

УДК 550.348.4

ПОЛУДЕННАЯ АКТИВИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ В ТУРЦИИ И РЯДЕ ДРУГИХ РЕГИОНОВ МИРА

© 2011 г. В.И. Журавлев, А.А. Лукк

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

Каталоги слабых ($M \leq 4$) землетрясений Турции и ряда других регионов мира анализировались на предмет выявления суточной периодичности сейсмических событий. Показано, что хорошо выраженное дневное преобладание сейсмической активности на континентальной территории Турции частично может быть обусловлено засоренностью рассматриваемых каталогов событиями антропогенного происхождения, связанными с производством взрывов в процессе горнодобывающих работ; присутствие в каталогах таких сейсмических событий подтверждается их хорошо выраженной недельной периодичностью.

Для регионов, обеспеченных отдельными каталогами слабых естественных и антропогенных сейсмических событий, приведены примеры их внутрисуточного распределения. Утверждается, что после исключения из каталогов событий антропогенного происхождения кривая суточного распределения слабых землетрясений принимает стандартный для подавляющего большинства сейсмогенных районов мира вид: число слабых землетрясений, происходящих ночью, на 15–20% превосходит их количество, приходящееся на дневное время.

На основе общих соображений и литературных данных полагается, что сильные землетрясения, наоборот, должны чаще происходить днем. Общая причина наблюдаемых (и предполагаемых) суточных вариаций числа землетрясений видится в триггерном возбуждении сильных сейсмических событий, которое обусловлено резкими кратковременными изменениями угловой скорости вращения Земли в течение суток и соответствующим перераспределением сейсмостектонических напряжений в неустойчивой неравновесной системе геологических отдельностей (блоков) – от их мелких совокупностей к крупным и обратно.

Ключевые слова: слабые землетрясения, антропогенные сейсмические события, взрывы, суточная периодичность, полуденный эффект, эффект выходного дня, засоренность каталогов землетрясений.

Введение

В последние годы после долгих лет забвения вновь вспыхнул интерес к изучению суточной периодичности во временных последовательностях слабых землетрясений. Речь идет об анализе наблюдаемой разницы между количеством сейсмических событий, регистрируемых в дневное и ночное время, которая может иметь разный знак в различных сейсмоактивных областях. Впервые эту проблему затронул наиболее серьезный исследователь эффекта суточной периодичности землетрясений Ч. Дависон [Davison, 1938]. Наблюдения, выполненные им в 198 регионах мира, в половине случаев показали преобладание сейсмичности в ночное время, а в четверти случаев ее максимум был приурочен к полудню.

Целый ряд авторов вслед за М. Шимшони [Shimshoni, 1971] отмечал уменьшение на 15–20% числа землетрясений в дневное время по сравнению с ночным [Ulbrich et al., 1987; Дещеревская, Сидорин, 2004; Сидорин, 2004; Журавлев и др., 2006; Журавлёв, Сидорин, 2005а,б, 2006; Беляков, Журавлев, Лукк, 2011]. При этом в ряде случаев на фоне названного уменьшения в окрестности полудня наблюдался локальный экстремум числа событий [Сидорин, 2004, 2005а; Журавлев и др., 2006; Беляков, Журавлев, Лукк, 2011], названный в работе [Сидорин, 2005а] “полуденным эффектом”. По интенсивности наблюдаемый экстремум мог составлять до половины от размаха основной суточной периодичности.

Существование полуденного эффекта отмечалось также в работе [Atef, Liu, Gao, 2009] на основании изучения зарегистрированных в 1963–2008 гг. на западе США (Калифорния, Невада и побережье Тихого океана) 790 тыс. слабых сейсмических событий с $M=1-4$. Используемые каталоги событий были очищены от афтершоков и карьерных взрывов. На фоне общего понижения сейсмической активности в дневное время (на 9% по сравнению с ночным) в будние дни вблизи полудня наблюдалось локальное повышение уровня сейсмичности. Авторами были выполнены детальные исследования этого явления, показавшие его четкое проявление в течение каждого из пяти будних дней и исчезновение в субботы, воскресенья и праздничные дни, принятые в стране исследований. Вероятно, что локальное повышение сейсмичности вблизи полудня в будние дни связано с относительно кратковременным повышением регистрирующей способности сейсмической сети во время обеденного перерыва, когда заметно падает уровень антропогенного шума, что позволяет фиксировать большее число слабых сейсмических сигналов.

