F , D , I . Амплитуды спектральных пиков *полной напряженности геомагнитного поля* F (рис. 3, а) имеют четко выраженный суточный ход и возрастают в дневное время (07–19 LT, что соответствует 01–13 UT) в среднем в 4 раза по сравнению с ночным периодом. Амплитуды спектральных пиков склонения D (рис. 3, б) также имеют четко выраженный суточный ход, и возрастают в дневное время в среднем в 4 раза. Амплитуды спектральных пиков наклонения I (рис. 3, в) имеют четко выраженный суточный ход и возрастают в дневное время в среднем в 2 раза

по сравнению с ночным периодом. Из рис. 3, г–е видно, что периоды выделенных спектральных пиков для магнитоспокойного дня распределены по частоте и времени беспорядочно для всех трех элементов геомагнитного поля, что может указывать на нерезонансную природу наблюдаемых Pc1-2 колебаний.

На рис. 4 представлены результаты расчетов для магнитовозмущенного дня 21 января 2005 г. (локальный индекс геомагнитной активности $k \geq 8$). По данным обсерватории «Алма-Ата» 21 января 2005 г. была зарегистрирована сильная геомагнитная буря в 23 ч LT (17 UT). Для этого дня индекс интенсивности кольцевых токов $Dst = -129$ нТл (по данным МЦД-С2 в Киото, Япония). При $Dst \leq -100$ нТл принято говорить о большом геомагнитном возмущении на Земле в целом. В этот день планетарная суточная эквивалентная амплитуда $A_p = 76$ нТл. По принятой международной шкале при $A_p = 70$ –99 нТл происходит большая геомагнитная буря.

На рис. 4, а–в показаны суточные зависимости амплитуд спектральных пиков от времени, а на рис. 4, г–е – суточное распределение периодов этих пиков по частоте и времени для F , D , I . Амплитуды спектральных пиков *полной напряженности геомагнитного поля* F (рис. 4, а) имеют менее выраженный суточный ход, так как присутствует возрастание амплитуд спектральных пиков и в ночное время после 23 ч LT (17 UT). Амплитуды спектральных пиков для F в ночной период сопоставимы по величине с амплитудами пиков в дневное время. Амплитуды спектраль-

