

УДК 550.385.27+550.34

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ РИТМОВ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ И СЕЙСМИЧНОСТИ

© 2016 г. А.В. Дещеревский, А.Я. Сидорин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Для проверки гипотезы о возможном влиянии геомагнитных вариаций на сейсмичность детально исследована структура суточных ритмов сейсмичности на Гармском полигоне и геомагнитной активности по данным Ташкентской астрономической обсерватории (индекс ТКТ8). В качестве объектов сравнения рассматривались: 1) форма суточной вариации и ее сезонные изменения; 2) изменения во времени специальных коэффициентов, показывающих вариации амплитуды и устойчивости (стабильности) суточной вариации. Установлено, что динамика всех перечисленных параметров суточного ритма для сейсмической и геомагнитной активности существенно отличается. Проведенный анализ не подтверждает гипотезу о возможном влиянии слабых геомагнитных вариаций на фоновую сейсмичность Гармского района Таджикистана.

*Ключевые слова:* сейсмичность, Гармский полигон, геомагнитная активность, Ташкентская астрономическая обсерватория, суточный ритм, структура суточных ритмов.

### Введение и постановка задачи

Важную роль в эволюции сейсмического процесса играют триггерные эффекты, возникающие в результате воздействия на земную кору различных внешних факторов [Триггерные..., 2013]. В качестве возможных факторов, выступающих в роли триггера землетрясений, рассматриваются самые разнообразные процессы и явления, в том числе изменения солнечной активности и связанные с этим возмущения геомагнитного поля Земли.

Однако результаты экспериментальной проверки гипотезы о связи сейсмичности с этими воздействиями на земную кору противоречивы. С одной стороны, в цикле работ Г.А. Соболева с соавторами [Соболев и др., 1998, 2001; Закржевская, Соболев, 2002, 2004] надежно выявлена статистически значимая связь генезиса землетрясений с геоэффективными вспышками на Солнце и магнитными бурями с внезапным началом. В работе [Бахмутов и др., 2007] установлено, что землетрясения в зоне Вранча предва-

ряются возмущениями  $H$ -компоненты геомагнитного поля, причем время запаздывания момента возникновения землетрясения зависит от глубины очага. В ноябре–декабре 2004 г. к быстрым геомагнитным возмущениям были приурочены 7 землетрясений магнитудой более 6.8, включая катастрофическое Суматранское землетрясение магнитудой  $M_w = 9.0\text{--}9.3$  [Anagnostopoulos, Papandreou, 2012]. Подобные эффекты наблюдались и на уровне слабой локальной сейсмичности [Адушкин и др., 2012].

С другой стороны, А.В. Гульельми с соавторами [2015] в результате статистического исследования вопроса о возможном воздействии внезапно начинающихся магнитных бурь на глобальную сейсмическую активность с высокой степенью достоверности установили, что до геомагнитного возмущения землетрясений происходит заметно больше, чем после него, т.е. магнитные бури не вызывали землетрясения, как можно было сделать вывод по результатам цитированных выше работ, а наоборот – препятствовали их возникновению. Следует, однако, отметить важную методическую особенность обсуждаемой работы: в ней сейсмичность анализировалась на временных интервалах длительностью 1 ч до и 1 ч после возникновения внезапного магнитного возмущения, в то время как в цитированных ранее работах рассматривались более длительные временные интервалы.

В некоторых публикациях описываются результаты исследований, когда связи между магнитными бурями и сейсмичностью не обнаружено. В качестве примера сошлемся на работу [Yesugey, 2009], в которой анализировалась весьма представительная база данных о сейсмичности Анатолийского полуострова за 41 год наблюдений – с 1965 по 2005 г. Был сделан вывод об отсутствии связи между сопоставляемыми явлениями. Не выявлено влияния геомагнитной активности и на локальную сейсмичность Гармского района Таджикистана [Децеровский и др., 2007].

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос о возможной связи с вариациями геомагнитного поля суточной периодичности землетрясений. Эта периодичность обнаружена в различных регионах мира [Davison, 1938; Журавлев, Сидорин, 2006], однако вопрос о механизмах ее возникновения остается дискуссионным. В качестве одного из них рассматривается возможность природного или техногенного электромагнитного воздействия на земную кору, выступающего в роли триггера землетрясений [Duma, Vilardo, 1998; Duma, Ruzhin, 2003; Tzanis, 2003, 2010; Сидорин, 2004, 2005, 2010; Ding et al., 2004; Rabeh et al., 2010; Cataldi et al., 2013; Duma et al., 2015]. Отметим также обнаруженную в работах [Гаврилов и др., 2010, 2015] связь суточной периодичности геоакустической эмиссии и слабых землетрясений с электромагнитным излучением естественного происхождения СНЧ-диапазона.

В работах [Duma, Vilardo, 1998; Duma, Ruzhin, 2003; Duma et al., 2015] обсуждаемая связь продемонстрирована на примере сопоставления формы суточного хода сейсмичности и регулярных изменений магнитного поля Земли ( $S_q$ -вариаций) в нескольких регионах мира. В работах [Duma, Ruzhin, 2003; Duma et al., 2015] предложен возможный механизм влияния геомагнитных вариаций на сейсмичность на основе модели электромеханической связи ионосферы с литосферой. В основе модели – взаимодействие токов, индуцированных в Земле  $S_q$ -вариациями, с региональным магнитным полем Земли. Оценки энергетического эффекта такого взаимодействия и ожидаемого изменения сейсмичности неплохо согласуются с приведенными в этих работах экспериментальными данными.