Вместе с тем, известно, что полуденный эффект наблюдался и в регионах, где нет столь трепетного отношения к обеденному перерыву, например, в слабо населенном Гармском районе Таджикистана [Сидорин, 2005а]. Этот эффект был прослежен и в Японии при анализе последовательностей землетрясений с очагами на глубине более 50 км, о чем будет упомянуто в заключительной части статьи.

Существует целый ряд публикаций, например, [Davies, 1972; Flinn, Blandford, Mack, 1972; Knopoff, Gardner, 1972; Дещеревская, Сидорин, 2004; Atef, Liu, Gao, 2009], авторы которых доказывают, что наблюдаемое в ряде случаев понижение числа землетрясений в дневное время всего лишь артефакт – результат изменения реальной чувствительности сети наблюдений из-за повышения уровня помех в дневное время. Слабейшие сейсмические события, по мнению авторов упомянутых работ, просто тонут в ветровом и антропогенном шуме. В работе [Atef, Liu, Gao, 2009] этот шум связывается с дорожным движением, работой тяжелых механизмов, строительными ударами и пр., что вроде бы подтверждается приведенной в работе корреляцией суточной кривой реализации землетрясений с кривой дорожного трафика. В качестве главного аргумента в пользу вывода об отсутствии реального понижения числа слабых землетрясений в дневное время привлекается тот факт, что при повышении энергии включаемых в выборку землетрясений суточная периодичность исчезает [Flinn, Blandford, Mack, 1972; Knopoff, Gardner, 1972]. Но этот аргумент, сам по себе, может быть подвергнут критике, если допустить, противофазность вариаций суточных распределений числа слабых и сильных землетрясений, что будет рассмотрено ниже.

Тем не менее, исследования суточной периодичности в реализации слабых землетрясений продолжают довольно активно с привлечением существенно большей статистики сейсмических событий. Так, в недавней работе О.Д. Зотова, детально анализировавшего мировой каталог землетрясений с магнитудами $M=1-5$ за 1964–2003 гг. (каталог *ISC*, содержащий около 2 млн. событий), обсуждается “волна повышенной сейсмической активности, обегаящая за сутки земной шар и зависящая от долготы (местного времени)” [Зотов, 2007, с.33]. Уже упоминавшаяся работа [Atef, Liu, Gao, 2009], несмотря на отрицательную позицию авторов в вопросе о существовании суточной периодичности слабых землетрясений, может быть привлечена скорее как базирующаяся на внушительной статистике – выше отмечалось, что анализу были подвергнуты 790 тыс. слабых сейсмических событий с $M=1-4$ в период с 1963 по 2008 гг. – доказательство существования и этой периодичности, и дополнительного полуденного эффекта.

Вместе с тем, в других регионах мира в ряде случаев наблюдалась иная форма суточной периодичности слабых землетрясений – вблизи полудня появлялся четко выра-

женный локальный экстремум, интенсивность которого хоть и варьировала от района к району, но заметно превышала число событий в ночное время, о чем сообщается в работах [Davison, 1938; Murphy, Bennet, 1982; Wiemer, Baer, 2000; Koch, Fah, 2002; Сидорин, 2005б-д, 2006; Zhou, Stump, 2007; Horasan et al., 2009; Gulia, 2009; Kiszely, 2010]. Существенное повышение сейсмической активности в дневное время наблюдалось и нами – экстремум между 11 и 18 ч по местному времени, прослеженный в Средней Азии вблизи мест сооружения крупных гидротехнических объектов (Нурекская и Нарынская ГЭС), описан в работе [Журавлёв и др., 2006]; аналогичный экстремум в интервале 11–14 ч по местному времени для слабых землетрясений Ирана – в работе [Журавлёв, Лукк, 2012]. В последнее время полуденный экстремум большинством исследователей связывается с засорённостью используемых региональных каталогов дорожными и карьерными взрывами [Murphy, Bennet, 1982; Годзиковская, 1995; Wiemer, Baer, 2000; Koch, Fah, 2002; Абдуллабеков, 2006; Сидорин, 2005б-д, 2006; Zhou, Stump, 2007; Horasan et al., 2009; Atef, Liu, Gao, 2009; Gulia, 2009; Kiszely, 2010]. Для такого утверждения имеется вполне резонное основание – подавляющее большинство дорожных и карьерных взрывов производится в дневное время.

