

# Экспериментальные исследования собственных колебаний Земли в Антарктиде и Украине в электромагнитных излучениях

© Ю. А. Богданов, 2011

ООО "Юг-нефтегазгеология", Киев, Украина  
Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 5 марта 2010 г.

*Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом*

За системного підходу до виявлення прихованих періодичностей на основі застосування математичного апарату, що включає як спектральний аналіз, так і вейвлет-перетворення часових рядів, встановлено періодичність варіацій електромагнітної активності (ЕМА) Землі в Антарктиді й Україні з періодами годинного і добового діапазонів. Виявлено структуру спектра коливань, факт існування стійких коливань і групування їх на частотній осі, визначено діапазони частот, на яких ЕМА Землі виникає найчастіше.

Using a systemic approach to identifying hidden periodicities through the use of mathematical tools, including both spectral analysis and wavelet transform — the transformation of time series, the frequency variations of electromagnetic activity (EMA) of the Earth in Antarctica and Ukraine, with periods of time and daily ranges have been established. The structure of the vibration spectrum, the existence of stable oscillations, and grouping them on the frequency axis, the range of frequencies at which the Earth EMA occurs most frequently have been determined.

**Введение.** Представления о геофизической среде, как "неклассической нелинейной" блоковой среде [Садовский, 1985], в последнее время стали общепринятыми [Гольдин, 2003]. Имеющиеся данные прямо указывают на вращательный, крутильный и вихревой характер движения блоков, плит и других геологических структур планеты [Вихри ..., 2004]. Многие геологи и геофизики отмечают "самостоятельный", "собственный", "с ненулевыми дивергенциями и вихрями" и упругий характер таких движений, которые прямо связаны с движением планеты и системы Земля — Луна. В настоящее время не вызывает сомнений как существование эффектов пульсаций [Милановский, 1995] и тектонических перестроек [Тверитинов, Тверитинова, 2006] планеты, "генерирующих" зоны сжатия, растяжения и сдвига, так и их взаимосвязь с вращением Земли [Хаин, Ломидзе, 2005]. Естест-

венно, что регистрация такого рода эффектов в геофизических полях будет способствовать разработке новых представлений геодинамики. Именно поэтому современная геофизическая аппаратура характеризуется развитием устройств с широкой полосой приема сигналов геофизических полей и повышенной чувствительностью к слабым возмущениям.

К настоящему моменту уверенно регистрируются собственные колебания планеты [Линьков и др., 1982; 1989; 1996; Копаев, Руденко, 1994; Хаин, Халилов, 2008], собственные колебания тектонических плит и длиннопериодические колебания при землетрясениях [Линьков, 1963; Линьков, Петрова, 1976]. Для идентификации таких колебаний предложен термин "сейсмогравитационные колебания Земли". Выявленные основные закономерности и особенности сейсмогравитационного процесса с периодами более 1 ч зарегистри-

рованы в качестве открытия СССР № 217 — "Явление сейсмогравитационных колебаний Земли". В то же время обзор литературы по проблеме прогноза землетрясений приводит к выводу о наличии сложных связей между источниками возмущений, дальнедействующего взаимодействия элементов системы, исследование которых надо проводить в рамках всей планеты как единой напряженной системы.

Земле как пространственному телу присущи частоты и формы собственных колебаний. Количество установленных параметров колебаний исчисляется уже величинами третьего порядка, и соответствующие периоды простираются на миллионы лет. Они отражают различные аспекты симбиоза потенциально допустимых вариантов: от колебаний в рамках моделей механики сплошной среды до постановок, отражающих смещения внутреннего ядра или плавающей литосферы.

Вместе с тем к настоящему времени сформировались четкие представления о том, что изучение структуры Земли и происходящих в ней тектонических процессов должно проводиться в их взаимосвязи с факторами внешнего окружения, такими как влияние Луны, Солнца, а также Космоса в целом. Весьма убедительными являются доводы, касающиеся взаимодействий в системе Земля—космические объекты посредством механизмов резонансного характера. Поэтому возникает принципиальный вопрос о том, на каких именно частотах свободных колебаний Земли преимущественно поддерживаются такие взаимодействия. Недавно на него был дан вполне конкретный ответ, к которому, ввиду чрезвычайной важности проблемы, очевидно, будет проявлен большой интерес ученых и специалистов различного профиля.

За последние несколько лет получила развитие геодинамическая концепция, согласно которой "механизм вынужденной циклической относительной раскачки и блужданий ядра и мантии Земли на геологических периодах времени является единым и главным механизмом, управляющим плит-тектонической и плюм-тектонической деятельностью Земли" [Баркин, 2002]. Были найдены периоды свободных колебаний динамической системы эластичная мантия — ядро Земли: 3,47; 4,06 и 4,89 ч. Анализ различных экспериментальных наблюдений показал, что все планетарные процессы должны испытывать вариации с периодами часового диапазона — от 1,497 — до 24,24 ч (общее количество их составляет

18). В этой связи обращено внимание на очень интересное обстоятельство. Суть в том, что те же самые ритмы характерны, как показали исследования одной из весьма представительных научных школ (г. Пущино, Московская обл.), для физических, химических, физиологических и биологических процессов среды обитания человека. Следовательно, становятся более понятными эффективные механизмы их возбуждения. Причины, которыми в полной мере обуславливается данное обстоятельство, ждут своего объяснения.

Исследование длиннопериодических волн характеризуется появлением вполне оправданных для этих целей методов и технологий, основанных, в частности, на использовании естественного электромагнитного излучения Земли [Воробьев и др., 1975, Саломатин и др., 1993, Богданов и др., 2003, Шуман и др., 2008, Шуман, Богданов, 2008, Anderson et al., 2008 и др.]. В данной работе выявляются некоторые закономерности колебательных процессов Земли в спектре электромагнитных излучений.