В работе [Tzanis, 2010] в результате проверки возможности влияния  $S_q$ -вариаций на сейсмичность Греции был сделан вывод, что по крайней мере 12–15 % землетрясений магнитудой  $M \geq 4.0$  за период с 1974 по 2003 г. могли быть спровоцированы воздействием на литосферу  $S_q$ -вариаций. Вместе с тем отмечено, что эффект носит спорадиче-

ский характер, сильно зависит от геометрии разломов, уровня тектонических напряжений и дополнительных напряжений, вызываемых  $S_q$ -вариациями.

Дальнейшие исследования в этом направлении целесообразно проводить по данным о фоновых вариациях локальной сейсмичности. В этом случае поиск корреляций между двумя наборами сильных событий заменяется поиском зависимости между временными рядами с равномерным опросом с относительно высокой частотой наблюдений (часы и менее), что обеспечивает достаточную статистику для применения самых разных методов поиска корреляций. При этом необходимо использовать достаточно однородные данные о сейсмичности на всем интервале наблюдений.

Исходя из этих требований, мы использовали для анализа данные о сейсмичности Гармского полигона [Гармский..., 1990]. Этот полигон уникален тем, что в течение почти 40 лет его сейсмическая сеть сохраняла приблизительно одинаковую конфигурацию, а это обеспечивает однородность каталога. Общее число зарегистрированных событий превышает 90 тыс., суточная периодичность обнаружена во временных рядах как слабых, так и сильных землетрясений [Сидорин, 2004, 2008]. Кроме того, на Гармском полигоне в результате многолетних наблюдений обнаружены локальные тектономагнитные эффекты перед местными землетрясениями [Нерсесов и др., 1979].

Особенность настоящей работы состоит в том, что в ней сравнивались между собой не исходные временные ряды сейсмичности и геомагнитной активности, а особенности их суточных ритмов. В качестве объектов сравнения рассматривались: 1) форма суточной вариации и ее сезонные изменения; 2) изменения во времени специальных коэффициентов, показывающих вариации амплитуды и устойчивости (стабильности) суточной вариации.

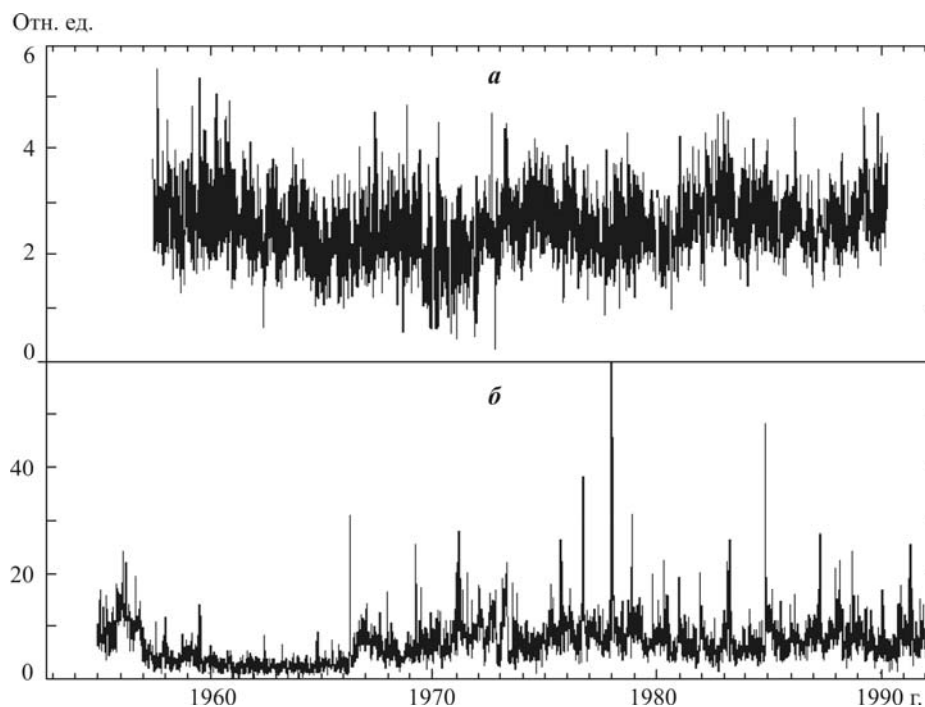
Согласованные изменения перечисленных параметров суточных ритмов сейсмической и геомагнитной активности могут свидетельствовать о возможном наличии причинно-следственной связи между указанными вариациями. И наоборот, если окажется, что указанные параметры для двух сопоставляемых процессов меняются независимо, это продемонстрирует отсутствие как прямого взаимовлияния сейсмической и геомагнитной активности, так и влияния на них каких-то общих управляющих факторов.

Таким образом, цель работы – исследование структуры суточных ритмов сейсмической и геомагнитной активности на Гармском полигоне и проверка гипотезы о возможном наличии согласованных изменений суточного хода сопоставляемых процессов. Отметим, что ранее мы уже изучали корреляционную связь между сейсмичностью Гармского полигона и региональной геомагнитной активностью (индекс ТКТ8) и каких-либо значимых корреляций не выявили [Дещеревский и др., 2007]. Однако в указанной работе суточные ритмы вообще не рассматривались, а изучаемые ряды были в несколько раз короче и содержали данные только за период после 1980 г.

### Исходные данные

В работе анализируется региональный индекс геомагнитной активности (индекс ТКТ8) по данным наблюдений на Ташкентской астрономической обсерватории (индекс ТКТ8), данные с 1957 по 1990 г., дискретность – 3 ч. Используются данные, предоставленные Мировым центром данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ, г. Москва).

Данные о геомагнитной активности сопоставлялись с фоновой сейсмичностью Гармского полигона (рис. 1). Почасовой ряд количества землетрясений строился путем суммирования всех произошедших за час землетрясений, включенных в каталог.



