

УДК 524.1-550.385

АНАЛИЗ СУТОЧНОЙ ДИНАМИКИ СПЕКТРА ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2011 г. В. М. Сомсиков, А. Б. Андреев, Б. Т. Жумабаев, О. И. Соколова

ДТОО “Институт ионосферы” АО “НЦКИТ” РК, Алматы
e-mail: vmsoms@rambler.ru

Поступила в редакцию 31.08.2009 г.
После доработки 17.05.2010 г.

Выполнен статистический анализ записей вариаций трех компонент магнитного поля Земли, полученных в г. Алматы в течение 2008 года. Установлено, что в дневное и ночное время суток наблюдается явное отличие спектров вариаций с периодами, соответствующими акустико-гравитационным волнам. Предложено объяснение этому отличию. Оно опирается на механизм изменения спектра акустико-гравитационных волн, обусловленный взаимодействием атмосферного газа с солнечной радиацией.

1. ВВЕДЕНИЕ

Все наблюдаемые изменения погоды и климата так или иначе определяются изменениями состава атмосферы и вариациями потока солнечной радиации при изменениях солнечной активности. Поэтому для создания динамической модели атмосферы необходимо изучение процессов в атмосфере Земли с учетом ее открытости и неравновесности, обусловленных влиянием на атмосферу потоков солнечной радиации. Без учета этих процессов нельзя построить эволюционную модель атмосферы, позволяющую составлять прогноз ее долгосрочного состояния, нельзя понять причины изменений погоды и климата.

В первых работах, в которых рассматривались аспекты атмосферы, обусловленные ее открытостью и неравновесностью, изучались вопросы энергетики атмосферы, обмен энтропией между атмосферой и космосом, обосновывалась необходимость исследовать атмосферу с позиций неравновесной термодинамики [Смирнов, 1975; Essex С., 1986; Изаков, 1997; Сомсиков, 2001]. Эти работы привели к пониманию того, что для описания эволюционных изменений в атмосфере ее следует рассматривать как двухкомпонентную среду, состоящую из газа и взаимодействующей с ней приходящей от Солнца и уходящей от Земли в космос радиации [Сомсиков и Безотосный, 1994; Сомсиков и др., 2004].

То, что динамические характеристики атмосферы существенным образом зависят от факторов радиации и ее изменения, было установлено в результате теоретических и численных расчетов спектров собственных колебаний параметров атмосферы при ее разной освещенности, путем решения самосогласованных уравнений неравновесной термодинамики для системы газ–радиа-

ция. В результате было получено [Сомсиков и др., 2004; Антонова и др., 2006], что из-за энергетического взаимодействия потока радиации и атмосферного газа спектр собственных колебаний атмосферы должен существенно сдвигаться в высокочастотную область при увеличении потока солнечной радиации.

Результаты теоретических расчетов спектров возмущений атмосферы для различной освещенности нашли свое подтверждение при их сопоставлении с наблюдаемыми спектрами возмущений давления атмосферы, возмущениями электронной концентрации в ионосфере и вариациями интенсивности космических лучей [Антонова и др., 2006]. Все это послужило аргументом в пользу необходимости дальнейших исследований атмосферы, как неравновесной системы атмосферного газа и потока поглощаемой им радиации.

В качестве следующего шага на пути изучения влияния неравновесных эффектов на спектр возмущений атмосферных параметров, обусловленных взаимодействием радиации и атмосферного газа, в данной работе изучаются вариации магнитного поля Земли. Поскольку вариации геомагнитного поля связаны с динамическими процессами в ионосфере и магнитосфере, то не исключена их корреляция с поведением спектров акустико-гравитационных волн.

Цель данных исследований – выявить, каким образом неравновесность атмосферы, обусловленная ее взаимодействием с солнечной радиацией, может проявляться в вариациях геомагнитного поля.