**Назначение эксперимента и особенности метода исследований.** Возрастающая роль несейсмических методов в изучении глубинных недр обусловлена интенсивным развитием пассивных зондирующих систем нового поколения, основанных на использовании естественного импульсного электромагнитного поля Земли [Шуман и др., 2008]. Как свидетельствует обширный экспериментальный материал, литосфера представляет собой механически и электродинамически активную среду, способную генерировать электромагнитные возмущения. Последние, достигая земной поверхности, создают на ней сложную структуру электромагнитного поля, открывающую новый перспективный канал получения информации о физических процессах в Земле, ее строении и свойствах [Шуман, Богданов, 2008].

В отличие от метода естественного импульсного электромагнитного излучения [Саломатин и др., 1993], основанного на традиционных представлениях о физике электромагнитного излучения недр, в методе геополяритонной спектроскопии [Богданов, Павлович, 2008] объектом исследования является поле спонтанной электромагнитной эмиссии, генерируемой при изменении напряженно-деформированного состояния горных пород литосферы. Такое поле следует отличать от переменного электромагнитного поля, индуцируемого магнитосферными (магнитотеллуричес-

кое поле) и атмосферными (поле грозовой активности) процессами. Свойства поля существенно отличаются от свойств известных электромагнитных полей и рассматриваются в рамках представлений о литосфере как электродинамически активной среде [Богданов и др., 2009]. При этом предполагается, что среда наиболее активна в местах наибольших напряжений горных пород.

При возникновении собственных колебаний Земли напряженно-деформированное состояние земных пород изменяется с частотой этих колебаний. Это означает, что испускаемое горными породами электромагнитное излучение также должно изменяться во времени. Задача экспериментальных исследований состояла в том, чтобы с помощью новых технологических устройств и приемов выявить такие колебания электромагнитных излучений, частоты которых уже получены сейсмогравитационными методами, и попытаться отыскать новые гармоники колебаний. В работе рассматриваются только циклические процессы.

#### **Аппаратурный комплекс для регистрации электромагнитных излучений Земли.**

В состав аппаратурного комплекса входят: регистратор электромагнитных излучений "Астрогон" (ТЗ У 22.2-21176090-001-2007), приемник GPS и интерфейсный адаптер, обеспечивающие высокую технологичность и автономность проведения измерений.

В качестве первичного преобразователя в анализаторе используется встроенная анизотропная рамочная антенна, состоящая из трех взаимно перпендикулярных катушек индуктивности [Альшин, Богданов, 2007]. Благодаря использованию современной элементной базы и цифровой обработке сигналов удалось достичь высокой точности ( $\pm 5\%$ ) и большого динамического диапазона (0,05—20 нТл) измерений параметров магнитной составляющей электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 100 кГц (по уровню 3 дБ). В приборе развиты дополнительные функции: цифровая фильтрация сигнала, сохранение данных измерений в оперативном запоминающем устройстве; реализован первичный этап обработки результатов и обеспечены возможности управления с помощью компьютера, в частности, возможность автоматического мониторинга уровней порога регистрируемого магнитного поля.

Регистратор измеряет активность импульсного потока, отображает количество импульсов электромагнитного излучения с амплиту-

дой, превышающей заданный порог, за заданный интервал времени и величину, пропорциональную среднему значению напряженности поля. Данные измерений записываются в память регистратора. Как известно, для стационарного случайного процесса, обладающего эргодическим свойством, существует связь числа пересечений заданного уровня со средней мощностью и среднеквадратическим значением частоты спектральной плотности этого процесса [Тихонов, Хименко, 1998]. Для низкочастотного случайного гауссова процесса число пересечений (что соответствует активности импульсного потока) пропорционально его среднеквадратической частоте. В свою очередь, среднее число выбросов случайного стационарного процесса несет информацию об эффективной ширине его спектра. Применительно к низкочастотным стационарным процессам средняя квадратическая частота характеризует эффективную ширину спектральной плотности. Измерение числа импульсов имеет преимущества перед измерением интенсивности сигнала (его огибающей), поскольку такой подход более чувствителен к изменению количества излучателей в геологической среде.

Регистрация электромагнитного излучения осуществляется одновременно в двух режимах: с фиксированным (ФП) и плавающим порогом (ПП) опорного напряжения. ФП устанавливается перед началом измерений и не изменяется в процессе проведения наблюдений. В режиме ФП измерения чувствительны к изменению средней интенсивности магнитного поля. В режиме ПП выполняется автоматическая подстройка к среднему по предшествующему 10-секундному интервалу уровню интенсивности магнитного поля непосредственно при измерениях.

**Особенности методики проведения наблюдений.** Основной вид полевых работ — вариационные (режимные) наблюдения. Исследования в период с 2004 по 2009 г. были проведены в предварительно организованных пунктах наблюдений: Украинская антарктическая станция им. В. И. Вернадского (УАС) с координатами  $65^{\circ} 15' W$ ,  $64^{\circ} 15' S$ ; станция на территории Украины под Харьковом с координатами  $50^{\circ} N$ ,  $35^{\circ} 51' E$ . Две станции были расположены на расстояниях  $\geq 500$  км от эпицентров землетрясений (УАС и Харьков), т. е. в зоне медленных землетрясений, и собственно гравитационных смещений (оползней, ледниковых смещений). Регистрация осуществ-

лялась с интервалом 1 с. Оси антенны  $X$  ориентированы на Южный и Северный полюсы соответственно. Остальные оси составляют правую систему координат. Суточные изменения сигнала рассмотрены ниже в режиме ФП для канала  $Y$ .