В недавней работе [Gulia, 2009] исследуется причина наблюдаемых в дневное время экстремумов сейсмичности с использованием данных из сейсмических каталогов ряда европейских стран. Автор полагает, что присутствие заметного экстремума в суточном распределении числа сейсмических событий в дневное время обусловлено наличием в каталоге заметного числа карьерных взрывов, которые, как правило, производятся в дневное время. Применяя относительно простой алгоритм, автор демонстрирует модифицированную версию предложенной ранее в [Wiemer, Baer, 2000] процедуры очистки каталогов от карьерных взрывов,

Вопрос о существовании полуденной активизации сейсмических событий – полуденного эффекта – по-прежнему остается открытым. Наличие этого эффекта во временных рядах землетрясений трудно полностью списать на присутствие в каталогах большого количества взрывов в дневное время в силу остроты полуденного экстремума. Трудно себе представить технологию буровзрывных работ со столь высокой степенью их концентрации в интервале 11–14 ч [Журавлёв, Лукк, 2012], тем более, что этот интервал включает перерыв на обед. Кроме того, проведенная нами в работе [Журавлёв, Лукк, 2012] очистка используемого каталога иранских землетрясений от техногенных сейсмических событий по известной методике [Wiemer, Baer, 2000; Gulia, 2009; Kiszely, 2010] не привела к исчезновению полуденного экстремума на внутрисуточной кривой распределения числа слабых землетрясений.

Несмотря на многочисленные исследования, во многом остается открытым и вопрос о существовании суточной периодичности в распределении слабых землетрясений. В настоящем исследовании на примере сейсмичности Турции, прежде всего, будут рассмотрены возможные причины увеличения числа слабых сейсмических событий в широкой окрестности полудня.

Общая характеристика используемых выборок данных о землетрясениях Турции

Для изучения суточной периодичности в возникновении землетрясений Турции анализировался каталог *ISC*, составляемый по данным мировой сети сейсмических станций в Международном сейсмологическом центре в Эдинбурге [<http://www.isc.ac.uk/cite/cite.html>]. При определении координат сейсмических событий использовались также данные турецких сейсмических станций.