Для этого была выполнена статистическая обработка записей вариаций трех компонент геомагнитного поля, полученных в г. Алматы в тече-

ние 2008 г. с целью выявления отличительных особенностей этих вариаций в дневные и ночные периоды суток и в разные сезоны года.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Для выяснения отличительных особенностей проявления неравновесности атмосферы на поведение геомагнитного поля в дневные и ночные периоды суток, в качестве экспериментальных данных нами использовались 1-мин записи трех компонент геомагнитного поля, полученные на геомагнитной обсерватории “Алма-Ата” (43.25° N, 76.95° E) в 2008 году. Регистрация выполнялась с помощью трехкомпонентного феррозондового магнитометра LEM1-008. Этот период наблюдений является относительно магнитоспокойным, что исключало необходимость учета влияния факторов, обусловленных магнитными бурями. Методика обработки данных определялась целью задачи: выявить регулярные особенности поведения спектра вариаций геомагнитного поля в разные периоды суток и для разных сезонов года. Это давало возможность определить зависимость спектра возмущений от степени освещенности атмосферы Солнцем.

Спектральный анализ геомагнитных данных проводился методом оконного преобразования Фурье, по алгоритму БПФ. Ширина прямоугольного окна составляла 256 минут для магнитных данных (256 точек). Сдвиг окна составлял одну точку. Одна точка соответствовала одной минуте. Так рассчитывались спектры возмущений магнитных записей для всего интервала имеющихся данных.

Спектрограммы рассчитывались для каждого дня для последовательных интервалов времени. С целью выявления суточных закономерностей поведения спектров, проводилось сложение спектров за идентичный период времени в различные сутки наблюдений. Для определения сезонных отличий сопоставлялись спектры в летние и зимние периоды года.

В результате были получены усредненные спектрограммы за определенное количество дней. Аналогичным образом получались усредненные спектры геомагнитных вариаций за различные месяцы и различные сезоны года.

3. ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Динамические процессы в атмосфере сложным образом связаны с вариациями геомагнитного поля. Особенно это проявляется на ионосферных и магнитосферных высотах, где магнитное поле обуславливает анизотропию потоков ионосферной плазмы. На эту зависимость также

сложным образом накладываются изменения внешних по отношению к Земле факторов. К таким факторам можно отнести вариации космической погоды в магнитосфере Земли. Поэтому, наблюдая вариации геомагнитного поля, можно следить за состоянием всех слоев атмосферы с учетом ее открытости, начиная от поверхности Земли и кончая магнитосферой.

В настоящее время накоплен огромный объем наблюдений вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот от 0.001 до 5 Гц. Геомагнитные пульсации, регистрируемые на земной поверхности многообразны, отличаются по частотным и морфологическим характеристикам, а также пространственно-временной динамике и механизмам генерации. Параметры геомагнитных пульсаций определяются как особенностями возбуждения волн, так и условиями их распространения в магнитосфере и ионосфере Земли. Наиболее полное состояние их исследований изложено в монографиях [Гульельми и Троицкая, 1973; Пудовкин и др., 1976; Молчанов, 1985], а также в работе [Большакова и др., 1995].

Здесь нас будут интересовать только те геомагнитные пульсации, которые соответствуют собственным частотам атмосферы – акустико-гравитационным волнам. Это позволит установить существование корреляционных связей радиационных поправок в спектре акустико-гравитационных волн с вариациями геомагнитного поля. Поэтому обработка данных регистрации геомагнитного поля выполнялась, исходя из необходимости выявления различия спектра возмущений для разных уровней освещенности атмосферы.

Ниже остановимся на установленных статистическим образом закономерностях в поведении спектра возмущений геомагнитного поля. На рис. 1 и 2 представлены результаты спектральной обработки X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля за летние и зимние периоды 2008 года. Усреднение спектра вариаций геомагнитного поля за идентичные периоды времени в течение одного месяца показали, что для всех трех компонент геомагнитного поля наблюдается увеличение амплитуд возмущений в дневные часы суток. Особенно ярко эта тенденция заметна в летние месяцы (рис. 1). Для зимних периодов времени тенденция усиления возмущений геомагнитного поля в дневное время менее ярко выражена (рис. 2).