**Влияние помех.** Во время проведения наблюдений необходимо учитывать возможные искажения за счет экзогенных факторов, включающих в себя ионосферные источники, атмосферное электричество и техногенные помехи. Например, многолетний опыт наблюдений на стационарных станциях показал, что во всех случаях величина помех зависит от времени года, географического положения участка работ, времени суток, влияния ионосферы.

На рис. 1, *а* показан ход суточной активности сигнала в канале  $Y$  (режим ФП) при наблюдениях 6 сентября 2008 г. в Харьковской обл., Украина. Резкое изменение среднего уровня сигнала, отмеченное стрелками, ассоциируется с временем восхода (4 : 57) и захода Солнца (18 : 10).

На рис. 1, *б* представлена средняя активность электромагнитного излучения, наблюдавшегося в апреле 2008 г. на локальной стационарной станции, расположенной в 100 км от основной (Украина). Хорошо видно короткое регулярное увеличение сигнала в конце каждого часа (отмечено стрелками), связанное с включением насоса для полива земель.

На рис. 1, *в* показано суточное изменение сигнала в канале  $Y$  (режим ФП) для некоторых дней недели. Накопление осуществлялось на протяжении трех недель. Стационарная станция располагалась в районе промышленных помех. Для выходных дней (см. результаты для воскресенья) нет каких-либо значимых особенностей сигнала. В то же время в рабочие дни (см. результаты для среды, рис. 1, *в*) средний уровень сигнала изменяется в 8—9 и 17—18 ч, что соответствует началу и концу рабочего времени.

На рис. 1, *г* показан фрагмент полевых измерений (сигнал  $Y$ , режим ФП). Видно, что характер сигнала после 12 ч изменился достаточно сильно (область  $A$ ). Установлено, что в этот период свойства сигнала, включая его частотные характеристики и длительность, соответствуют так называемым жемчужным непрерывным Pc3 пульсациям геомагнитного поля [Гульельми, 2007; Guglielmi et al., 1996].

Анализ суточной активности электромагнитного излучения по наблюдениям за дан-

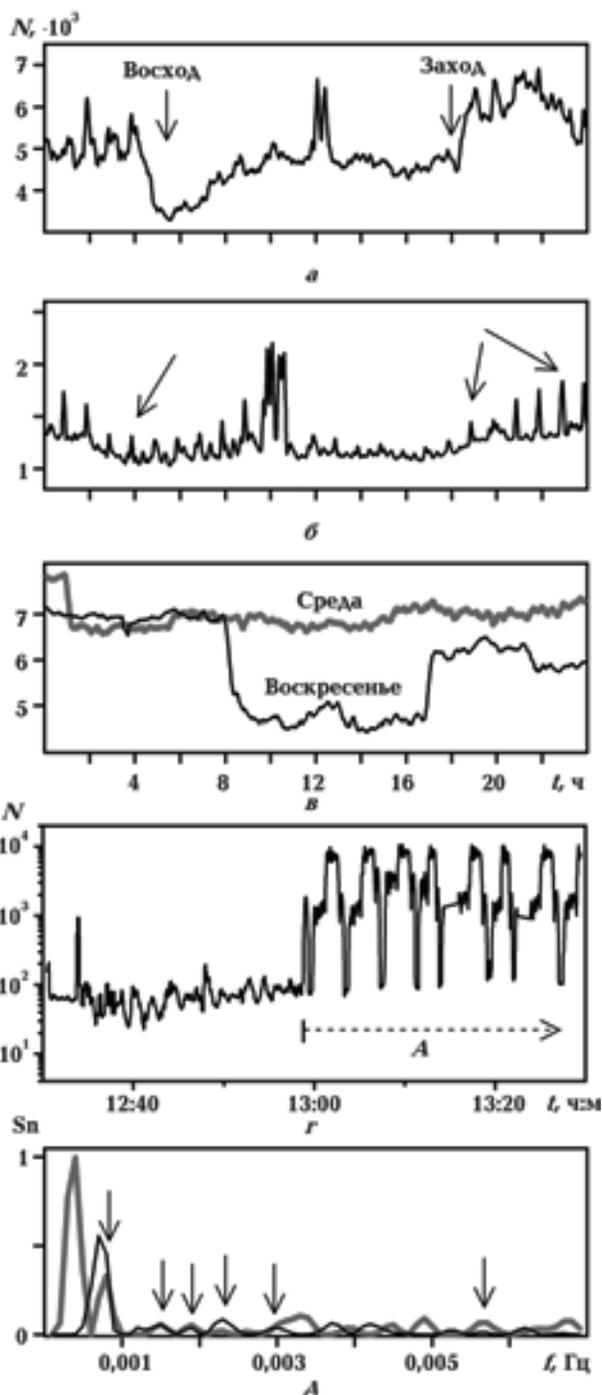


Рис. 1. Шумы экзогенного и техногенного происхождения, искажающие измерения электромагнитного излучения: *а* — влияние солнечной активности; *б* — техногенная помеха; *в* — рабочее время; *г* — наблюдение ионосферной пульсации; *д* — спектры данных основной станции в Украине (тонкая линия) при одновременных наблюдениях с локальной станцией на удалении 100 км (толстая линия).  $N$  — число импульсов.

