

УДК 550.34, 550.38

## ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МАГНИТОСФЕРА–ТЕХНОСФЕРА–ЛИТОСФЕРА

<sup>1</sup>О.Д. Зотов, <sup>2</sup>А.В. Гульельми

## PROBLEMS OF SYNCHRONISM OF ELECTROMAGNETIC AND SEISMIC EVENTS IN THE MAGNETOSPHERE–TECHNOSPHERE–LITHOSPHERE DYNAMIC SYSTEM

<sup>1</sup>O.D. Zotov, <sup>2</sup>A.V. Guglielmi

Статья посвящена проблемам антропогенного воздействия на магнитосферу и литосферу. Воздействия такого рода относительно невелики, но они представляют существенный интерес как для физики солнечно-земных связей, так и для сейсмологии. Цель данной публикации состоит в том, чтобы привлечь внимание геофизиков к трудным вопросам, связанным с интерпретацией эффектов выходных дней и часовых меток, которые проявляются в недельной и 15-минутной модуляции магнитосферных колебаний Pc1 и землетрясений. Приведены основные сведения об эффектах выходных дней и часовых меток. Особое внимание уделено поиску периодичностей, которые присущи работе технологических систем и могут быть ответственны за упомянутые здесь эффекты. Методом синхронного детектирования проанализированы длинные ряды наблюдений, содержащиеся в каталогах Pc1 и землетрясений, а также в каталогах данных об электрической мощности, потребляемой крупным промышленным регионом, и молниевых разрядах. Впервые выделены скрытые периодичности индустриальной активности, которые могут быть ответственны за эффекты выходных дней и часовых меток. Основной вывод состоит в том, что заметное воздействие техносферы на магнитосферу и литосферу существует и поддается анализу методом синхронного детектирования. Однако вопрос о конкретных механизмах такого воздействия остается открытым.

The study deals with problems of the anthropogenic effect on the magnetosphere and lithosphere. These effects are not so significant but they are of great interest both for solar-terrestrial physics and for seismology. The purpose of the study is to attract attention of geophysicists to complicated problems of interpretation of the weekend and hour-mark effects which can be detected in weekly and 15-minute modulation of Pc1 magnetospheric oscillations and earthquakes. Basic information of the weekend and hour-mark effects is presented. A special attention is given to search for periodicities attributed to operation of technological systems. It is assumed that these periodicities may be responsible for the effects mentioned above. We have analyzed long data sets taken from Pc1 and earthquake catalogues, as well as catalogues on electric power consumed by large industrial region and on lightning discharges. It is the first time hidden periodicities in industrial activity which probably cause the weekend and hour-mark effects have been determined. The main conclusion is that technosphere action on the magnetosphere and lithosphere is evident and can be analyzed by the synchronous detection method. The question of specific mechanisms of such action remains open.

### 1. Введение

В последнее время привлекает к себе внимание проблема взаимосвязей в динамической системе магнитосфера–техносфера–литосфера [Ахмедов, Куницын, 2004; Зотов, 2007; Гульельми, 2007; Guglielmi, Zotov, 2007, 2008; Довбня, Зотов, Щепетнов, 2008; Bortnik et al., 2008; Потапов и др., 2008; Guglielmi, 2008; Зотов, Гульельми, 2009; Zotov, Guglielmi, 2010] (см. также более ранние публикации [Гульельми и др., 1978; Helliwell, 1978; Park, Helliwell, 1978; Bullough, Kaiser, 1978; Зотов, Калишер, 1979; Fraser-Smith, 1979, 1981; Гульельми и др., 1983, 1985; Menk, 1985; Гульельми, Зотов, 1986]). Две особенности присущи данному направлению исследований. Во-первых, гипотеза о нетривиальном воздействии техносферы на магнитосферу и литосферу возникла под сильным давлением фактов. Во-вторых, эти факты были обнаружены и постепенно накоплены в ходе обычных плановых экспериментальных исследований.

Приведем конкретный пример. Производилось рутинное исследование воздействия секторной структуры межпланетного магнитного поля на колебания магнитосферы Земли. При обычной 4-секторной структуре межпланетного поля с учетом синодического периода вращения Солнца ожидается 7-дневная квазипериодичность волновой активности магнитосферы. Такая модуляция была обнаружена, но при этом

наблюдался вызывающий удивление факт: максимум недельного цикла колебаний магнитосферы в диапазоне Pc1 (0.2–5 Гц) пришелся на выходные дни. Тщательное исследование «эффекта выходных дней» методом синхронного детектирования позволило надежно выделить признаки человеческого воздействия не только на колебательный режим космической плазмы [Guglielmi, Zotov, 2007], но также и на сейсмическую активность [Зотов, 2007]. Помимо эффекта выходных дней наблюдается и так называемый «эффект часовых меток», который проявляется в 15-минутной периодичности колебаний Pc1 и землетрясений. Он, безусловно, также имеет антропогенное происхождение.