Обращает на себя внимание и общая для всех компонент тенденция увеличения амплитуд возмущений в дневные часы суток для летних месяцев. При этом в спектре возмущений появляются более высокочастотные гармоники, чем в ночные часы суток. Рост возмущений спектра всех компонент геомагнитного поля, как правило, начинается после восхода. Такая закономерность совпадает с выводами [Молчанов, 1985] и результата-

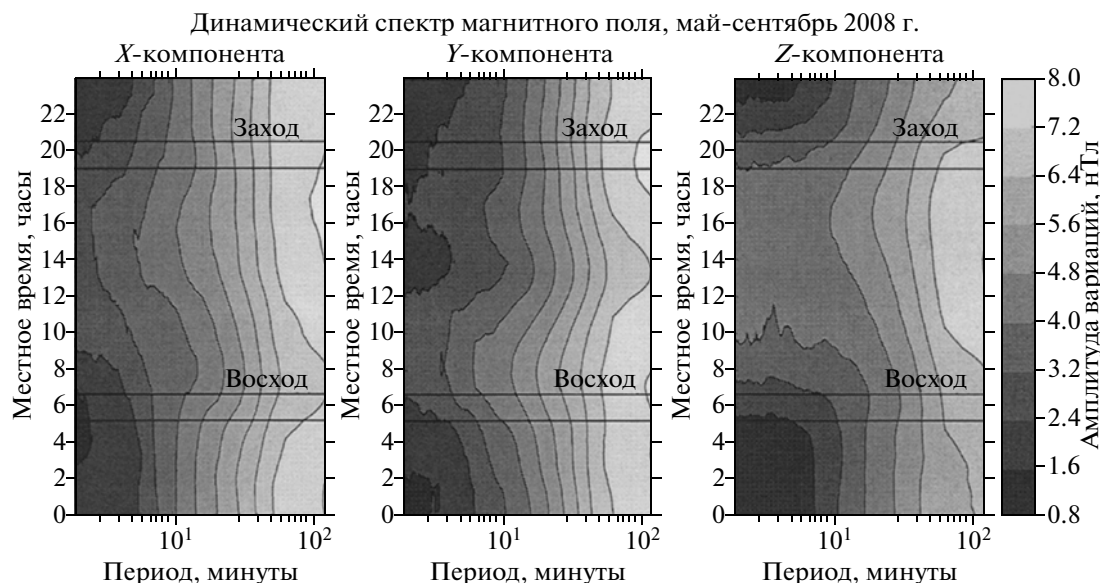


Рис. 1. Суточное поведение динамических спектров X -, Y - и Z -компонент геомагнитного поля, полученное путем усреднения спектров за период с 1 мая по 30 сентября 2008 г. Периоды восхода и захода выделены параллельными прямыми.

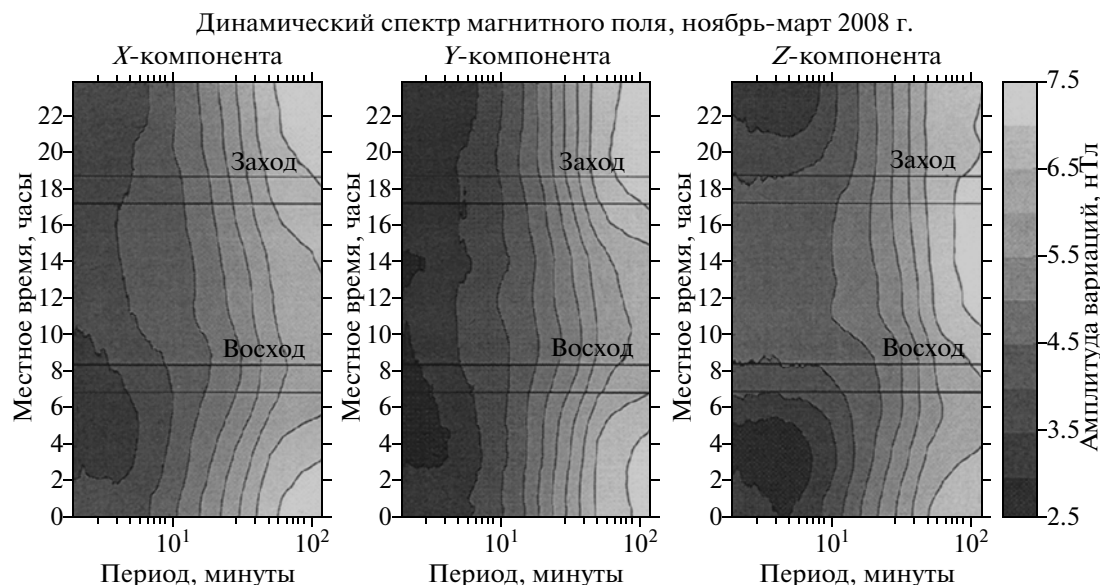


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но за период с 1 ноября по 30 марта 2008 г. Периоды восхода и захода выделены параллельными прямыми.