ный краткосрочный интервал времени на стационарных станциях не выявил четкой корреляции значений активности излучения со временем максимальной грозовой активности доминирующих мировых центров гроз: Азиатского, Африканского и Американского. Например, на рис. 1, *д* показаны спектры сигнала в канале *X* (режим ПП), который зафиксирован на локальной (передвижной) станции (толстая линия) и одновременно на основной станции в Украине (тонкая линия). Стрелками отмечены спектральные линии, которые наблюдаются одновременно в двух наборах данных. Такие частоты колебаний магнитного поля (0,0008—0,006 Гц) соответствуют ионосферным пульсациям Pc2, Pc5 и Pc6 (см., например, [Hudson et al., 2004; Oksman et al., 1988; Matsuoka et al., 1997]).

**Основные принципы и приемы обработки и интерпретации.** Наблюдения проводились на протяжении 1429 сут в период с 2004 по 2009 г. на стационарной станции УАС и в Харькове. На рис. 2 показаны средние значения сигнала активности электромагнитного излучения, полученные за каждую секунду каждой минуты каждого часа в каждом сутках месяца в течение всего периода наблюдения. Процедура усреднения позволяет выделить сигналы, регулярно происходящие в одно и то же время суток в данном месте.

В математической обработке, интерпретации и визуализации результатов применялись

принцип выделения скрытых периодичностей и вейвлет-анализ. Вначале производилось сглаживание усредненного временного ряда активности электромагнитного излучения при различных окнах сглаживания и разным числе последовательностей сглаживаний.

Устанавливается устойчивый характер процесса, после чего определяются примерные периоды гармоник, составляющие процесс. Далее используются пакетные вейвлет-преобразования исходных среднесуточных рядов наблюдений, в которых подбираются фильтры для соответствующих интервалов наблюдения временного ряда.

Ошибки в определении параметров излучений, связанных с собственными колебаниями Земли, которые обусловлены сейсмическими событиями, например, извержениями вулканов или землетрясениями, носят некоррелированный, стохастический характер на коротких периодах наблюдения. Как и всякий шум, ошибки отфильтровываются простыми линейными преобразованиями используемого ряда. Для этого применялись фильтры с разными интервалами сглаживания и различным числом интервалов в варианте сглаживания. После обработки каждого варианта производилась корреляция между различными сглаженными временными рядами с определением коэффициента корреляции — между сигналами со станций УАС и в Украине (Харьков). Затем рассчитывался следующий вари-

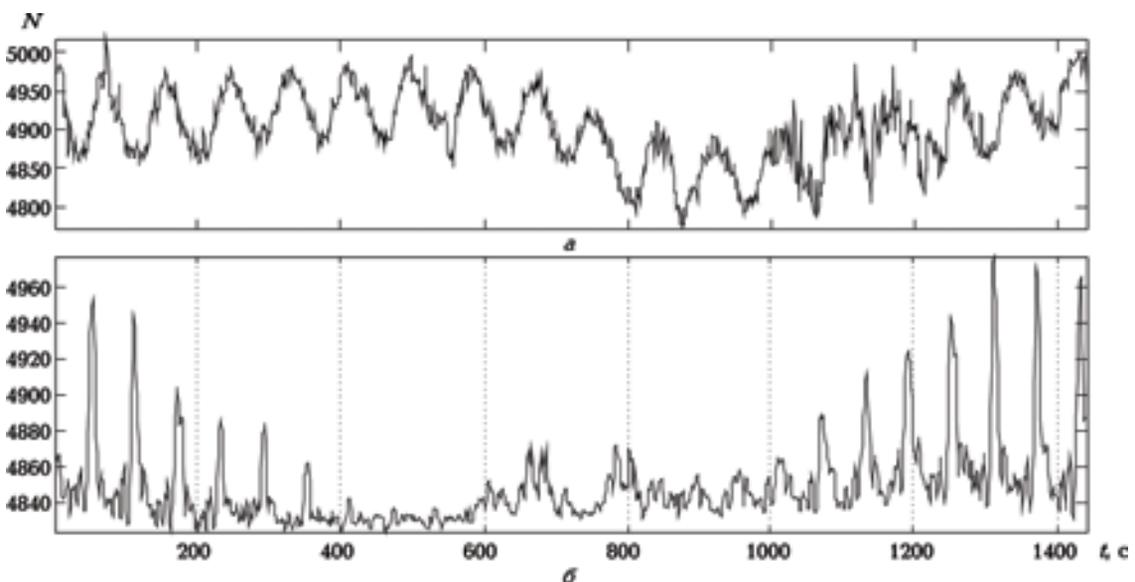


Рис. 2. Временные ряды среднесуточных наблюдений в Антарктиде (а) и Украине (б).

ант с определением коэффициента корреляции между полученными результатами в данном варианте и результатами в предыдущем варианте. Величина окна сглаживания и число последовательных сглаживаний увеличивались в каждом последующем варианте.

Таким образом, сравнение результатов сглаживания в каждом последующем и предыдущем вариантах позволяет определить эффективность фильтрации "шумов" по увеличению коэффициента корреляции. На рис. 3 видно, что коэффициент корреляции по мере возрастания величины окна и числа последовательного сглаживания практически не увеличивается.

Максимальное значение коэффициента корреляции ( $-0,8$ ) при размере радиуса корреляции 10 мин позволяет предполагать устойчивый характер сравниваемых процессов в Южном и Северном полушариях. На рис. 3 приведены значения отрицательной корреляции. Анализ графиков приводит к выводу, что в некоторой окрестности характерных частот: 0,15; 0,20; 0,21; 0,28, 0,2 мГц (в интервалах периодов от 10 до 90 мин) имеет место силь-

ная отрицательная корреляционная связь в регистрируемых данных.