**Рис. 1.** Исходные ряды геомагнитной активности (*a*) и почасового количества землетрясений, зарегистрированных на Гармской полигоне (*б*)

Понятно, что основной вклад в этот ряд вносит именно фоновая сейсмичность. Однако и наиболее сильные землетрясения тоже дают заметный эффект, поскольку таким землетрясениям, как правило, сопутствует последующая серия афтершоков, наиболее частых именно в первые часы после события.

### Предварительная фильтрация рядов

Для наилучшего выделения суточного ритма из сопоставляемых рядов предварительно из них были отфильтрованы все длиннопериодные вариации, которые при использовании описанного метода анализа являются помехами, поскольку могут вносить искажения в характеристики сопоставляемых ритмов. Для ряда ТКТ8 дисперсия приблизительно постоянна в течение периода наблюдений, поэтому из этого ряда просто отфильтровывались низкие частоты. Низкочастотный тренд оценивался методом ядерного скользящего среднего с шириной окна 15 сут. Для улучшения частотной характеристики фильтра использовалась гауссова весовая функция окна.

Заметим, что геомагнитный индекс ТКТ8 имеет логарифмическую шкалу, поэтому магнитные возмущения слабо влияют на различные средние, формально рассчитываемые по этому ряду путем суммирования по большим интервалам времени. Для проверки этого утверждения часть расчетов (оценка сезонного и суточного хода, некоторые корреляции и др.) выполнены в двух вариантах: по исходному ряду ТКТ8 и по ряду с отфильтрованными магнитными бурями. Фильтрация магнитных бурь проводилась путем исключения значений индекса, равных 6 и выше. Оказалось, что результаты практически идентичны в обоих случаях. Так, корреляция между двумя вариантами среднегодовых или среднесуточных вариаций составляет 0.999 и 0.998 соответственно.

Использование логарифмической шкалы подразумевает, что эффект возможного влияния геомагнитной активности на сейсмичность существенно нелинеен. Заметим,

что вполне возможна и альтернативная модель, предполагающая, что сейсмичность реагирует в первую очередь на наиболее сильные геомагнитные бури. Однако целью настоящей работы является поиск статистических связей именно между относительно слабыми изменениями геомагнитной активности и сейсмичности.

Аналогичные искажения в рассматриваемые ритмы могут вносить и длиннопериодные вариации сейсмической активности. Поэтому такие вариации были исключены из анализа, для чего проводилась фильтрация низких частот с использованием мультипликативной модели [Децеровский, Сидорин, 2000].

Фильтрация включала три шага.

Во-первых, был оценен тренд среднего уровня сейсмической активности. Для этого ряд был сглажен скользящим средним (ширина окна 15 сут, окно симметричное, использовалась треугольная весовая функция окна).

Во-вторых, исходный ряд количества землетрясений был поделен на ряд скользящего среднего (т.е. на ряд тренда). Полученное отношение фактически показывает, во сколько раз количество землетрясений в данный час больше взвешенного среднечасового количества землетрясений в пределах данного окна осреднения, что обеспечивает соизмеримость суточных вариаций в разные периоды наблюдений между собой. Это позволяет при обработке использовать метод накопления, причем данные разных интервалов наблюдений войдут в итоговые суммы с одинаковым весом.

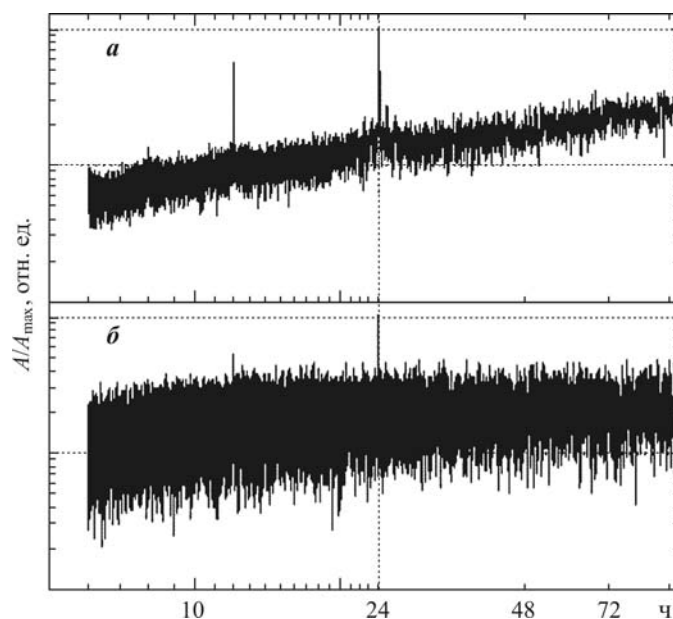
В-третьих, для устранения высокочастотного шума полученный ряд был сглажен 5-часовым взвешенным скользящим средним (гауссова весовая функция окна). Такое сглаживание улучшает отношение сигнал/шум при выделении суточного ритма, что позволяет использовать меньшие окна накопления при выделении суточной вариации и обеспечить мониторинг изменения ее свойств во времени. Отметим также, что региональный геомагнитный индекс ТКТ8 имеет дискретность наблюдений 3 ч, и это ограничивает возможный частотный диапазон для анализа периодами от 6 ч и длиннее.

В результате выполненной фильтрации были выровнены среднее значение и дисперсия ряда вариаций сейсмической активности. Все описанные ниже расчеты выполнены по отфильтрованным рядам с выровненными средним и дисперсией.

### Анализ спектров

Спектры сопоставляемых рядов приведены на (рис. 2). В рассматриваемой полосе частот явно выделяются особенности в виде яркого экстремума на суточном (24.0 ч) и менее выраженного на полусуточном (12.0 ч) периодах. Суточный период является общим для обоих рассматриваемых процессов. Полусуточный максимум спектра четко фиксируется для геомагнитной активности и едва заметен для ряда сейсмической активности.