Итак, наша работа посвящена исследованию воздействия техносферы на магнитосферу и литосферу. Воздействия такого рода относительно невелики, но они представляют существенный интерес как для физики солнечно-земных связей, так и для сейсмологии. Цель данной публикации состоит в том, чтобы привлечь внимание геофизиков к трудным проблемам, связанным с интерпретацией указанных выше необычных эффектов. В разделе 2 кратко описаны исходные данные и метод исследования. В разделе 3 приводятся основные сведения об эффектах выходных дней и часовых меток, а в разделе 4 обсуждаются периодичности, присущие работе технологических систем. Краткая характеристика общего состояния исследований в данной области дается в разделе 5.

## 2. Исходные данные и метод анализа

Для поиска эффектов синхронизма в динамической системе магнитосфера–техносфера–литосфера мы использовали длинные ряды наблюдений, содержащиеся в следующих каталогах:

1. Каталог колебаний Pc1, зарегистрированных в обс. Борок (58.03° N, 38.97° E). Каталог составлен Э.Т. Матвеевой и представлен на [http://www.wdcb.ru/stp/data/catal\\_pc](http://www.wdcb.ru/stp/data/catal_pc).

2. Каталог колебаний Pc1, зарегистрированных в Саянской солнечной обсерватории (ССО) (51.6° N, 100.9° E). Каталог составлен В.Н. Виноградовой. Он публиковался частями в ряде выпусков сборника «Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца». Полный каталог в электронной форме любезно предоставлен нам А.С. Потаповым и Т.Н. Полюшкиной.

3. Каталог землетрясений Международного сейсмологического центра (ISC), <http://www.isc.ac.uk>.

4. Каталог землетрясений Национального информационного центра геологической службы США (USGS/NEIC), [http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic\\_global.html](http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html).

5. Каталог данных о мгновенной нагрузке (потребляемой электрической мощности) в штате Нью-Йорк, США, [http://www.nyiso.com/public/market\\_data/load\\_data/rt\\_actual\\_load.jsp](http://www.nyiso.com/public/market_data/load_data/rt_actual_load.jsp).

6. Каталог молниевых разрядов, зарегистрированных системой LDAR Космического центра им. Кеннеди (мыс Канаверал, 28.5° N, 80.6° W), <http://ghrc.nsstc.nasa.gov/hydro>.

Анализ каталогов производился методом синхронного детектирования, который представляет собой один из вариантов метода наложения эпох. Этот метод является весьма эффективным способом выделения слабого периодического сигнала на фоне шумов (см., например, работы [Зотов, 2007; Guglielmi, Zotov, 2007], в которых описано применение метода синхронного детектирования для поиска эффекта выходных дней). Достоверность результатов анализа оценивалась стандартными методами статистической проверки гипотез (см., например, [Морс, Кимбелл, 1956; Хикс, 1967; Четыркин, Калихман, 1982]).

## 3. Эффекты синхронизма

### 3.1. Эффект выходных дней

Рассмотрим вначале эффект выходных дней в активности геоэлектромагнитных волн Pc1, которые зарождаются в магнитосфере и наблюдаются на земной поверхности в диапазоне 0.2–5 Гц. Эффект состоит в том, что активность Pc1 испытывает скрытую недельную периодичность с максимумом в воскресенье. На основании повседневного опыта принято считать, что эффект такого рода достаточно убедительно свидетельствует о синхронизирующем влиянии человеческой деятельности на естественный геофизический процесс. Эффект был обнаружен в работе [Fraser-Smith, 1979] по данным непрерывного наблюдения Pc1 в течение 12 лет в окрестности Сан-Франциско. В литературе высказывалось сомнение в реальности эффекта выходных дней. Поэтому мы предприняли независимую проверку по данным непрерывной регистрации Pc1 в течение 35 лет на обсерватории Борок ИФЗ РАН [Guglielmi, Zotov, 2007].

Согласно каталогу [Матвеева, 1996], с 1958 по 1992 г. было зарегистрировано 15000 серий Pc1 общей продолжительностью 14500 ч (напомним, что Pc1 наблюдаются сериями продолжительностью в среднем около одного часа). В качестве суточной меры активности Pc1 была выбрана продолжительность колебаний в часах. Проведен анализ каталога методом синхронного детектирования. Один из результатов анализа показан на рис. 1 (верхняя кривая). Отчетливо видны три недельных цикла, причем максимумы активности Pc1 приходятся на выходные дни. Глубина семидневной модуляции составляет 10–12 %. Статистическая достоверность эффекта и его антропогенная природа не вызывают сомнения (подробнее об этом см. в [Guglielmi, Zotov, 2007]). Высказывалась гипотеза о том, что воздействие на ионосферу электромагнитных и/или акустических шумов индустриального происхождения подавляет активность Pc1 в рабочие дни недели [Guglielmi, Zotov, 2008], однако конкретный механизм такого воздействия пока не известен.