Полный спектр зарегистрированных в Антарктиде и Украине колебаний электромагнитного излучения в 4-часовом временном ряде показан на рис. 4. Согласно анализу данных, в этом периоде (0—250 мин) свойства сигнала, включая его частотные характеристики и длительность, соответствуют так называемым жемчужным непрерывным Pс3 пульсациям геомагнитного поля [Гульельми, 2008а, б; Guglielmi et al., 1996], сейсмогравитационным мультиплетам  ${}_0S_2$  [Петрова, 1983], собственным колебаниям внутреннего ядра Земли с периодом около 200 мин [Копяев, Руденко, 1994].

Зарегистрированы периоды, требующие своего объяснения, например, период Шулера  $T=84,4$  мин, который определяется по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_6}{g}},$$

где  $R_6$  — расстояние до барицентра системы Земля — Луна;  $g$  — ускорение свободного падения.

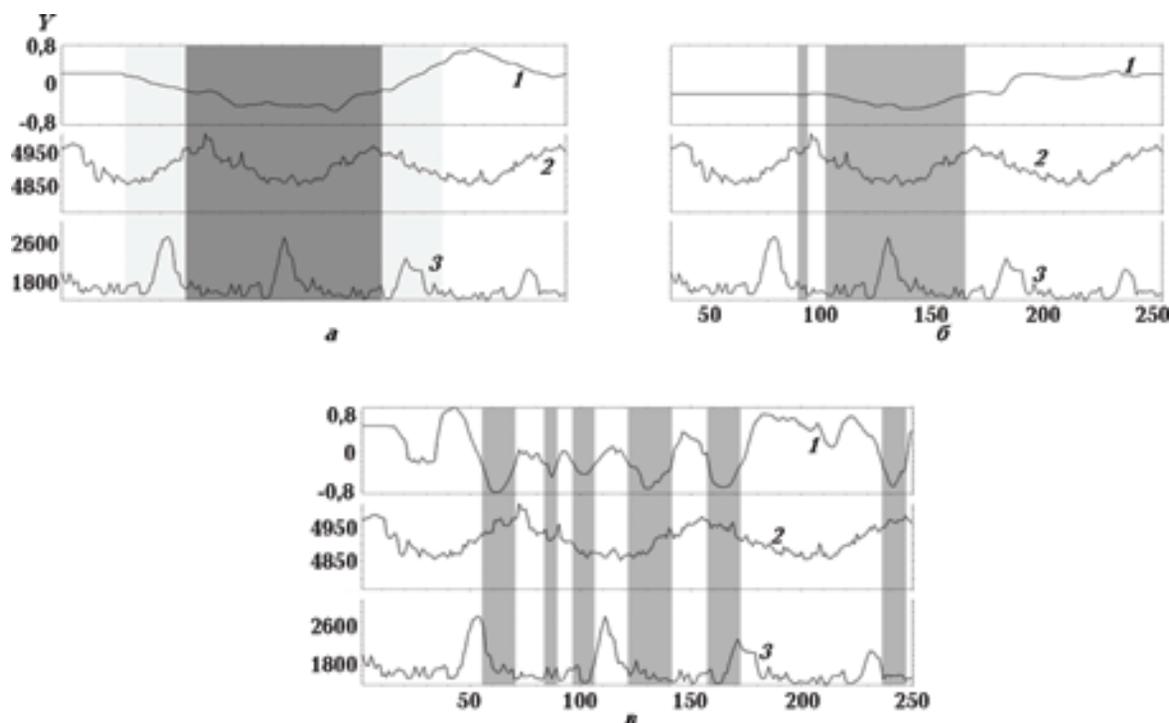


Рис. 3. Зависимость коэффициента корреляции от размера окна сглаживания: а — 120 мин; б — 60 мин; в — 10 мин; 1 — изменение корреляции в зависимости от размера окна сглаживания (интервал 30 и 60 мин); 2 — среднее значение активности электромагнитного излучения в течение первых 250 мин через каждую секунду, наблюдавшегося на протяжении 1429 сут на станции УАС; 3 — то же, на станции в Украине. Интервал времени выбран в диапазоне наблюдавшихся сейсмогравитационных колебаний [Петрова, 1983].

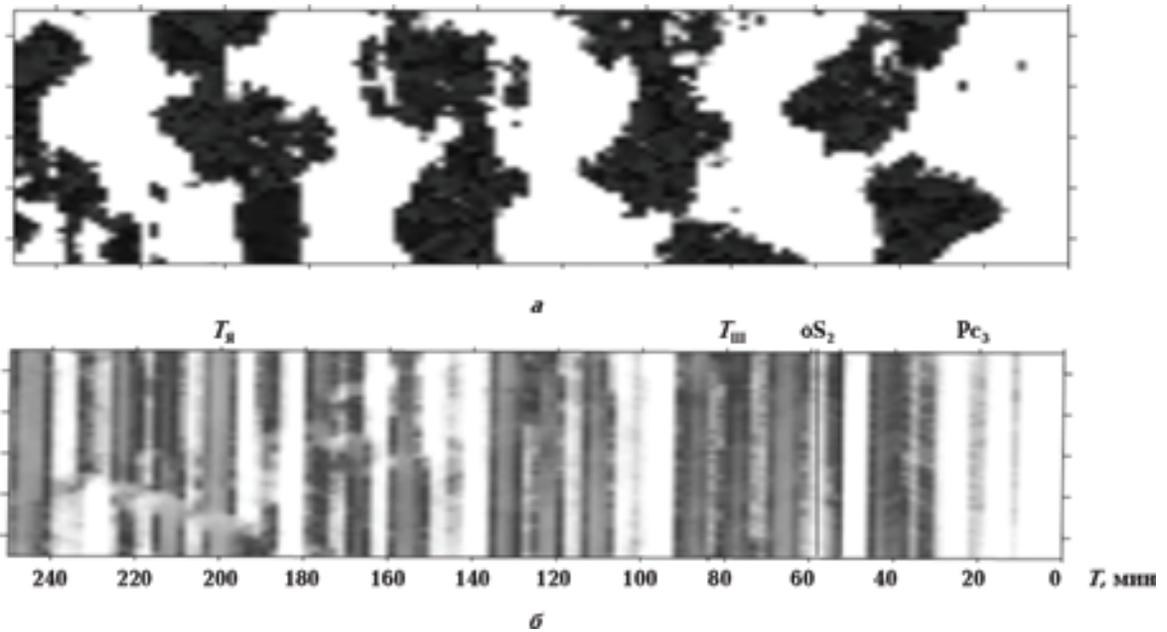


Рис. 4. Спектры собственных частот электромагнитного излучения в 4-часовом временном ряде: *a* — УАС, *б* — Украина.