Наличие преобладающей суточной вариации в сопоставляемых процессах, казалось бы, подтверждает гипотезу о возможной согласованности этих процессов или взаимосвязи. Однако суточный ритм может быть обусловлен совершенно разными управляющими факторами, и само по себе его наличие в двух процессах еще не доказывает физически обусловленную связь между ними. С другой стороны, несовпадение вида спектров на полусуточном периоде еще не говорит о различном генезисе наблюдаемых суточных вариаций, поскольку эти вариации наблюдаются в различных средах, и их отклик даже на одинаковое управляющее воздействие может быть различным на различных частотах.



**Рис. 2.** Спектры отфильтрованного ряда геомагнитной активности (*а*) и нормированного ряда относительной сейсмической активности на Гармском полигоне (*б*)

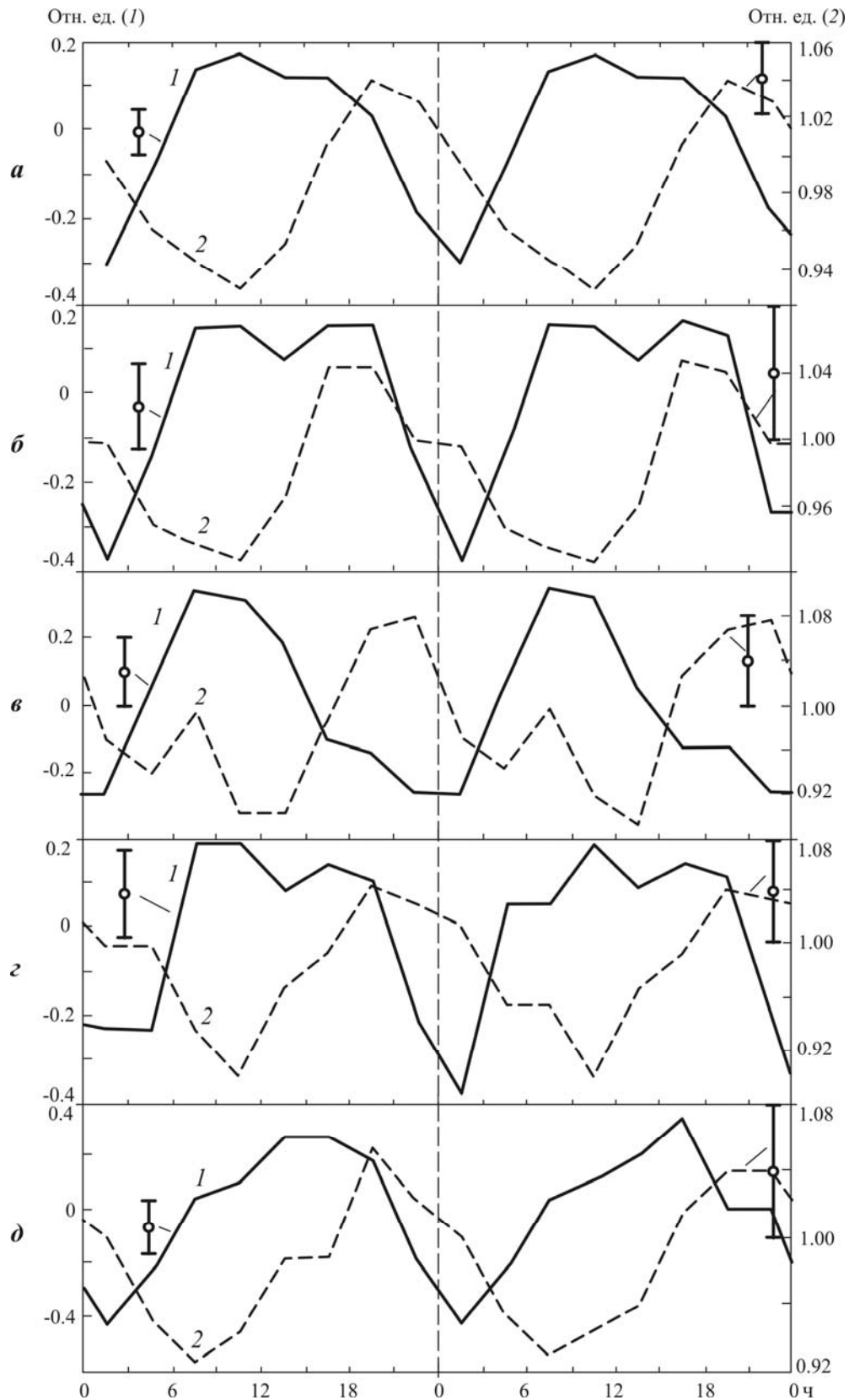
По результатам анализа спектров можно сделать вывод о наличии в двух сопоставляемых рядах отчетливо выраженного суточного ритма. Сопоставление его характеристик во временных рядах сейсмической и геомагнитной активности может быть использовано для исследования вопроса о возможной связи двух этих процессов.

### Среднегодовое суточное изменение

Расчет среднегодовой суточной вариации для обоих параметров выполнялся по методу наложения эпох согласно [Децеровский, Сидорин, 1999]. Среднегодовое суточное изменение показано на рис. 3, *а*. Расчет погрешности оценки среднесуточной вариации, выполненный по той же методике, показывает, что в обоих случаях суточная вариация выделяется абсолютно надежно, ее амплитуда в 7–9 раз превосходит погрешность.

Как видно на рис. 3, *а*, несмотря на сходную, квазисинусоидальную форму среднегодовой суточной вариации, фазы суточного хода геомагнитной активности и сейсмичности различны. Для геомагнитной активности максимум имеет место около 9 ч (по Гринвичу), минимум около 0 ч. Для ряда сейсмической активности максимум наблюдается в 18 ч, минимум в 9 ч. Это означает, что суточная вариация не является ни синфазной, ни противофазной – есть все основания говорить о несогласованной структуре среднегодовых суточных ритмов сопоставляемых процессов. С учетом трехчасового шага наблюдений и 24-часового периода фаза вариации в обоих случаях определяется с точностью до  $\pi/4$  (во всяком случае, не лучше, учитывая отличие формы кривой от синусоиды).