Обратимся теперь к эффекту выходных дней в глобальной сейсмической активности. Он был обнаружен при анализе каталогов землетрясений также методом синхронного детектирования [Зотов, 2007]. Рисунок 1 (нижняя кривая, левая шкала) поясняет сущность эффекта. Здесь суточной мерой сейсмичности служит количество землетрясений с магнитудами  $M \leq 5.5$  по данным каталога Международного сейсмологического центра (ISC), в котором описано примерно 1800000 землетрясений, зарегистрированных в период с 1964 по 2003 г., включая землетрясения с неопределенной магнитудой. Мы видим, что метод синхронного детектирования позволил выявить скрытую семидневную периодичность в глобальной сейсмической активности. Обратим внимание на подобие недельных циклов антропогенного воздействия на магнитосферу и литосферу. Максимум семидневной вариации числа землетрясений с магнитудой  $M \leq 5.5$  приходится на воскресенье. Относительная амплитуда вариации составляет примерно 5 %. Более подробное описание эффекта выходных

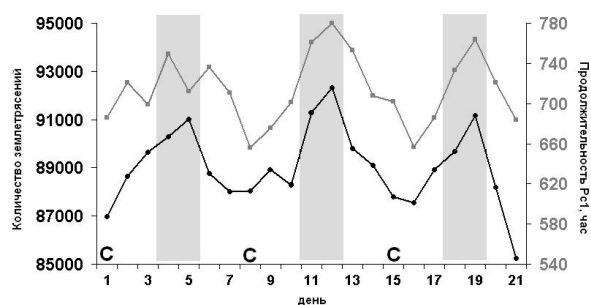


Рис. 1. Недельные циклы активности магнитосферных волн Pc1 (верхняя кривая, правая шкала) и глобальной сейсмической активности (нижняя кривая, левая шкала). Мерой активности Pc1 служит продолжительность колебаний в часах, а мерой сейсмической активности – количество землетрясений с магнитудами  $M \leq 5.5$ . Символ «С» означает среду. Вертикальными полосками отмечены выходные дни (суббота и воскресенье). Число трехнедельных интервалов, использованных для накопления, составляет 600 для Pc1 и 700 для землетрясений.

дней в сейсмической активности содержится в работе [Зотов, 2007]. Существование данного эффекта приводит к еще одной сложной проблеме поиска механизмов антропогенного воздействия на геосферы.

### 3.2. Эффект часовых меток

Перейдем к описанию так называемого эффекта часовых меток в активности естественных электромагнитных колебаний Pc1 [Гульельми и др., 1978; Зотов, Калишер, 1979]. Следует сказать, что в настоящее время еще нет общепринятого названия этого эффекта. Ранее предлагались также и другие названия («эффект синхронизации Pc1 курантами», «Big Ben effect», «clock pulse effect», «chime effect», «clock on/off effect» и т. п.), но ни одно из них пока не стало употребительным.

Эффект часовых меток был обнаружен случайно, в отличие от эффекта выходных дней, существование которого можно было в какой-то мере предвидеть. Рисунок 2 дает представление о морфологии эффекта. Здесь показан динамический спектр колебаний, зарегистрированных в obs. Борок 12 мая 1975 г. Серия колебаний началась в полосе частот 0.8–1.0 Гц сразу вслед за часовой меткой 01:00 UT. При взгляде на этот и другие рисунки такого рода (часть из них приведена в монографии [Гульельми, 1979] и в статьях [Довбня и др., 2008; Гульельми и др., 1978]) трудно избавиться от впечатления, что «бой часов» самым парадоксальным образом стимулирует возбуждение Pc1.

Укажем на ряд важных свойств эффекта. Было замечено, что иногда вслед за появлением часовой метки происходит внезапное прекращение колебаний. Синхронизация начал и окончаний Pc1 с часовыми метками наблюдается нечасто, но она настолько выражена, что трудно поверить в простые совпадения. Эффект наблюдался также на 15-, 30- и 45-й минуте часа. На основании этого можно предположить существование скрытой 15-минутной периодичности в режиме возбуждения и/или распространения волн Pc1. В дополнение нелишне сказать, что эффект, по-видимому, можно наблюдать повсеместно. Он был отмечен в среднеширотных обсерваториях Борок и ССО, а также на высокоширотных обсерваториях Тикси, Колледж, Соданкюля и Восток.

Для статистического исследования эффекта часовых меток мы обработали данные obs. Борок (см. раз-

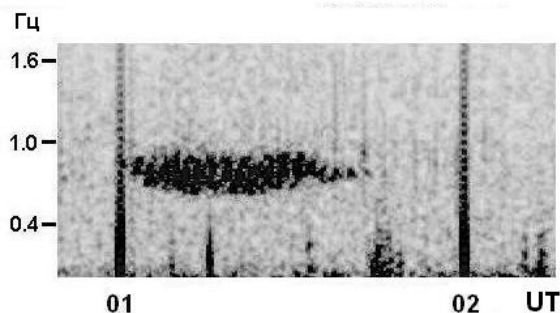


Рис. 2. Динамический спектр колебаний Pc1, зарегистрированных в обсерватории Борок 12.05.1975 г.