На рис. 4 также хорошо видно короткое регулярное увеличение сигнала с периодом Шулера.

Колебания поля электромагнитного излучения с периодом Шулера более выражены на УАС, нежели в средних широтах Украины.

Несмотря на то что ритмическая структура колебаний планеты в фоновых электромагнитных полях имеет весьма сложную динамику, все же можно рассмотреть некоторые закономерности и попытаться получить теоретическую оценку измеренного периода. Одна из них связана с движением системы Земля — Луна. Поскольку величина лунной массы не бесконечно мала по сравнению с массой Земли, оба тела имеют общий центр масс — барицентр. По орбите вокруг Солнца движется точка, в которой находится барицентр, а центры Земли и Луны удалены от нее на некоторые расстояния. Соотношение масс обоих небесных тел таково, что барицентр находится внутри Земли на расстоянии  $R_6 = 4670$  км от центра ее масс. Ускорение свободного падения в месте, по К. Булену [Сорохтин, Ушаков, 2002], расположения барицентра равно  $7,2 \text{ м/с}^2$ . Наличие колебаний с периодом Шулера свидетельствует о том, что реально существует система, ко-

торая обеспечивает устойчивость колебаний планеты.

В экспериментах наблюдаются и другие периоды, связанные с движениями системы Земля — Луна и, соответственно, изменениями напряженно-деформированного состояния планеты (рис. 5).

**Анализ длиннопериодических колебаний.** Шкала временных рядов на графиках рис. 5 составляет 1440 мин, что соответствует одним суткам. Справа приведены графики вейвлет-разложений для Антарктиды, слева — для средних широт Украины. Выделены следующие периоды колебаний:

- собственные колебания ядра с основным периодом  $\sim 14$  ч (вторая сверху пара графиков);
- колебания с периодом  $\sim 5$  ч (третья пара графиков) — вариация длительности синодического месяца;
- колебания внутреннего ядра  $\sim 3$  ч 18 мин (четвертая пара);
- частота Шулера  $\sim 84$  мин (пятая пара);
- частоты с периодами 78 (6-я гармоника), 67 (7-я гармоника) 54 мин (8-я гармоника — основная, по данным [Петрова, 1983]), которые регистрируются в Украине; на УАС амплитуды этих частот пренебрежимо малы.

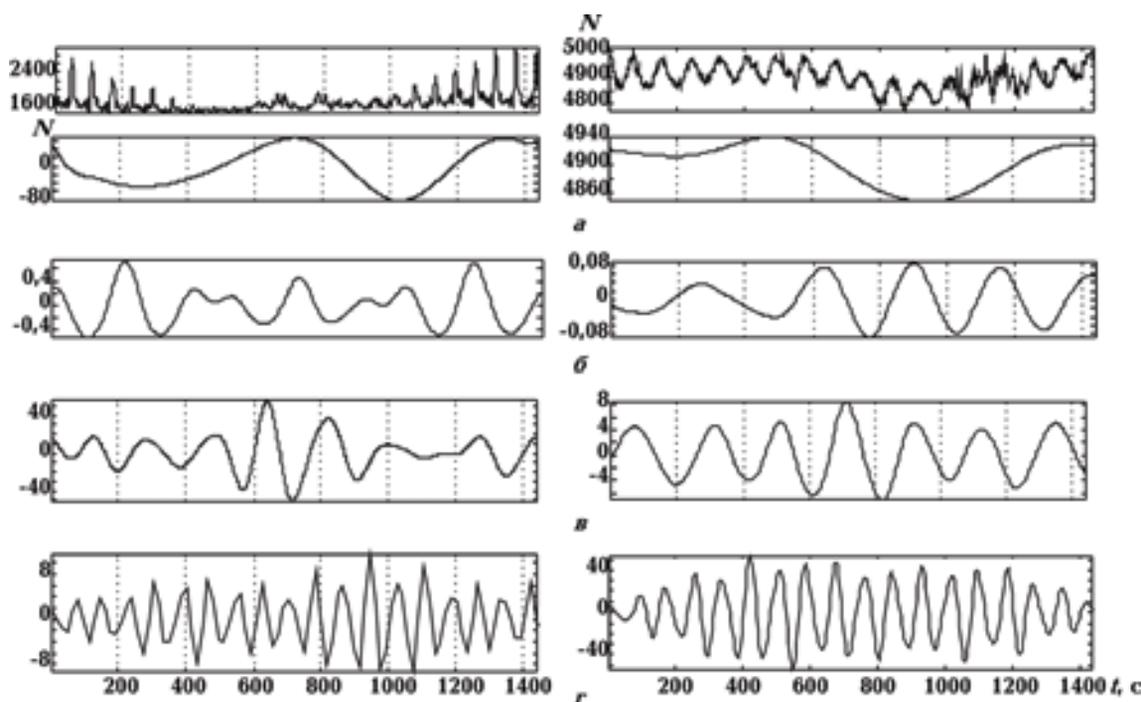


Рис. 5. Изменения среднего значения активности сигнала электромагнитного излучения в течение суток на станциях в Антарктиде (справа) и Украине (слева) и его вейвлет-разложения: *a* — собственные колебания ядра с основным периодом около 14 ч; *b* — вариация длительности синодического месяца около 5 ч; *v* — собственные колебания внутреннего ядра с периодом 3 ч 18 мин; *г* — собственные колебания с периодом Шулера  $T = 84,5$  мин.