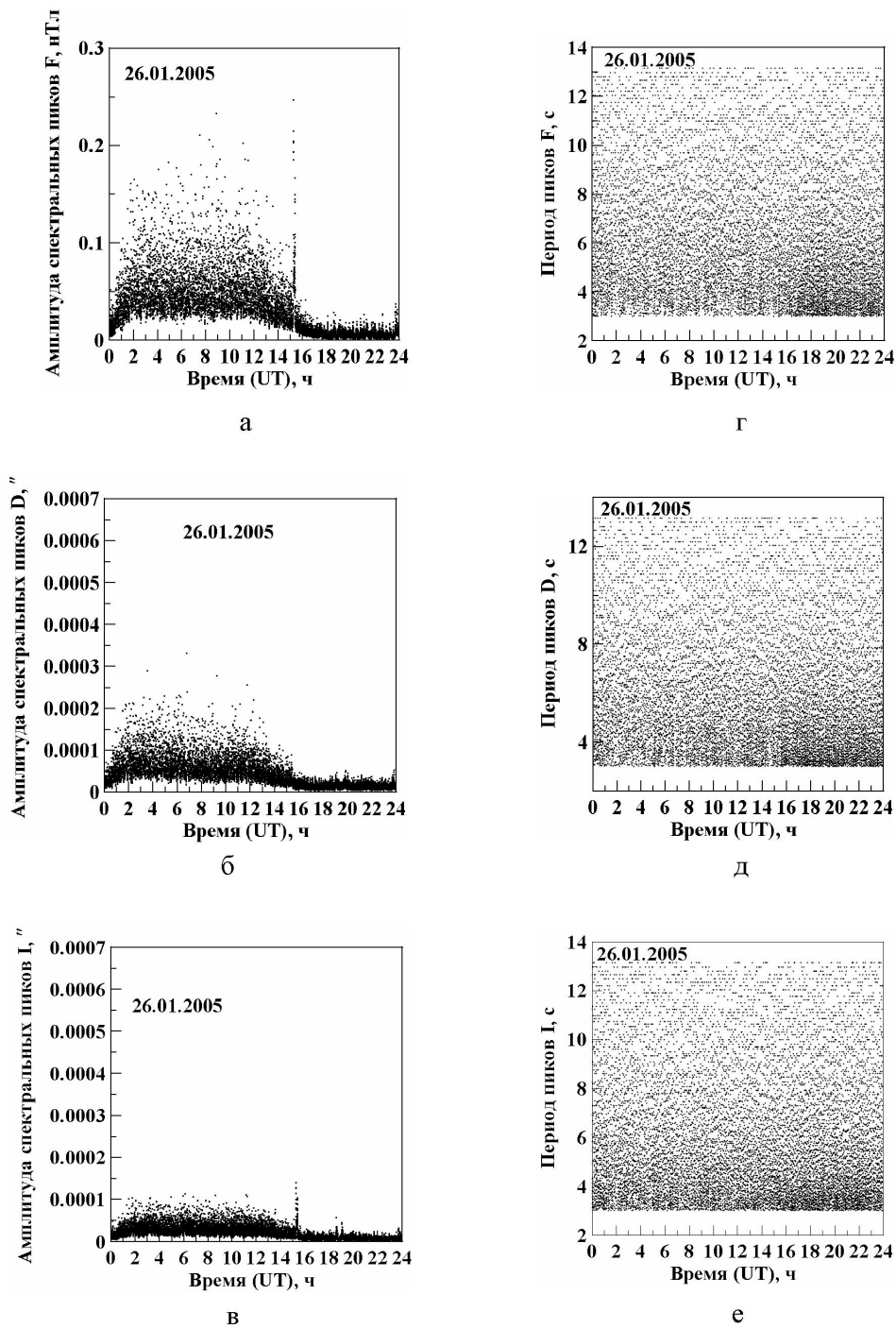


Рис. 3. Зависимость амплитуд спектральных пиков (а, б, в) и периодов этих пиков (г, д, е) от времени для магнитоспокойного дня 26 января 2005 г.

ных пиков склонения D (рис. 4, б) также возрастают в ночное время (почти в 2 раза по сравнению с амплитудами, выделенными в дневное время). Амплитуды спектральных пиков наклонения I (рис. 4, в) возрастают в ночное время в среднем в 4 раза по сравнению с дневным периодом.

Возрастание амплитуд спектральных пиков по всем трем элементам геомагнитного поля в ночное время связано с начавшимся большим возмущением геомагнитного поля. Из рис. 4, а–в видно, что больше всего изменение амплитуд спектральных пиков 21 января 2005г. проявляет-