ми обработки данных давления в атмосфере, приведенными в работе [Сомсиков и др., 2004].

Для летних месяцев в дневное время на спектрограммах X и Y компонент геомагнитного поля наблюдается увеличение короткопериодной составляющей, с периодами менее 20 мин, а для Z -компоненты увеличение наблюдается на всем анализируемом диапазоне периодов (от 2 мин до 4 ч).

Характерно, что для X - и Z -компонент увеличение высокочастотной составляющей спектра

наблюдается в послеполуденные часы суток, в 16–17 LT, тогда как для Y компоненты, как правило, увеличение амплитуды наблюдается сразу после восхода и спадает к полудню. Для зимних месяцев тенденция увеличения короткопериодных составляющих заметна только для Z -компоненты.

В ночное время для всех компонент геомагнитного поля наблюдается сдвиг спектра вариаций в длиннопериодную область, с периодами более 50 мин. Пульсации такого вида имеют мак-

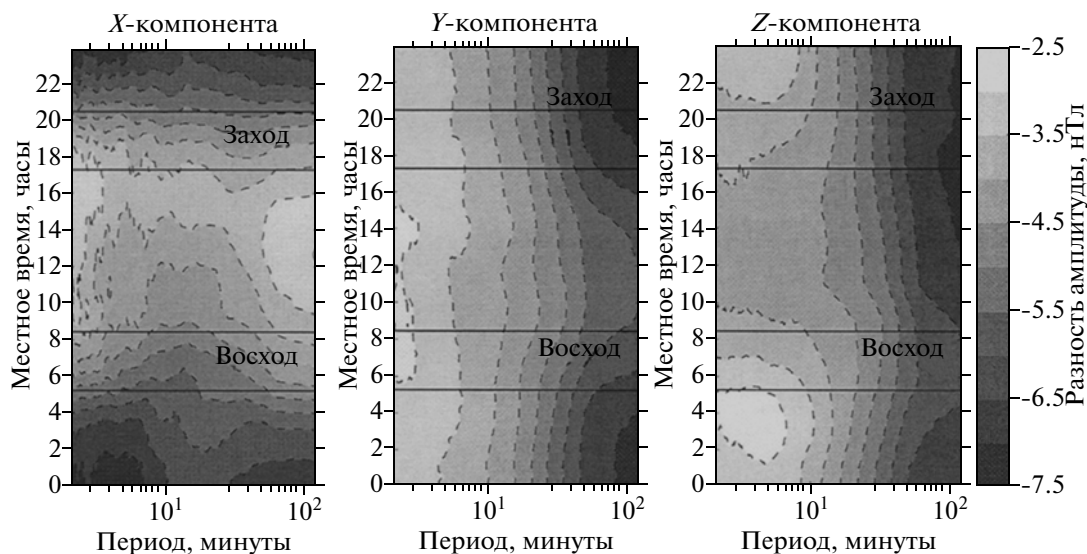


Рис. 3. Суточное поведение разности летних и зимних средних спектров X -, Y - и Z -компонент геомагнитного поля.

симальную амплитуду в зимние месяцы, и едва заметны в летние периоды наблюдений.

На рис. 3 представлена разность летней и зимней спектрограмм. Согласно этому рисунку в летнее время, в особенности в дневное время, на всех трех компонентах геомагнитного поля проявляется усиление высокочастотной составляющей гармоник. Причем в X -компоненте усиление наблюдается днем на всем исследуемом диапазоне периодов возмущения, в то время как в Y - и Z -компонентах существенное усиление происходит для высокочастотных гармоник. Это подтверждает отмеченную выше общую тенденцию изменения спектра вариаций геомагнитного поля в зависимости от освещенности атмосферы.

Отмеченные закономерности соответствуют выводам работ [Сомсиков, 2001; Сомсиков и Безотосный, 1994; Сомсиков и др., 2004; Антонова и др., 2006]. Согласно этим работам спектр акустико-гравитационных волн, определяющих волновые процессы до высот, включая ионосферные высоты, должен сдвигаться в дневные часы в высокочастотную область. Природа такого сдвига связывается с изменением собственных частот колебаний атмосферного газа из-за неравномерности атмосферы, обусловленной ее взаимодействием с солнечной радиацией.