Таким образом, надо признать, что отличия между средними суточными вариациями очень заметны, и они не могут быть списаны на случайные флуктуации формы суточного ритма, возникающие из-за каких-то шумов.



**Рис. 3.** Оценка среднегогодового суточного хода геомагнитной активности (1) и относительной сейсмической активности (2) на Гармском полигоне по всему сроку наблюдений (а), а также по данным за отдельные сезоны года: 12.02–11.05 (б), 12.05–11.08 (в), 12.08–11.11(г), 12.11–11.01(д). Для наглядности показано по два периода суточной вариации

### Сезонные изменения формы суточной вариации

Помимо среднего суточного ритма за весь срок наблюдений, для каждого ряда был также оценен средний суточный ход для каждого из четырех сезонов года: 12.02–11.05, 12.05–11.08, 12.08–11.11, 12.11–11.01. Для расчета средней суточной вариации суммировались данные за соответствующие периоды всех лет. Полученные графики приведены на рис. 3, б–д. Погрешность оценки суточной вариации здесь примерно вдвое больше, чем на рис. 3, а, из-за соответствующего уменьшения количества данных, использованных для расчетов.

Сравнение кривых суточного ритма сейсмичности (см. рис. 3, б–д, кривые 2) не позволяет выявить значимых изменений от сезона к сезону. Все изменения не превышают погрешность. Кривые суточного хода геомагнитной активности (см. рис. 3, б–д, кривые 1) в течение трех сезонов (весна, зима, осень) также статистически неразличимы. Разница между кривыми укладывается в  $\pm(1-2)\sigma$ . Для летнего сезона (12.05–11.08) остаются некоторые сомнения: в 18 и 21 ч отклонение от среднесуточной кривой достигает  $\pm(2-3)\sigma$ . Однако уверенно утверждать, что эти отличия значимы, нельзя.

Проведенный анализ в целом не позволил выявить каких-либо согласованных изменений формы средней суточной вариации сейсмической и геомагнитной активности в разные сезоны года.

### Изменения амплитуды суточного ритма

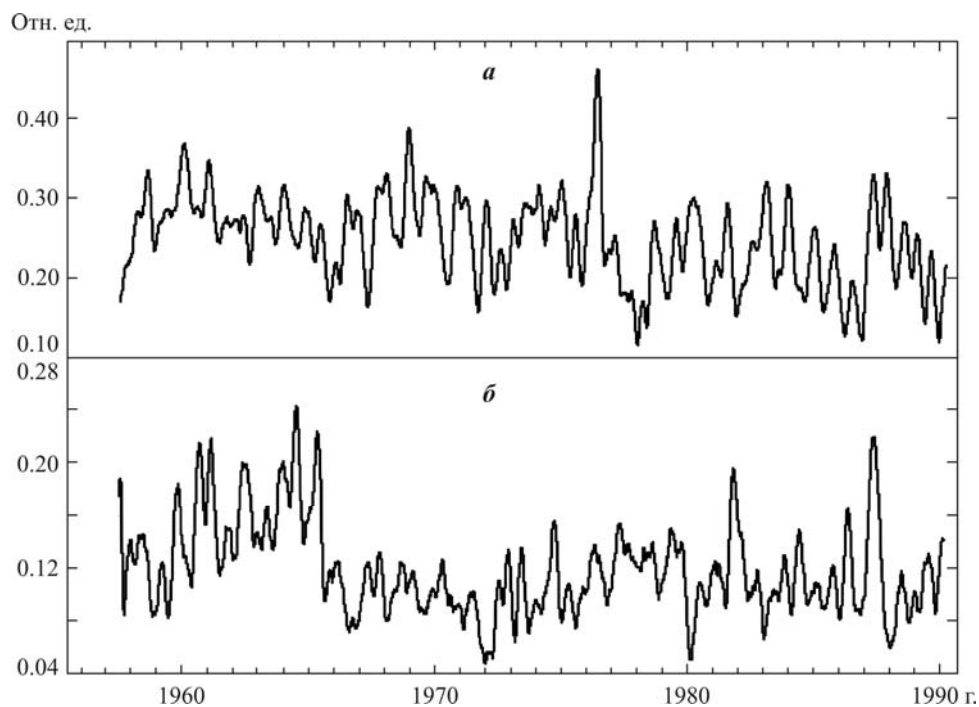
Для изучения временной динамики суточного ритма был применен алгоритм, позволяющий рассчитывать среднюю суточную вариацию методом наложения эпох в скользящем окне. Ширина окна составила 3 мес., на каждом шаге окно сдвигалось на 1 сут. В результате для каждого момента времени была рассчитана средняя суточная вариация, осредняющая суточный ритм за полтора месяца до и полтора месяца после текущих суток. Амплитуда суточной вариации оценивалась как стандартное отклонение суточной вариации в скользящем окне шириной 3 мес.

Построенные графики изменения амплитуды суточного ритма приведены на рис. 4. Как видно, амплитуда суточной вариации сопоставляемых процессов испытывает квазирегулярные вариации с течением времени, в которых можно даже усмотреть определенную аналогию. Для проверки того, насколько согласованно происходят эти изменения амплитуды, была исследована взаимно корреляционная функция (ВКФ) анализируемых временных рядов (рис. 5) В целом по всему сроку наблюдений корреляция между рядами амплитуд суточного хода равна 0.08, при этом 95%-ный уровень значимости (с учетом автокорреляций) составляет примерно 0.17. При ненулевых задержках значимые экстремумы также отсутствуют.