дел 2) – 15000 серий Pc1, зарегистрированных с 1958 по 1992 г. Методом наложенных эпох показано наличие 15-минутной модуляции активности Pc1. В качестве меры активности принято число событий в данную минуту 15-минутного интервала, причем событием считается начало серии колебаний Pc1. На рис. 3 представлена зависимость числа событий от времени в пределах 15-минутного интервала, начинающегося в 0, 15, 30 и 45 мин каждого часа. Вероятная среднеквадратичная ошибка оценки числа событий в каждую минуту изменяется от  $\pm 33$  в начале до  $\pm 31$  в конце интервала (методику расчета среднеквадратичной ошибки при оценке числа событий см., например, в [Морс, Кимбелл, 1956]). Линейная корреляция между экспериментальными точками весьма тесная:  $r = -0.82 \pm 0.09$ . Коэффициент модуляции, т. е. относительная глубина 15-минутного цикла, составляет примерно 10 %.

Теперь рассмотрим 15-минутную модуляцию глобальной сейсмической активности. Она представляется нам наиболее интересной и загадочной. Эта специфическая скрытая периодичность в сейсмической активности впервые была отмечена Зотовым при исследовании недельного цикла глобальной сейсмичности (см. раздел 3.1). На рис. 4 представлены результаты поиска этой периодичности. Здесь показаны распределения землетрясений по времени их наблюдения, полученные методом синхронного накопления интервалы 1 ч. Черным цветом отмечены 15-минутные метки. Для построения распределений использованы около 2000000 событий каталога ISC с 1964 по 2003 г. (рис. 4, а) и примерно 500000 событий каталога USGS с 1973 по 2007 г. (рис. 4, б). Анализировались землетрясения без какой-либо селекции по магнитуде. Отчетливо видна 15-минутная периодичность. Эта периодичность обнаружена как по данным ISC, так и по данным каталога USGS. Для проверки мы построили аналогичные распределения землетрясений по времени их наблюдения на интервале 56 и 64 мин и попытались обнаружить 14- или 16-минутную модуляцию. Результат такого эксперимента оказался отрицательным – модуляция с периодами 14 и 16 мин отсутствует.

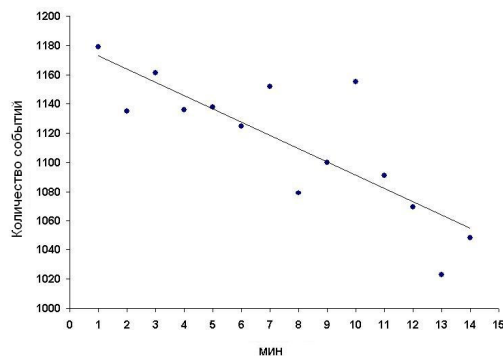


Рис. 3. Зависимость числа событий от времени в пределах 15-минутного интервала по наблюдениям в obs. Борок 1958–1992 гг. Событием считается начало серии колебаний Pc1 в данную минуту 15-минутного интервала. Интервалы начинаются в 0, 15, 30 и 45 мин каждого часа. Показаны результаты эксперимента (точки) и их линейной интерполяции (прямая).

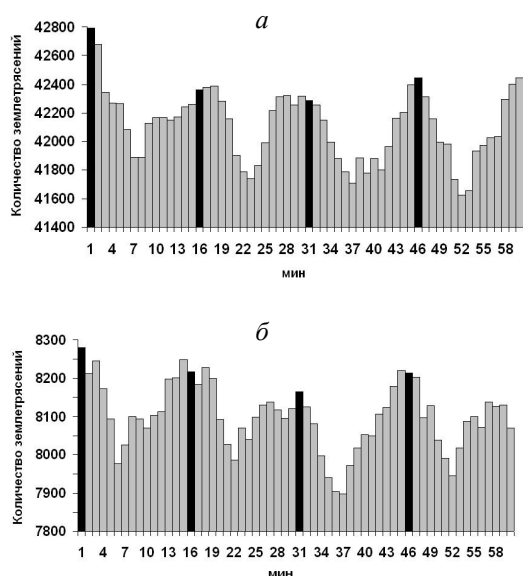


Рис. 4. 15-минутная вариация сейсмической активности по данным каталога ISC с 1964 по 2003 г. (а) и каталога USGS с 1973 по 2007 г. (б). Период накопления равен 60 мин.

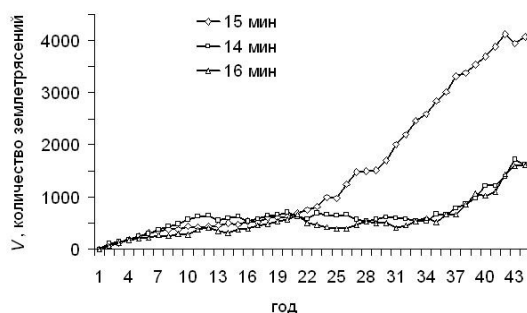


Рис. 5. Динамика роста амплитуды вариации  $V$  для периодов детектирования 14, 15 и 16 мин по данным каталога ISC.

На рис. 5 показана динамика роста амплитуды вариации сейсмической активности для периодов детектирования 14, 15 и 16 мин по данным каталога ISC. При построении этого графика для каждого из указанных периодов детектирования на каждом шаге накопления по времени, равном одному году, выделялась переменная составляющая (вариация). Затем вычислялась амплитуда (размах) вариации  $V$ , и именно эта величина откладывалась по вертикальной оси. Видно, что рост амплитуды вариации при периоде детектирования 15 мин значительно превышает рост при периодах 14 или 16 мин, что дополнительно подтверждает реальность обнаруженной 15-минутной периодичности.