Как можно заметить, влияние параметров движения системы Земля — Луна весьма существенно проявляется в изменении напряженного состояния планеты и как следствие — в сигналах интенсивности электромагнитного излучения. Эти параметры вносят особенности качественного характера в развитие процессов сжатия—растяжения планеты, разрушения структурных связей, поскольку при определенном сочетании параметров колебательные процессы способны, вероятно, породить явления потери устойчивости и резонансные скачки локального напряженно-деформированного состояния. С этой точки зрения, мониторинг естественных электромагнитных излучений (которые объективно присущи планете в целом) и учет собственных колебаний Земли при прогнозах геодинамических процессов во многих случаях могут оказаться принципиально важными.

На рис. 6 верхняя пара графиков соответствует сглаженному исходному сигналу. Выделяются следующие виды колебаний:

- с периодом в одни солнечные сутки;

- приблизительно 14 сут — периодичность возмущения орбитального движения Земли вокруг барицентра в интервале месяца.

Отмечаются некоторые различия в этих двух процессах. С середины месяца наблюдается возмущение на планету, на которое более высокие широты реагируют более инертно, с большим коэффициентом затухания.

**Заключение.** Согласно полученным результатам, существуют каналы как собственных, так и космических воздействий на колебательные процессы Земли. Индикатором этих процессов служат фоновые электромагнитные излучения Земли.

В соответствии с парадигмой возникновения электромагнитных колебаний в Земле, любые собственные колебания планеты приводят к изменению напряженно-деформированного состояния и генерации электромагнитного излучения. Все частоты собственных механических колебаний Земли должны проявляться в спектре электромагнитного излучения. На основании наблюдений за вариаци-

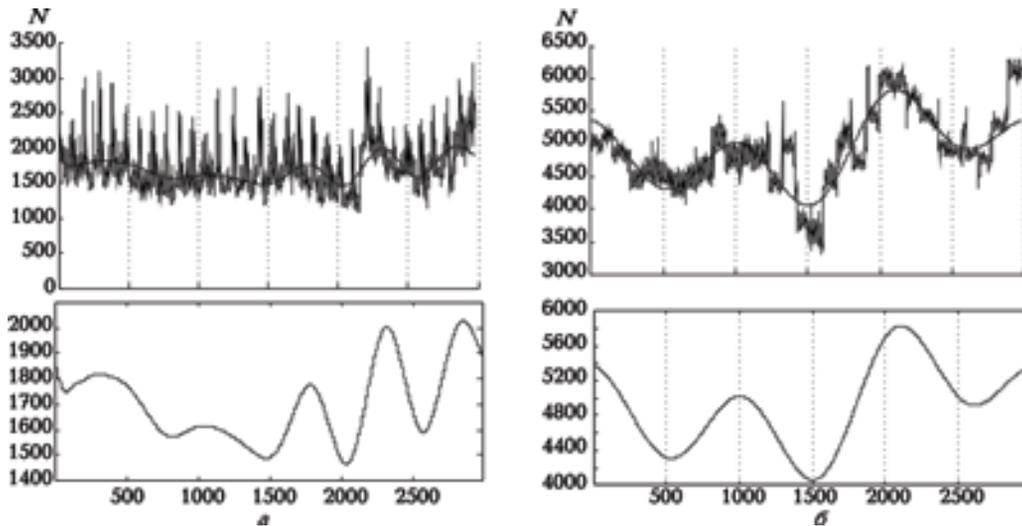


Рис. 6. Вейвлет-разложения сигнала интенсивности электромагнитного излучения на временном интервале, равном одному месяцу: *а* — станции в Украине, *б* — УАС.

ей электромагнитной активности Земли в Антарктиде и сопоставления с аналогичными процессами в Украине установлено, что периоды

часового диапазона всех планетарных процессов должны составлять от 1,4 до 24 ч, суточный период — до 14 сут.

### Список литературы

- Альошин Г. В., Богданов Ю. О. Пристрій для вимірювання природного електромагнітного поля Землі з вилученням та точним виміром / Пат. України № 28740 / G01V3 / 12.25.12.2007.
- Баркин Ю. В. К объяснению эндогенной активности планет и спутников: механизм и природа ее цикличности // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ: Материалы междунар. конф. памяти акад. П. Н. Кропоткина (г. Москва, 20—24 мая 2002 г.). — Москва, 2002. — С. 18—21.
- Богданов Ю. А., Павлович В. Н. Неравновесное излучение земной коры — индикатор геодинамических процессов // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 4. — С. 12—24.
- Богданов Ю. А., Павлович В. Н., Шуман В. Н. Спонтанная электромагнитная эмиссия литосферы: состояние проблемы и математические модели // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 4. — С. 20—33.
- Богданов Ю. А., Воронин В. И., Уваров В. Н., Черняков А. М. Электромагнитное проявление структуры недр // Геофиз. журн. — 2003. — 25, № 4. — С. 117—125.
- Вихри в геологических процессах / Под ред. А. В. Викулина. — Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2004. — 297 с.
- Воробьев А. А., Заводовская Е. К., Сальников В. Н. Изменение электропроводности и радиоизлучения горных пород и минералов при физико-химических процессах в них // Докл. АН СССР. — 1975. — 220, № 1. — С. 82—85.
- Гольдин С. В. Физика "живой" Земли // Проблемы геофизики XXI века. Кн. 1. — Москва: Наука, 2003. — С. 17—36.
- Гришаев А. А. Свидетельства об одномерности колебаний земли в кинематике пары Земля — Луна // Метрология. — 2007. — № 3. — С. 34—39.