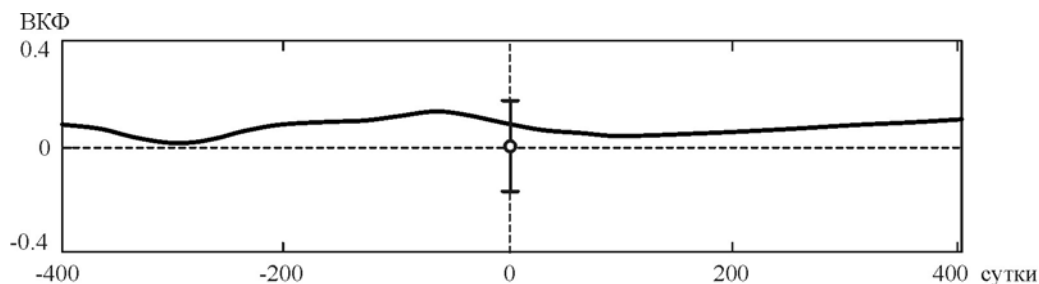
Максимальное значение ВКФ не превышает порога значимости и равно 0.13, причем оно достигается не на нулевом или близком к нулю лаге (что можно было бы ожидать в случае причинной связи между сопоставляемыми параметрами), а при задержке –65 сут. При этом вариации амплитуды суточного хода сейсмичности опережают вариации амплитуды суточного хода геомагнитной активности. Полученные результаты однозначно указывают на то, что изменения амплитуды суточного ритма геомагнитной и сейсмической активности не имеют значимых согласованных особенностей, которые могли бы указывать на взаимосвязь этих процессов.

Для проверки существования сезонных изменений амплитуды суточного хода были проведены расчеты среднесезонной кривой по методу наложения эпох. Проведенный анализ показал, что для ряда количества землетрясений сезонные изменения амплитуды





**Рис. 4.** Изменения амплитуды суточного хода геомагнитной активности (а) и относительной сейсмической активности (б) на Гармском полигоне



**Рис. 5.** Взаимная корреляционная функция изменений амплитуды суточного хода геомагнитной активности и относительной сейсмической активности

суточного года лишь ненамного превосходят погрешность оценки (величина изменений близка к  $2\sigma$ ). Сезонные изменения амплитуды суточного хода геомагнитной активности несколько выше, они примерно втрое превосходят погрешность оценки. Таким образом, сезонная вариация в обоих случаях присутствует, однако выделяется не очень надежно. Анализ формы и фазы кривых сезонного хода амплитуды суточной вариации показывает, что какого-либо согласия между основными модами сезонных кривых не наблюдается.

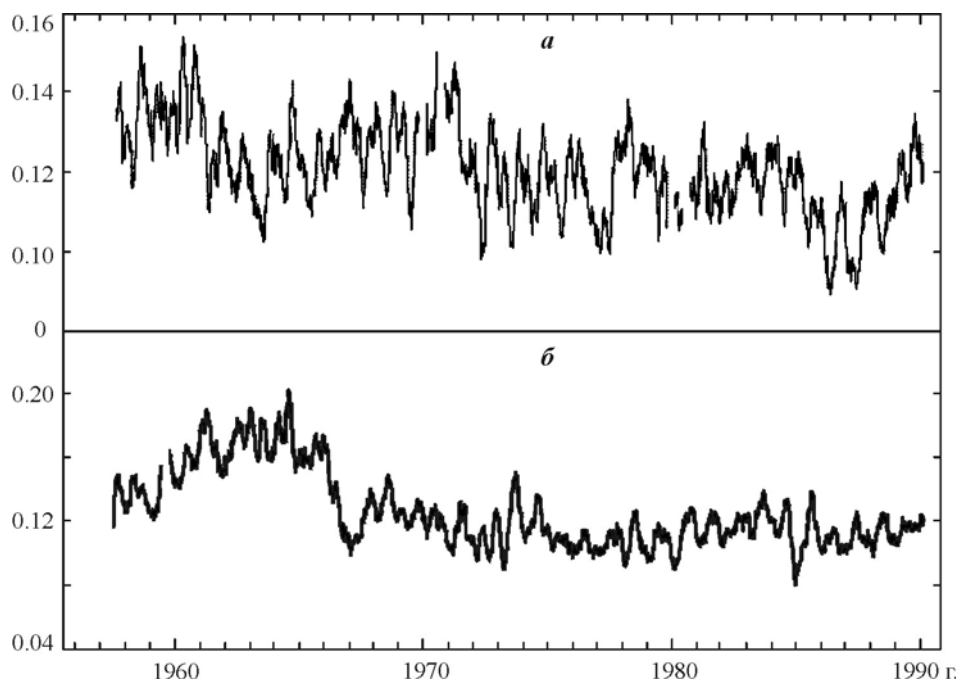
Аналогичные результаты отсутствия согласованных вариаций амплитуды суточного хода (совпадающих периодов и т.п.) дал также анализ спектров и автокорреляционных функций. Поэтому можно заключить, что медленные изменения амплитуды суточного ритма в обоих случаях имеют квазистохастический характер, без каких-либо выделенных ритмов. Не обнаружено никаких признаков синхронной модуляции амплитуд су-

точного хода сейсмической и геомагнитной активности. Это означает, что имеющиеся данные не дают оснований предполагать наличие физической связи между суточными ритмами сейсмической и геомагнитной активности.

### Изменения стабильности суточного ритма во времени

Коэффициент нестабильности суточной вариации рассчитывался как стандартное отклонение ряда разницы между средней суточной вариацией за 3 мес. и индивидуальными суточными вариациями за каждый день из этого периода [Децеровский, Сидорин, 2002]. Стандартное отклонение оценивалось в скользящем окне шириной 3 мес. Фактически ряд коэффициента нестабильности (рис. 6) показывает, насколько неустойчив суточный ритм в ту или иную эпоху.