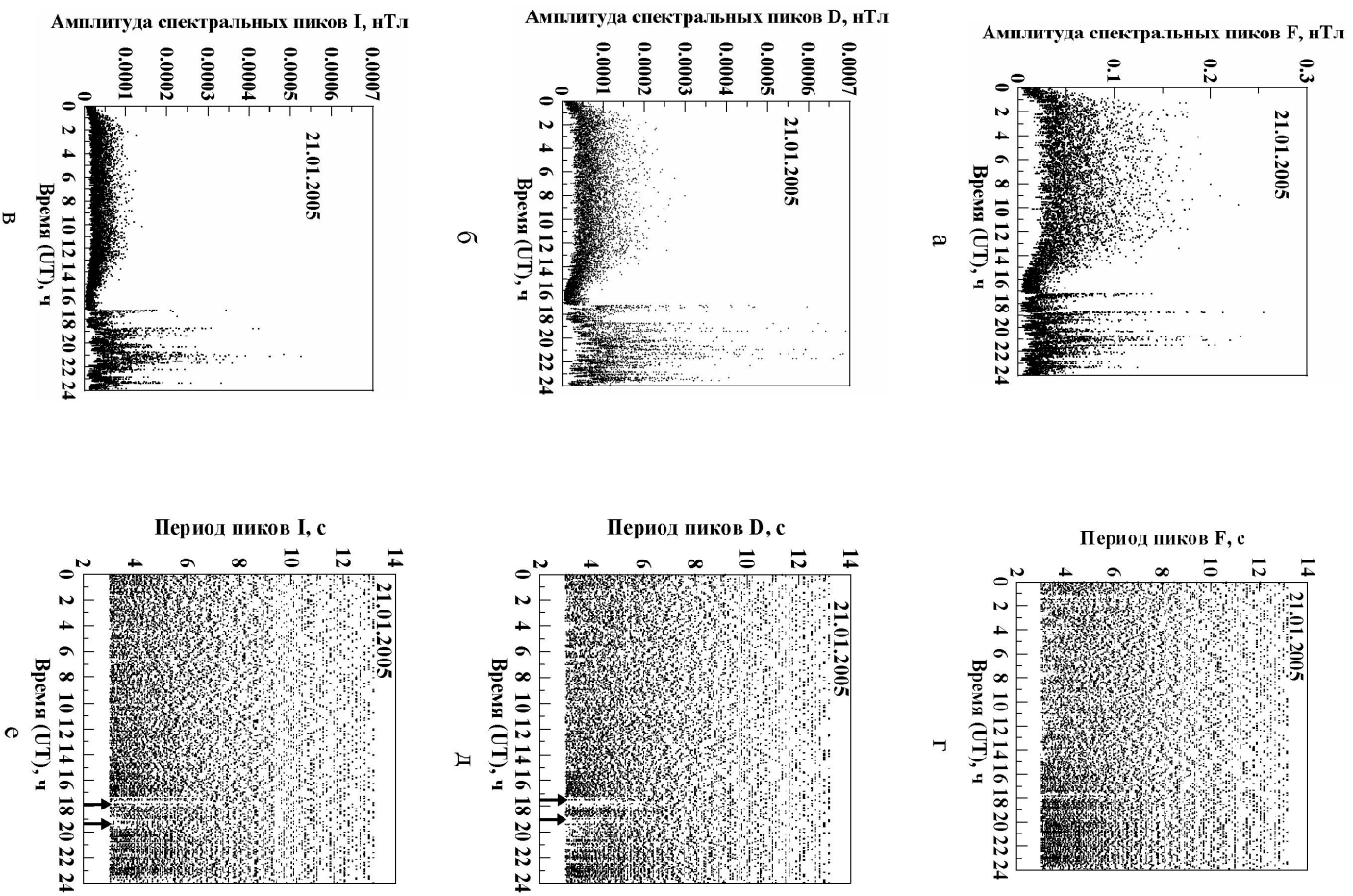


Рис. 4. Зависимость амплитуд спектральных пиков от времени (а, б, в) и распределение периодов этих пиков по частоте и времени (г, д, е) для магнитовозмущенного дня 21 января 2005 г. Стрелки — места «вымывания» участков спектра.

ся в ночной период в **D** и **I** элементах геомагнитного поля по сравнению с дневным периодом. Из рис. 4, г—е видно, что периоды выделенных спектральных пиков для возмущенного периода распределены по времени беспорядочно для всех трех элементов геомагнитного поля. Интересной

особенностью спектров является то, что на графиках для **D** и **I** после 23 ч LT (17UT) имеют место «вымывания» участков спектра, означают отсутствие спектральных пиков в некотором диапазоне коротких периодов. Это означает, что возмущение геомагнитного поля «убрало» из

фонового спектрального состава колебания коротких периодов. Анализ показал, что этим моментам времени соответствовали резкое возрастание амплитуды и периода пульсаций. Известно, что периодические всплески пульсаций являются последствиями ударного схлопывания (пересоединения) хвоста магнитосферы [3,4,6–10].