#### 4. Обсуждение проблемы

##### 4.1. Скрытые периодичности функционирования радио- и электротехнических устройств

Сложный вопрос, неизбежно возникающий при обсуждении описанных выше эффектов, – глобальная модуляция индустриальной активности, синхронная с днями недели и часовыми метками. Из общих соображений наличие подобной модуляции представляется возможным. Приведем конкретные примеры работы технологических систем, свидетельствующие о том, что эта возможность действительно реализуется.

Вполне определенным показателем индустриальной активности человечества является величина потребляемой электрической мощности. Недельная цикличность энергопотребления представляется вполне очевидной. Для иллюстрации мы приводим здесь рис. 6, построенный по данным NYISO (New York Independent System operator, Нью-Йоркский независимый системный оператор), который управляет 10775-мильной сетью высоковольтных линий. Данные взяты с сайта <http://www.nyiso.com>, где они представлены в виде каталога с 5-минутным разрешением по времени. На рисунке представлен фрагмент реальной динамики энергопотребления на интервале 28 дней. По вертикальной оси отложена мощность в мегаваттах. Серыми столбиками отмечены суббота и воскресенье. Отчетливо заметна семидневная модуляция работы мощных электрических систем в одном из крупнейших промышленных регионов планеты. Судя по рисунку, глубина модуляции составляет примерно 10 %.

Попытка обнаружить по данным NYISO скрытую 15-минутную периодичность в динамике потребляемой электрической мощности привела к результату, представленному на рис. 7. График построен методом наложенных эпох на интервале 24 ч. Ясно видны резкие пики потребляемой электрической мощности, ассоциированные с часовыми метками. Можно заметить также и получасовую вариацию.

Если говорить о проявлениях индустриальной активности, модулированной с периодом 15 мин, то первое, что сразу приходит на ум, это строго регламентированная работа мировой сети автоматических ионосферных станций (АИС), которые производят радиозондирование ионосферы одновременно через каждые 15 мин по согласованной международной программе. Некоторые радары некогерентного рассеяния, входящие в мировую сеть, также производят согласованные наблюдения. Наша гипотеза состоит в том, что начало каждого часа и другие выделенные

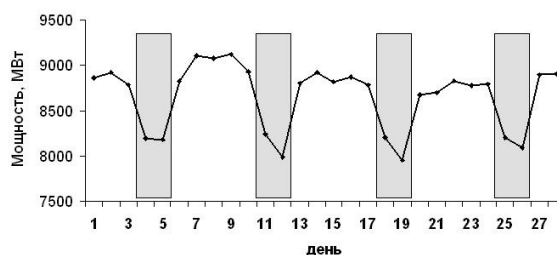


Рис. 6. Недельная периодичность потребляемой электрической мощности в одном из крупнейших промышленных регионов планеты.

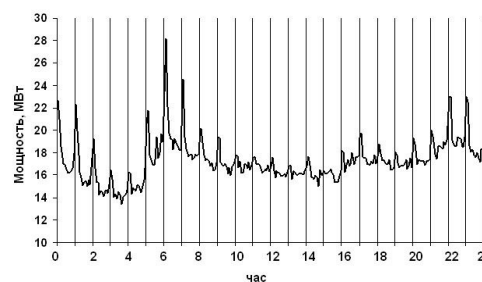


Рис. 7. Эффект часовых меток в усредненной суточной вариации абсолютной величины скачков потребляемой электрической мощности в США в период 2006–2009 гг.

моменты времени тем или иным образом синхронно модулируют работу мировой сети радиопередатчиков, которые, по-видимому, воздействуют на ионосферу и магнитосферу так, что результатом воздействия является возбуждение и/или подавление колебаний Pc1. Данная гипотеза, возможно, позволит понять эффект часовых меток в активности Pc1, однако сомнительно, что она будет полезной при попытке понять аналогичный эффект в сейсмической активности.

#### 4.2. Скрытые периодичности взрывов

Интересный пример скрытой периодичности индустриальной активности был найден при анализе каталога ISC, который содержит информацию о сейсмических событиях, отмеченных как химические и ядерные взрывы. На рис. 8 показана недельная периодичность взрывов. Накопление проводилось на интервале 28 дней. По оси ординат отложено количество взрывов, произошедшее в тот или иной день недели. Серыми столбиками отмечены суббота и воскресенье. Всего в каталоге содержится информация о примерно 40000 химических и 1100 ядерных взрывах.

Метод синхронного детектирования позволил выделить также часовую и 15-минутную квазипериодичности в динамике взрывов. На рис. 9 приведено распределение числа взрывов на интервале синхронного накопления 60 мин. Столбики черного цвета разделяют часовой интервал на четыре 15-минутных.