Как видно на рис. 6, *а*, для ряда геомагнитной активности нестабильность была выше в начале срока наблюдений (1957–1961 гг.) и ниже в конце 1980-х годов (1986–1989 гг.). Для ряда количества землетрясений (см. рис. 6, *б*) нестабильность суточного ритма выше в период до 1966 г., затем она выравнивается. Возможно, это связано с особенностями системы обработки сейсмических записей.



**Рис. 6.** Вариации коэффициента нестабильности суточного хода геомагнитной активности (*а*) и относительной сейсмической активности (*б*)

Как показывает анализ, ход изменения коэффициентов нестабильности суточной вариации для сейсмической и геомагнитной активности существенно различается. Коэффициент корреляции для двух этих рядов равен 0.24, однако, как показал анализ диаграмм рассеяния и ВКФ, эту корреляцию вряд ли можно расценивать как значимую, поскольку она преимущественно обусловлена наличием в обоих рядах частично совпадающих бухтообразных максимумов в начале срока, а также годовой вариации. При разбиении рядов на участки продолжительностью от 10 лет и более корреляция исчезает.

Был рассчитан также сезонный ход коэффициентов неустойчивости. Оказалось, что средний годовой ход коэффициентов неустойчивости также существенно различается. Для сейсмической активности максимальная неустойчивость наблюдается летом, минимальная – зимой. Для геомагнитной активности минимум неустойчивости наблюдается в конце весны – начале лета, максимум – в осенние месяцы.

Таким образом, анализ коэффициентов неустойчивости не выявил каких-либо согласованных изменений этих коэффициентов.

### Обсуждение результатов

Рассмотренные в настоящей работе ряды геомагнитных и сейсмических наблюдений не идеальны. Как для сейсмической, так и для геомагнитной активности имеются указания на некоторые нарушения однородности данных. Для ряда сейсмической активности некоторые изменения структуры ряда, по-видимому, наблюдались около 1966 г.; для ряда геомагнитной активности нельзя исключить некоторых изменений структуры около 1970 г. и около 1977 г. Однако использованный в работе метод анализа в известной степени устойчив к таким нарушениям однородности, как изменения среднего или дисперсии, поскольку расчеты проводились по выровненным рядам. Мониторинг параметров суточного ритма позволяет отвлечься от абсолютных изменений и сравнивать между собой относительные вариации, что также повышает устойчивость метода по отношению к нарушениям однородности. Достаточно большая продолжительность наблюдений позволяет не только оценить степень согласия между параметрами в целом по ряду, но и рассмотреть отдельно менее длительные интервалы, в течение которых условие однородности можно считать выполненным с приемлемой точностью для обоих сопоставляемых рядов.

Все выполненные авторами расчеты и тесты показывают, что динамика параметров суточной ритмики для геомагнитной и сейсмической активности неодинакова. Если бы между процессами существовала причинная связь или имелось общее модулирующее воздействие, то такое согласие должно было бы наблюдаться – и оно неизбежно было бы выявлено.

### Выводы

Как известно, суточный ритм присутствует в вариациях многих геофизических параметров. Наличие общих ритмов в вариациях тех или иных физических величин часто трактуется как указание на общность причин, вызывающих эти вариации. В данной работе с этой точки зрения рассмотрены суточные вариации сейсмической и геомагнитной активности на Гармском полигоне в Таджикистане.

Несмотря на относительно небольшую интенсивность суточных вариаций сейсмической активности, применение специальных методов обработки позволяет не только выделить суточный ритм на фоне шумов, но и оценить различные параметры суточной ритмики – среднюю форму суточной вариации, ее фазовые характеристики, динамику изменений амплитуды и стабильности суточной вариации во времени. Как показывает анализ, динамика всех перечисленных параметров суточного ритма для сейсмической и геомагнитной активности существенно отличается. Это свидетельствует о независимости причин, вызывающих суточные вариации сейсмической и геомагнитной активности.

Таким образом, на основе использованных данных и методов их анализа подтвердить гипотезу о возможном влиянии геомагнитных вариаций умеренной амплитуды на фоновую сейсмичность не удалось. Но поскольку, как отмечалось в работе [Tzanis, 2010], эффект зависит от многих региональных особенностей, это не исключает того, что он может проявляться в других регионах. Кроме того, в настоящей работе не изучалось возможное влияние на сейсмичность сравнительно редких геомагнитных возмущений высокой амплитуды. Использованный метод анализа основан на суммировании (накоплении) вариаций логарифмического индекса ТКТ8. Поэтому возможные эффекты, связанные с магнитными бурями, оказывают значительно меньшее влияние на рассчитываемые характеристики (результаты анализа), чем регулярные геомагнитные вариации умеренной амплитуды.