Усиление высокочастотных составляющих в период восхода Солнца можно объяснить генерацией акустико-гравитационных волн солнечным терминатором [Сомсиков, 1983; Afraimovich, 2008; Носке, 2002; Somsikov, 1995]. Такое объяснение хорошо согласуется и с тем фактом, что эффекты сдвига спектра в высокочастотную область с восходом Солнца особенно хорошо проявляются в возмущениях Z -компоненты геомагнитного

поля, обусловленных горизонтальными потоками плазмы.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечислим закономерности в поведении спектров возмущений, которые выявлены в результате анализа данных статистической обработки спектров магнитного поля Земли, полученных в г. Алматы за различные периоды суток и в различные сезоны.

Для вариации всех трех компонент геомагнитного поля наблюдается увеличение амплитуд возмущений в дневные часы суток. Особенно ярко эта тенденция заметна летом. Кроме того, наблюдается общая тенденция усиления гармоник в периоды прохождения Солнечного терминатора. Это, скорее всего, связано с генерацией возмущений акустико-гравитационных волн в ионосфере во время прохождения Солнечного терминатора.

Таким образом, статистическая обработка данных вариаций геомагнитного поля в освещенные и неосвещенные периоды суток свидетельствует о существовании асимметрии спектров волновых возмущений в вариациях геомагнитного поля. Эта асимметрия на качественном уровне хорошо согласуется с поведением спектра для неравномерной атмосферы, обусловленным обменом энергией между атмосферным газом и радиацией.

В целом полученные результаты позволяют сделать вывод о тенденции усиления активности волновых возмущений геомагнитного поля и сдвига их спектра в высокочастотную область на ионосферных высотах с ростом освещенности атмосферы.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований по Государственному заказу (заказчик Министерство Образования и Науки Республики Казахстан).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонова В.П., Дунгенбаева К.Е., Зализовский А., Инчин А., Крюков С., Сомсиков В.М., Ямпольский Ю.М. Отличие спектров акустико-гравитационных волн в дневные и ночные часы, обусловленные неравновесными эффектами в атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 46. № 1. С. 106–114. 2006.
- Большакова О.В., Боровкова О.К., Троицкая В.А., Клейменова Н.Г. Интенсификация геомагнитных пульсаций $Pc4$ в условиях спокойной магнитосферы // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 35. № 3. С. 143–145. 1995.
- Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973.
- Изаков М.Н. Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах // Успехи физических наук. Т. 167. № 10. С. 1087–1094. 1997.
- Молчанов О.А. Низкочастотные волны и индуцированные излучения в околоземной плазме. М.: Наука, 1985.
- Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Часть 2. Короткопериодные колебания геомагнитного поля. Л.: ЛГУ, 1976.
- Смирнов Б.М. Экологические проблемы атмосферы Земли // Успехи физических наук. Т. 117. № 2. С. 313–332. 1975.
- Сомсиков В.М. Гидродинамическое описание атмосферы, как открытой неравновесной системы // Проблемы эволюции открытых систем. № 3. С. 44–49. Алматы. 2001.
- Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамика атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1983.
- Сомсиков В.М., Безотосный А.А. Анализ суточной зависимости ионосферных возмущений, методами неравновесной динамики // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 34. № 2. С. 173–178. 1994.
- Сомсиков В.М., Гангули Б., Дунгенбаева К.Е. Акустико-гравитационные волны в неравновесной атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 44. № 3. С. 407–411. 2004.
- Afraimovich E.L. First GPS-TEC evidence for the wave structure excited by the solar terminator // LETTER Earth Planets Space. 60. P. 895–900. 2008.
- Essex C. Radiation and irreversible thermodynamics of climate // J. Atmos. sciences. V. 41. № 12. P. 1985–1991. 1986.
- Hocke K., Igarashi K. Electron density in the F region derived from GPS/MET radio occultation data and comparison with IRI Earth // Planets and Space. V. 54. P. 947–954. 2002.
- Somsikov V.M. On mechanisms of formation of atmospheric inhomogeneties in the solar terminator region // J. Atmos. Terr. Phys. V. 57. № 1. P. 75–83. 1995.