Подчеркнем, что все приведенные выше примеры имеют иллюстративный, пояснительный характер. Они частично проясняют происхождение эффектов синхронизма в активности электромагнитных волн Pc1 и землетрясений, явно указывая на существование специфических скрытых периодичностей в индустриальной активности. Это обстоятельство представляет несомненный интерес в контексте данной работы.

Однако прямая причинно-следственная связь скрытых периодичностей антропогенной активности с эффектами синхронизма в протекании естественных геофизических процессов в магнитосфере и литосфере пока не установлена.

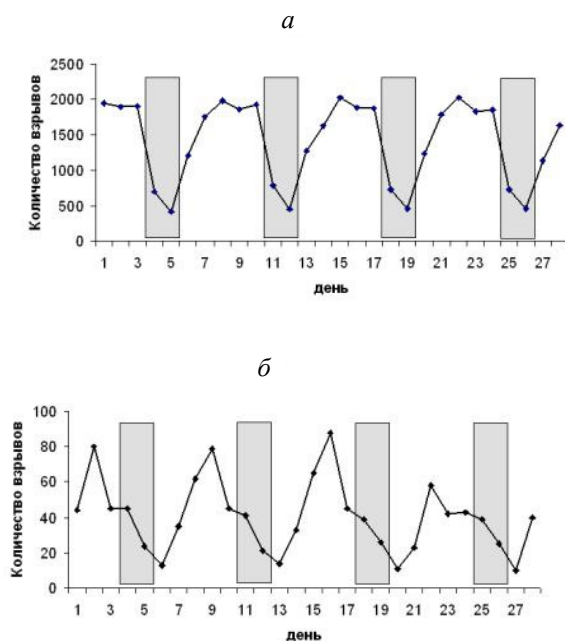


Рис. 8. Недельная периодичность химических (а) и ядерных (б) взрывов.

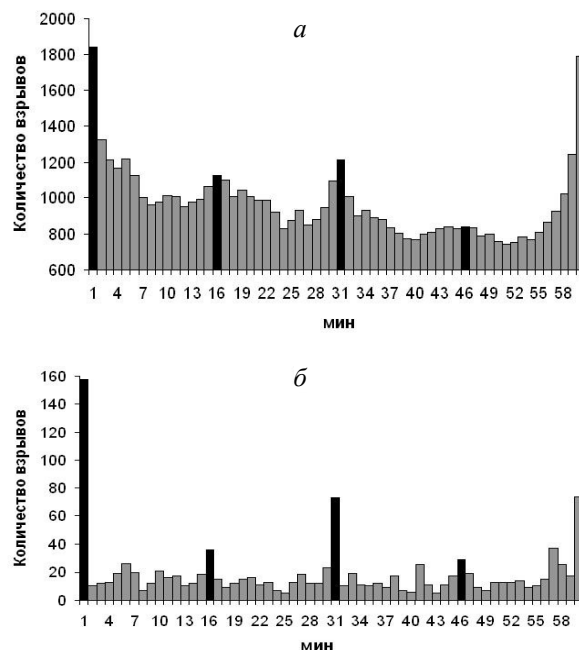


Рис. 9. Эффект часовых меток в химических (а) и ядерных (б) взрывах.

#### 4.3. Об антропогенной модуляции грозовой активности

При попытке внести ясность в вопрос о происхождении 15-минутной модуляции волн Pc1 и землетрясений нами были рассмотрены различные гипотетические схемы техногенного воздействия на магнитосферу и литосферу. В числе других была проанализирована гипотеза об антропогенной модуляции частоты молниевых разрядов, которые предположительно служат своего рода промежуточным звеном в цепочке интересующих нас причинно-следственных связей. Здесь мы кратко изложим предварительный результат проверки гипотезы.

Для исследования был использован каталог молниевых разрядов, зарегистрированных системой LDAR Космического центра им. Кеннеди на мысе Канаверал в штате Флорида, США (<http://ghrc.nsstc.nasa.gov/hydro>). Анализ каталога позволил выявить некоторые признаки часовой вариации в количестве разрядов. В ходе анализа выяснилась необходимость тщательной селекции материала для обнаружения возможного эффекта техногенного воздействия на грозовую активность. Один из результатов представлен на рис. 10. Он получен по данным о времени появления 6350000 молний, зарегистрированных в 2007 г. Для анализа из каталога отобраны только те данные, которые обладают следующими признаками: а) молния представляет собой линейный разряд в промежутке облако–земля, причем высота разряда не превышает 1 км; б) разряд происходит в более или менее стабильных условиях грозы, когда на интервале времени продолжительностью 1 ч число разрядов не превышает 100. Разряды, не удовлетворяющие этим двум условиям, при синхронном накоплении в расчет не принимались.

Круговая диаграмма на рис. 10 демонстрирует совершенно неожиданный результат поиска эффектов синхронизма в динамике молниевых разрядов.