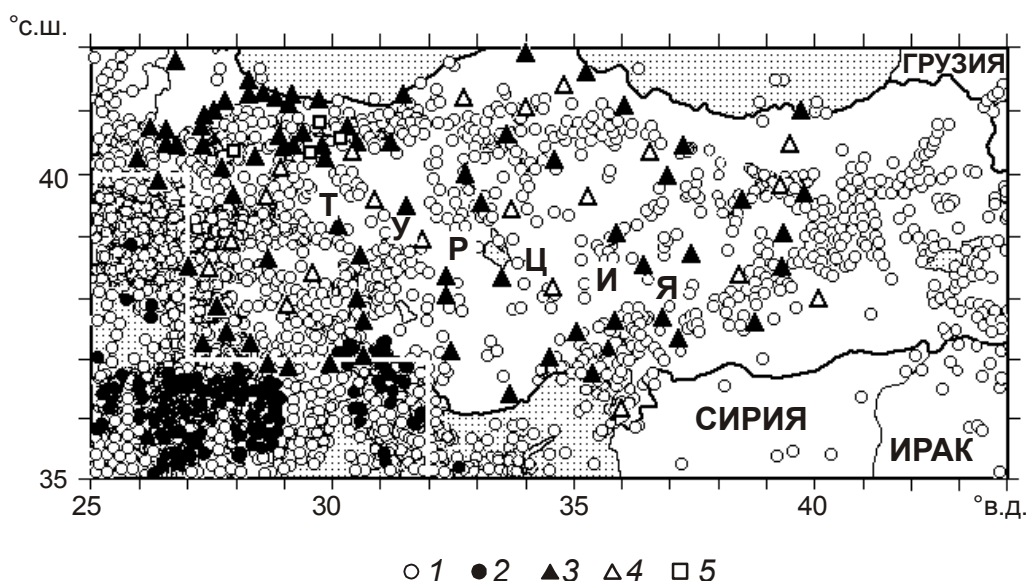


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Турции с $M=3-4$ за 1996–2010 гг. по данным каталога *NEIC* и схема размещения сейсмических станций современной сейсмологической сети. 1 – эпицентры землетрясений с $H \leq 50$ км; 2 – эпицентры землетрясений с $H=70-300$ км. 3 – широкополосные сейсмические станции; 4 – узкополосные; 5 – телеметрические. Белая линия в левой части рисунка – условная граница между континентальной и морской частями Турции, для которых раздельно рассматривались пространственные выборки при спектральных расчетах временных последовательностей сейсмических событий

Карта эпицентров слабых землетрясений Турции с $M=3-4$ за 1996–2010 гг. (рис. 1) составлена по каталогу *NEIC*, который по сравнению с каталогом *ISC* менее представлен в области слабых сейсмических событий, но отличается от него более удобным представлением графического материала.

Наиболее активной в сейсмическом отношении представляется западная, включающая акваторию половина рассматриваемой территории, где отмечаются глубокие землетрясения. Эти землетрясения с $H=70-300$ км сконцентрированы в прилегающей к Средиземному морю области (см. рис. 1), которая при дальнейшем анализе рассматривается отдельно и именуется морской частью (рис. 1). В северной части континентальной территории Турции выделяется ориентированная в широтном направлении полоса эпицентров, маркирующая хорошо известный Анатолийский разлом. В восточной части сейсмичность концентрируется в пределах двух пересекающихся между собой диагонально ориентированных полос, плотность эпицентров землетрясений в которых ниже, чем в западной части. Центральная часть Турции заметно менее сейсмична. Этот беглый анализ пространственного распределения сейсмичности исследуемого региона не обнаруживает каких-либо явно выраженных кластеров, которые предположительно могли бы быть связаны с антропогенными эффектами. Графики повторяемости сейсмических событий раздельно для континентальной и морской частей территории Турции приведены на рис. 2.

Согласно использованному каталогу *ISC*, общее число сейсмических событий на континентальной части территории Турции в 1996–2010 гг. составило 69494, на морской – 7707. Графики повторяемости событий свидетельствуют, что для континентальной части практически полностью представительными сейсмическими событиями из каталога *ISC* являются толчки с $M \geq 2.75$, а для морской – с $M \geq 3.25$. Магнитуды, определяющие статистику сейсмических событий при проведенном анализе, для континентальной части лежат в интервале $M=1.75-4.25$, для морской – $M=2.25-4.25$. При этом

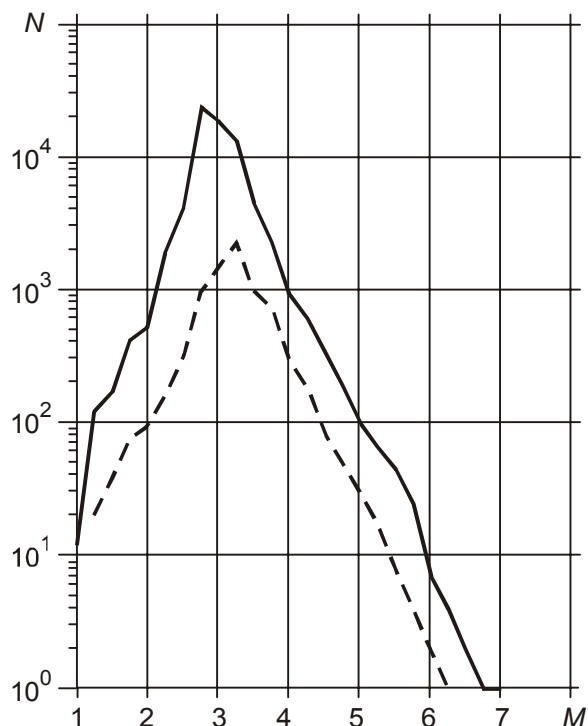


Рис. 2. Графики повторяемости сейсмических событий для континентальной (сплошная линия) и морской (штриховая линия) частей территории Турции за 1996–2009 гг., не нормированные на площадь и время. Горизонтальная ось – магнитуды событий M , вертикальная – число событий N . Использован каталог *ISC*

в обоих случаях около 40% сейсмических событий, составляющих эту статистику, являются непредставительными для своего энергетического уровня, что также следует из приведенных на рис. 2 графиков.