При перехлестывании силовых линий через нейтральный слой генерируются две ударные волны, которые расходятся к периферии хвоста. Отразившись от боковой поверхности хвоста, волны бегут навстречу друг другу. Столкновение волн вблизи нейтрального слоя стимулирует новое пересоединение. Регенерация ударных волн приводит к многократному повторению эффекта. К этой картине по нашим результатам необходимо добавить «вымывание» высокочастотной части колебаний и увеличение периодов.

Таким образом, для магнитоспокойных условий показано, что амплитуды спектральных пиков Pc1-2 пульсаций имеют четко выраженный суточный ход: увеличение в дневные часы – для всех трех элементов поля. В ночной период амплитуды спектральных пиков в диапазоне 3-15с D и I сопоставимы между собой. Частоты колебаний носят случайный характер, что противоречит гипотезе резонансной природы возникновения пульсаций. В периоды геомагнитных бурь обнаружена интересная особенность: возмущение геомагнитного поля «убирает» из фонового спектрального состава колебаний короткие периоды.

Работа выполнена в рамках проекта 222 (контракт № 8 от 2 марта 2006 г.) по программе фундаментальных исследований (шифр Ф.0351) по Государственному заказу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Шотт Ж.Ж., Маннинен Ю. Геомагнитные пульсации Pc5-6, вызванные подхо-

дом к Земле ведущего края межпланетного магнитного облака (19 октября 1998 г.) // Геомагнетизм и аэрномия. 2003. Т. 43. № 1. С. 50-62.

2. Козырева О.В., Клейменова Н.Г., Шотт Ж.Ж. Геомагнитные пульсации начальной фазы магнитной бури // Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т. 44, № 1. С. 37-46.

3. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы // М.: Мир, 1980. С. 221-279.

4. Троицкая В.А., Гульельми А.В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // Успехи физических наук. 1969. Т.97, вып. 3. С. 453-494.

5. Шотт Ж.-Ж., Клейменова Н.Г., Козырева О.В. Амплитуды геомагнитных пульсаций Pc3 и Pc4 вблизи проекции плазмопаузы (обс. КЕРГЕЛЕН) // Геомагнетизм и аэрномия, 2005. Т.44, № 5. С. 616-623.

6. Лазутин Л. О структуре возмущенной магнитосферы // Космические исследования. 2004. № 5.

7. Ораевский В.Н. Плазма на Земле и в космосе // Киев, 1974. С. 139-167.

8. Козловский И.В., Крымский П.Ф. Физические основания прогноза катастрофических геофизических явлений. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1993. С. 77-150.

9. Пушков Н.В. Солнечно-земные связи // Геофизика, М., 1970. С. 81-105.

10. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. С. 84-95.

Резюме

«Алматы» обсерваториясының деректері бойынша 2004 ж. наурыздың 2005 ж. ақпанына дейінгі магниттік байқаулар мерзіміндегі 3-15 кезеңдер диапазонында Pc1-2 пульсацияларының өзгеру ерекшеліктері зерттелді. Нәтижесінде мынадай айрықша ерекшелік табылды: геомагниттік өрістің ұйытқуы тербелістердің фондық спектрлік құрамынан қысқа мерзімдерді «алып тастайды».

Summary

In the paper are investigated features of behavior Pc1-2 of pulsations in a range of the periods 3-15c according to data an observatory «Alma-Ata» for the period of magnetic supervision from March, 2004 till February, 2005. Interesting feature is found: disturbance of a geomagnetic field «remove» from background spectral oscillation distribution the short periods.

*Институт ионосферы МОН РК,
г. Алматы*