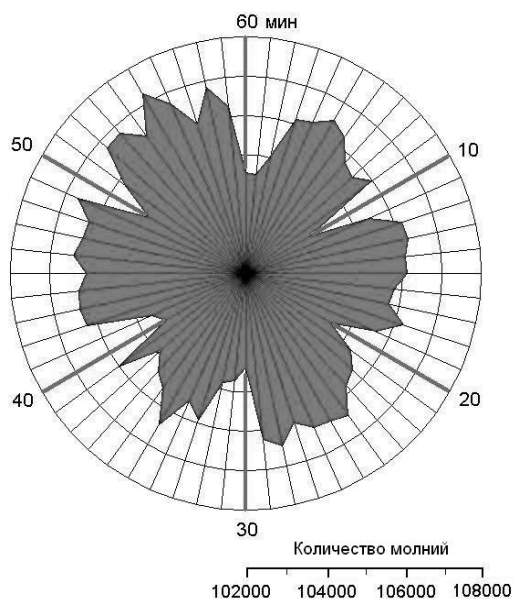


Рис. 10. Круговая диаграмма частоты молниевых рядов.

Мы отчетливо видим вариацию с шестью глубокими минимумами, совпадающими с 10-минутными метками. Результат не вполне оправдал наши ожидания, поскольку мы рассчитывали обнаружить 15-минутную, а отнюдь не 10-минутную вариацию. Тем не менее, рис. 10 и другие подобные рисунки, которые здесь не приводятся, по-видимому, свидетельствуют о явных признаках техногенного воздействия на грозовую активность. Мы полагаем, что в этом направлении открывается обширное поле для дальнейших исследований.

### 5. Заключение

На протяжении десятилетий обнаруживаются факты, свидетельствующие о том, что техническая активность земной цивилизации оказывает существенное воздействие на ряд естественных геофизических процессов, иногда в масштабах всей планеты. Такое воздействие регистрируется как в целенаправленных геофизических экспериментах, проводимых часто с использованием экстремальных технических средств, так и в связи с работой устройств, излучающих энергию, но не предназначенных специально для воздействия на геосферы. Результаты статистического исследования длинных рядов наблюдений, описанные в данной работе, также свидетельствуют о том, что вполне правдоподобна гипотеза о заметном воздействии индустриальной активности на магнитосферу и литосферу. Антропогенное воздействие, судя по всему, приводит к недельной и 15-минутной модуляции в режимах возбуждения электромагнитных волн Pc1 и землетрясений.

Однако остаются неясными два вопроса: каковы конкретно модулирующие факторы и какие физические механизмы обеспечивают синхронизирующее воздействие этих факторов на геосферы? Пока по обоим вопросам можно высказать лишь самые общие суждения. Особенно загадочным представляется эффект часовых меток. В разделе 4 мы указали на мировую сеть автоматических ионосферных стан-

ций, синхронно воздействующих на ионосферу импульсным радиоизлучением каждые 15 мин, и на скрытые периодичности в функционировании значительно более мощных технологических систем. Но можно ли считать правдоподобным предположение о глобальном возбуждении мощных электромагнитных и механических импульсов при синхронном переключении режима энергетических систем, например, в нулевую минуту каждого часа? Вопросы такого рода не решаются умозрительно. Необходимы дальнейшие кропотливые эксперименты и открытое широкое обсуждение результатов.

Факты, описанные в настоящей статье, показывают необходимость дальнейших исследований. Эффекты выходных дней и часовых меток, безусловно, представляют интерес с физической точки зрения. Существует, однако, и другое, не менее важное обстоятельство, определяющее актуальность дальнейших исследований. Речь идет о том, что в перспективе контроль глубины антропогенной модуляции естественных физических процессов может применяться в системе мониторинга геофизической обстановки и экологической деградации, давая качественную информацию о долговременных вариациях техногенного воздействия на окружающую среду.

Выражаем искреннюю благодарность составителям каталогов Pc1 Э.Т. Матвеевой (Борок) и В.Н. Виноградовой (Иркутск), а также Т.Н. Полюшкиной и А.С. Потапову, которые любезно разрешили воспользоваться электронными таблицами обработки каталогов Pc1 в ССО. Искренне благодарим Б.В. Довбню за сонограмму, которая показана на рис. 2, и за обсуждение проблем возбуждения Pc1. Особую благодарность выражаем составителям каталогов землетрясений ISC и USGS/NEIC, а также составителям каталога энергопотребления в штате Нью-Йорк, США, и сотрудникам Космического центра им. Кеннеди, обеспечивающим работу системы LDAR. Мы признательны А.Д. Завьялову, Б.И. Клайну, А.О. Мострюкову и А.С. Потапову за интерес к работе и критические замечания. Данная работа была доложена на семинарах ИДГ РАН (29.10.2009), НИИЯФ МГУ (11.11.2009) и на Проблемном Совете «Сейсмичность Земли, природные и природно-техногенные катастрофы» ИФЗ РАН (18.02.2010). Участникам семинаров и членам Совета выражаем глубокую благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 09-05-00048, 10-05-00661) и Программы № 4 Президиума РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмедов Р.Р., Куницын В.Е. Моделирование ионосферных возмущений, вызванных землетрясениями и взрывами // Геомагнетизм и аэронавигация. 2004. Т. 44, № 1. С. 105–112.
- Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // УФН. 2007. Т. 177, № 12. С. 1257–1276.
- Гульельми А.В., Довбня Б.В., Клайн Б.И., Пархомов В.А. Стимулированное возбуждение альфеновских волн импульсным радиоизлучением // Геомагнетизм и аэронавигация. 1978. Т. 18, № 1. С. 179–181.