Спектральные свойства временных последовательностей сейсмических событий Турции

Как и в предыдущих наших работах [Журавлёв и др., 2006; Журавлёв, Лукк, 2012; Беляков, Журавлев, Лукк, 2011], для обнаружения суточной периодичности во временных последовательностях сейсмических событий Турции рассчитывались модули величины

$\sum_j^N A_j e^{i\omega_k t_j}$, где N – общее число сейсмических событий; t_j – время j -го события;

$\omega_k = 2\pi/T_k$ – частоты, рассчитываемые через выбираемые периоды T_k . Поскольку для сейсмических событий всегда $A_j = 1$, амплитуды экстремумов рассчитываемого таким образом спектра Фурье пропорциональны числу событий. При расчетах использовались времена сейсмических событий с точностью до секунды. За начало отсчета принималось первое событие в каталоге землетрясений. Расчеты ограничивались сравнительно узким спектральным диапазоном от 1 до 48 ч, вполне достаточным для решения поставленной задачи выделения суточной периодичности и ее возможных высокочастотных гармоник. Рассчитывались 43200 периодов. Кроме равномерно распределенных периодов, анализировались и не кратные им основные гармоники лунно-солнечных приливных деформаций для проверки возможного их влияния на периодичности в ближайшей окрестности суток. В дополнение к спектрам Фурье методом наложения эпох рассчитывались кривые почасовых значений числа сейсмических событий внутри суточного временного интервала.