- Гульельми А. В. Инерционные эффекты в коре и в магнитосфере Земли // Физика Земли. — 2008а. — № 1. — С. 50—56.
- Гульельми А. В. Нелинейность геоэлектромагнитных волн // Геофиз. исследования. — 2008б. — 9, № 3. — С. 16—24.
- Гульельми А. В. Ультранизкочастотные волны в коре и в магнитосфере Земли // Успехи физ. наук. — 2007. — 177, № 2. — С. 1257—1276.
- Кобаев А. В., Руденко В. Н. Спектроскопия земных колебаний с помощью гравитационно-волновых интерферометров // Письма в ЖЭТФ. — 1994. — 59, вып. 9. — С. 630—633.
- Линьков Е. М. Длиннопериодный магнетронный сейсмограф // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. — 1963. — № 9. — С. 1357—1360.
- Линьков Е. М., Петрова Л. Н. Опыт регистрации длиннопериодных колебаний с помощью магнетронного сейсмографа // Исследование длиннопериодных сейсмических волн / Под ред. Е. Ф. Саваренского. — Минск, 1976. — С. 51—57.
- Линьков Е. М., Петрова Л. Н., Зурошвили Д. Д. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с ними возмущения атмосферы // Докл. АН СССР. — 1989. — 306, № 2. — С. 314—317.
- Линьков Е. М., Типисев С. Я., Буценко В. В. Помехоустойчивость длиннопериодного сейсмографа и анализ его записей // Геофизическая аппаратура. — Ленинград: Недра, 1982. — Вып. 75. — С. 78—87.
- Линьков Е. М., Орлов Е. Г., Петрова Л. Н., Карпинский В. В. Сейсмогравиметрический комплекс // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики / Под ред. А. В. Николаева. — Москва, 1996. — С. 252—259.
- Милановский Е. Е. Пульсации Земли // Геотектоника. — 1995. — № 5. — С. 3—24.
- Олсон Л. Е., Саттон Дж. Х., Юинг М. Наблюдение собственных колебаний Земли с помощью стрейн- и маятниковых сейсмографов // Собственные колебания Земли. — Москва: Мир, 1964. — С. 80—105.
- Осипов К. С. Адаптивный анализ нестационарных временных рядов при исследовании сейсмических колебаний в диапазоне периодов 0,5—5 часов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Санкт-Петербург, 1992. — 110 с.
- Петрова Л. Н. Статистический анализ спектров длиннопериодных колебаний Земли в диапазоне периодов 10—20 минут: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Ленинград, 1983. — 157 с.
- Саговский М. А. Новая модель геофизической среды // Българско геофизично списание. — 1985. — 12, № 2. — С. 3—10.
- Саломатин В. Н., Защинский Л. А., Мاستов Ш. Р. Применение метода регистрации ИЕМПЗ при комплексном изучении массивов горных пород к Крыму // Геофизические основы контроля напряжений в горных породах. — Новосибирск, 1993. — С. 27—31.
- Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. — Москва: Изд-во МГУ, 2002. — 506 с.
- Тверитинов Ю. Т., Тверитинова Т. Ю. Закономерность смены структурных планов в складчатых областях // Вестн. КРАУНЦ. Сер. наук о Земле. — 2006. — № 1(7). — С. 67—94.
- Тихонов В. И., Хищенко В. А. Проблема пересечений уровней случайными процессами // Радиотехника и электроника. — 1998. — 43, № 5. — С. 501—523.
- Хаин В. Е., Ломигзе М. Г. Геодинамика с основами геотектоники. — Москва: КДУ, 2005. — 560 с.
- Хаин В. Е., Халилов Э. Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. — Бургас: Междунар. науч. изд-во SWB, 2008. — 304 с.
- Шуман В. Н., Богданов Ю. А. Импульсное электромагнитное излучение литосферы: спорные вопросы теории и полевой эксперимент // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 2. — С. 32—41.
- Шуман В. Н., Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива // Геоинформатика. — 2008. — № 2. — С. 22—50.

- Anderson C., Long A., Ziolkovski A., Hobbs B., Wriht D.* Multi-transient EM technology in practice // *Fierst Break.* — 2008. — **26**, № 3. — P. 93—102.
- Guglielmi A. et al.* Fluctuations of the repetition period of Pc1 pearl pulsations // *Geophys. Res. Lett.* — 1996. — **23**. — P. 1041—1044.
- Hudson M., Denton R., Lessard M., Miftakhova E., Anderson R.* A study of Pc5 ULF oscillations // *Ann. Geophys.* — 2004. — **22**, is. 1. — P. 289—302.
- Matsuoka H., Takahashi K., Kokubun S., Yumoto K., Yamamoto T., Solovyev S.I., Vershinin E.F.* Phase and amplitude structure of Pc3 magnetic pulsations as determined from multipoint observations // *J. Geophys. Res.* — 1997. — **102**, is. A2. — P. 2391—2404.
- Oksman J., Rosenberg T.J., Lanzerotti L.J., MacLennan C.G., Singer H.J.* Study of a conjugate Pc5-6 magnetic and absorption pulsation event at subauroral latitudes in the morning sector // *J. Geophys. Res.* — 1988. — **93**. — P. 5589—5599.