### Литература

- Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А. Отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации // Докл. РАН. 2012. Т. 444, № 3. С. 304–308.
- Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Геомагнитная возмущенность и землетрясения в зоне Вранча // Физика Земли. 2007. № 11. С. 30–36.
- Гаврилов В.А., Журавлев В.И., Морозова Ю.В. О связи эффекта суточной периодичности слабых землетрясений с вариациями естественного электромагнитного СНЧ-излучения // Докл. РАН. 2010. Т. 435, № 4. С. 535–540.
- Гаврилов В.А., Полтавцева Е.В., Децеровский А.В., Бусс Ю.Ю., Морозова Ю.В. Мониторинг состояния геосреды на основе синхронных геоакустических и электромагнитных скважинных измерений: Использование естественного электромагнитного излучения // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51, № 4. С. 41–57.
- Гармский геофизический полигон / Отв. ред. А.Я. Сидорин. М.: ИФЗ АН СССР, 1990. 240 с.
- Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 98–103. doi: 10.12737/5694.
- Децеровский А.В., Сидорин А.Я. Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 40 с.
- Децеровский А.В., Сидорин А.Я. Две модели сезонных вариаций геофизических полей // Физика Земли. 2000. № 6. С. 14–25.
- Децеровский А.В., Сидорин А.Я. Исследования корреляции активности слабоэлектрических рыб с метеорологическими и геофизическими процессами // Геофизические процессы и биосфера. 2002. Т. 1, № 2. С. 44–61.
- Децеровский А.В., Сидорин А.Я., Харин Е.П. Результаты взаимного корреляционного анализа сейсмичности Гармского полигона и геомагнитных и гелиогеофизических параметров // Геофизические исследования. 2007. Т. 7. С. 14–28.
- Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Высокодобротные экстремумы в спектрах сейсмичности разных регионов мира // Докл. РАН. 2006. Т. 407, № 2. С. 252–257.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. 2002. № 4. С. 3–15.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 63–75.
- Нерсесов И.Л., Сквородкин Ю.П., Гусева Т.В. Результаты комплексных исследований на Гармском геодинамическом полигоне // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1979. № 5. С. 47–55.
- Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум // Сейсмические приборы. 2004. Вып. 40. С. 71–80.

- Сидорин А.Я.* Полуденный эффект во временных рядах землетрясений и сейсмического шума // Докл. РАН. 2005. Т. 402, № 6. С. 822–827.
- Сидорин А.Я.* Суточная периодичность сильных землетрясений Гармского полигона // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 3. С. 70–76.
- Сидорин А.Я.* Сопоставление свойств суточной периодичности сейсмического шума, землетрясений и нагрузки промышленной электрической сети // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37, № 4. С. 66–88.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П.* О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С. 62–72.
- Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П.* Геоэффективные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. 1998. № 7. С. 85–90.
- Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы Второго Всероссийского семинара-совещания, г. Москва, 18–21 июня 2013 г. / Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2013. 342 с.
- Anagnostopoulos G., Papandreou A.* Space conditions during a month of a sequence of six  $M > 6.8$  earthquakes ending with the tsunami of 26 December 2004 // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2012. V. 12. P. 1551–1559. doi: 10.5194/nhess-12-1551-2012.
- Cataldi G., Cataldi D., Straser V.* Variations of terrestrial geomagnetic activity correlated to  $M_6+$  global seismic activity // EGU General Assembly 2013. Geoph. Res. Abstr. V. 15. EGU2013-2617. 2013.
- Davison C.* Studies on the periodicity of earthquakes. London: Thomas Murby & Co., 1938. 107 p.
- Ding J., Liu J., Yu S., Xiao W.* Geomagnetic diurnal-variation anomalies and their relation to strong earthquakes // Acta Seismologica Sinica. 2004. V. 17 (Suppl.). P. 85–93.
- Duma G., Vilardo G.* Seismicity cycles in the Mt. Vesuvius area and their relation to solar flux and the variations of the Earth's magnetic field // Phys. Chem. Earth. 1998. V. 23, N 9/10. P. 927–931.
- Duma G., Ruzhin Y.* Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic  $S_q$ -variations // Natur. Hazards and Earth System Sci. 2003. V. 3. P. 171–177.
- Duma G., Freund F., Kosovichev P.* Theory and case studies on solar induced seismicity // EGU General Assembly 2015. Geoph. Res. Abstr. 2015. V. 17. EGU2015-1486-1.
- Rabeh T., Miranda M., Hvozدارa M.* Strong earthquakes associated with high amplitude daily geomagnetic variations // Natural Hazards. 2010. V. 53. P. 561–574. doi: 10.1007/s11069-009-9449-1.
- Tzanis A.* Can earthquakes be triggered by diurnal geomagnetic variations? Observational evidence from Greece and abroad // EGS–AGU–EUG Joint Assembly, Nice, France, 6–11 April 2003: Abstr. #13108. 2003.
- Tzanis A.* An examination of the possibility of earthquake triggering by the ionosphere–lithosphere electro-mechanical coupling // Hellen. J. of Geosci. 2010. V. 45, N 1. P. 307–316.
- Yesugey S.C.* Comparative evaluation of the influencing effects of geomagnetic storms on earthquakes in the Anatolian Peninsula // Earth Sci. Res. J. 2009. V. 13, N 1. P. 82–89.

#### *Сведения об авторах*

**ДЕЩЕРЕВСКИЙ Алексей Владимирович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-90-35. E-mail: adeshere@ifz.ru

**СИДОРИН Александр Яковлевич** – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-42-68. E-mail: al\_sidorin@hotmail.com

## COMPARATIVE MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE DIURNAL RHYTHMS IN GEOMAGNETIC AND SEISMIC ACTIVITY

**A.V. Desherevskii, A.Ya. Sidorin**

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

To check the hypothesis of possible influence of geomagnetic variations on seismicity, the structures of the diurnal rhythms of seismicity in Garm region, Tajikistan, and geomagnetic activity are investigated in details using regional index of geomagnetic activity at the Tashkent Astronomical Observatory. We compare 1) the average shape of the diurnal variations and its seasonal changes; 2) temporal changes in special coefficients of the amplitude variations and the diurnal variation stability. It was revealed that the dynamics of the parameters listed are considerably different for the geomagnetic and seismic activity. We concluded that the results obtained on the basis of the used data and processing techniques do not confirm the hypothesis of possible influence of weak geomagnetic variations on background seismicity in Garm region, Tajikistan.

*Keywords:* seismicity, Garm research area, geomagnetic activity, Tashkent Astronomical Observatory, diurnal rhythm, diurnal rhythm structure.