- Гульельми А.В., Зотов О.Д., Клайн Б.И. и др. Возбуждение сигналов комбинационных частот в диапазоне 1–8 Гц // Тезисы Всесоюзного симпозиума «Эффекты искусственного воздействия мощным радиоизлучением на ионосферу Земли». Суздаль, 19–24 сентября 1983.
- Гульельми А.В. Зотов О.Д., Клайн Б.И. и др. Возбуждение геомагнитных пульсаций при периодическом нагреве ионосферы мощным КВ-радиоизлучением // Геомагнетизм и аэронавигация. 1985. Т. 25, № 1. С. 102–106.
- Гульельми А.В., Зотов О.Д. О геомагнитном эффекте «Мировых дней» // Геомагнетизм и аэронавигация. 1986. Т. 26, № 5. С. 870–872.
- Гульельми А.В. МГД-волны в околоземной плазме. М.: Наука, 1979. 139 с.
- Довбня Б.В., Зотов О.Д., Щепетнов Р.В. Связь УНЧ электромагнитных волн с землетрясениями и с антропогенными воздействиями // Геофизические исследования. 2008. Вып. 9. С. 3–23.
- Зотов О.Д. Эффект выходных дней в сейсмической активности // Физика Земли. 2007. № 12. С. 27–34.
- Зотов О.Д., Гульельми А.В. Совместный анализ электромагнитных колебаний Pc1 и землетрясений // Электромагнитные исследования Земли: Материалы IV Всероссийской школы–семинара по электромагнитным зондированиям Земли. Москва, 1–4 сентября 2009. М.: ИФЗ РАН, С. 162.
- Зотов О.Д., Калишер А.Л. Статистический анализ эффектов искусственного воздействия на ионосферу // Влияние мощного радиоизлучения на ионосферу / под ред. Р.А. Перцовского Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР. 1979. С. 150–153.
- Морс Ф.М., Кимбелл Д.Е. Методы исследования операций. М.: Советское радио, 1956. 307 с.
- Потапов А.С., Довбня Б.В., Цэгмед Б. О воздействии землетрясений на ионосферные резонансы Альфена // Физика Земли. 2008. № 4. С. 93–96.
- Матвеева Э.Т. Каталог геомагнитных пульсаций типа Pc1 («жемчужин») по данным наблюдений на геофизической обсерватории Борок ОИФЗ РАН за 1957–1992 гг. М.: ОИФЗ РАН, 1996. URL address: [http://www.wdcb.rssi.ru/WDCB/wdcb\\_stp.shtml](http://www.wdcb.rssi.ru/WDCB/wdcb_stp.shtml).
- Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М.: Мир, 1967. 406 с.
- Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. М.: Финансы и статистика, 1982. 319 с.
- Bortnik J., Cutler J.W., Dunson C., Bleier T.E. The possible statistical relation of Pc1 pulsations to earthquake occurrence at low latitudes // Ann. Geophys. 2008. V. 26. P. 2825–2836.
- Bullough K., Kaiser T.R. Ariel 3 and 4 studies of power line harmonic radiation // Wave Instabilities Space Plasmas: Proc. Symp. Helsinki, 1978. P. 37–50.
- Fraser-Smith A.C. Weekend increase in geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 1979. V. 84(A5). P. 2089–2096.
- Fraser-Smith A.C. Effect of man on the geomagnetic activity and pulsations // Adv. Space Res. 1981. V. 1. P. 455–466.
- Guglielmi A.V., Zotov O.D. The human impact on the Pc1 wave activity // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2007. V. 69. P. 1753–1758.
- Guglielmi A.V., Zotov O.D. Long-term trend in Pc1 weekend effect according to geomagnetic data collected by the Borok Geophysical Observatory // Geophysical Research Abstracts. 2008. V. 10. EGU2008-A-04807. EGU General Assembly 2008.
- Guglielmi A.V. ULF electromagnetic waves and earthquakes: A set of unsettled problems // Geophysical Research Abstracts. 2008. V. 10. EGU2008-A-01547.
- Helliwell R.A. Effect of power line radiation into the magnetosphere // XIX URSI General Assembly: Programme and Resumes. Helsinki. 1978. P. 70.
- Menk F.M. Stimulation of Pc1 pulsations by HF radio transmissions // J. Atmos. Terr. Phys. 1985. V. 47. P. 713–718.
- Park C.G., Helliwell R.A. Magnetospheric effects of power line radiation // Science. 1978. V. 200, N 4343. P. 727–730.
- Zotov O.D., Guglielmi A.V. The ponderomotive impact of the global seismicity on the magnetospheric Pc1 wave activity // Geophysical Research Abstracts. 2010. V. 12. EGU2010-304. 2010 EGU General Assembly.

<sup>1</sup> Геофизическая обсерватория Борок ИФЗ РАН, Борок

<sup>2</sup> Институт физики Земли, Москва