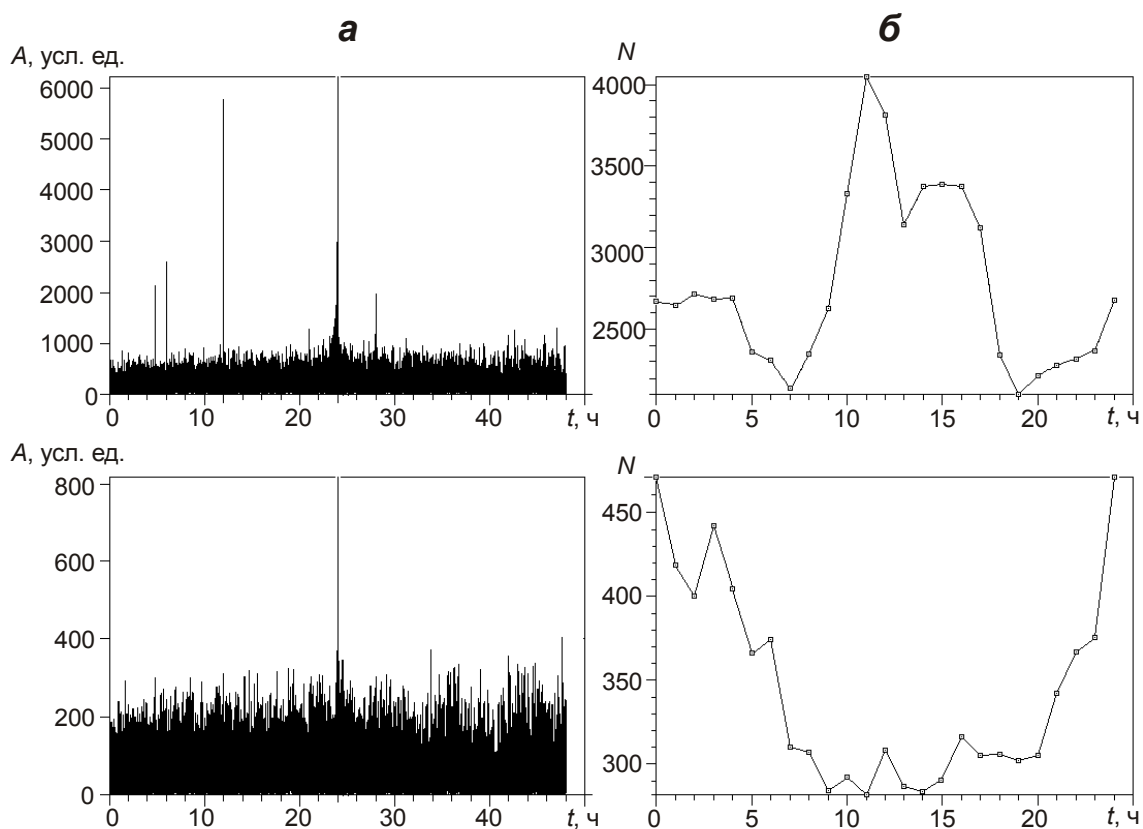


Рис. 3. Спектры Фурье (*а*) и кривые внутрисуточного распределения числа слабых землетрясений (*б*) для континентальной (*верхние графики*) и морской (*нижние графики*) частей территории Турции. Использован каталог *ISC* за 1996–2009 гг.

Результаты выполненных расчетов приведены на рис. 3 отдельно для континентальной (*верхние графики*) и морской (*нижние графики*) частей территории Турции. Для спектров (рис. 3, *а*) на осях ординат в условных единицах указаны их амплитуды A , которые пропорциональны числу землетрясений; для кривых суточного хода (рис. 3, *б*) – число сейсмических событий N .

Можно видеть, что и для континентальной, и для морской частей в расчетном спектре на 24 ч отчетливо выделяется острый экстремум с амплитудой, в разы превышающей амплитуды соседних экстремумов. Кроме того, на спектре для континентальной части (см. рис. 3, *вверху слева*) столь же отчетливо выделяется 12-часовая гармоника, обусловленная наличием двух экстремумов на кривой суточного хода – дневного (9–17 ч по локальному солнечному времени) и меньшего по амплитуде ночного (23–05 ч). Форма дневного пика активности приближается к прямоугольной, что отличает ее от гармонической функции и может приводить к появлению периодов, кратных основной суточной гармонике. На отметках 28, 21, 6 и 5 ч просматриваются значительно менее интенсивные экстремумы, которые не выделяются на спектре временной последовательности чисел землетрясений для морской части. Причина исчезновения первых двух из четырех указанных периодов будет обсуждаться ниже.

Несмотря на отмечаемую одинаковую 24-часовую периодичность в спектрах для континентальной и морской частей территории Турции, форма самой периодичности для этих частей существенно различна. Для морской части наблюдается стандартное для многих районов мира четкое преобладание числа событий, произошедших ночью, над их числом в дневное время; для континентальной части картина прямо противоположна – число сейсмических событий в дневном интервале существенно превышает их число в ночное время.

Возможность засоренности каталога землетрясений Турции антропогенными сейсмическими событиями

Напрашивается вывод о связи четкого длительного дневного экстремума на кривой суточного хода в почасовых числах сейсмических событий, зарегистрированных на территории Турции, с возможной засорённостью каталога сейсмическими событиями антропогенного происхождения, в частности, связанными с дорожными и карьерными взрывами. Возможность подобной засоренности каталогов рассматривалась нами подробно при исследовании суточной периодичности землетрясений Ирана [Журавлёв, Лукк, 2012].

Допустив реальность существования подобной связи, мы попробовали выяснить пространственное положение возможных антропогенных источников, воспользовавшись методикой С. Веймера и М. Баера [Weimer, Baer, 2000], примененной наиболее адекватно нашему случаю в [Gulia, 2009]. Для установления пространственного положения источников, в частности, карьерных взрывов, использовалось картирование величины, получаемой из соотношения $R_q = N_d \cdot L_n / N_n \cdot L_d$, где L – продолжительность временного интервала, ч; N – число событий, произошедших в течение рассматриваемого интервала; индекс d соответствует дневному интервалу; n – ночному. Дневным условно считался временной интервал от 9 до 17 ч, ночным – все остальное время суток. По узлам регулярной пространственной сетки в пределах скользящей пространственной выборки размером в 0.5° с шагом в 0.25° вычислялись значения R_q для ячеек, в которых общее число событий превышает 10, что делалось для обеспечения статистической значимости результатов.

Результаты расчетов отношения числа дневных событий к числу ночных, выполненных с использованием каталога ISC за 1996–2010 гг., приведены на рис. 4 в виде рельефной карты (а) и ее проекции на дневную поверхность (б). На карте отчетливо

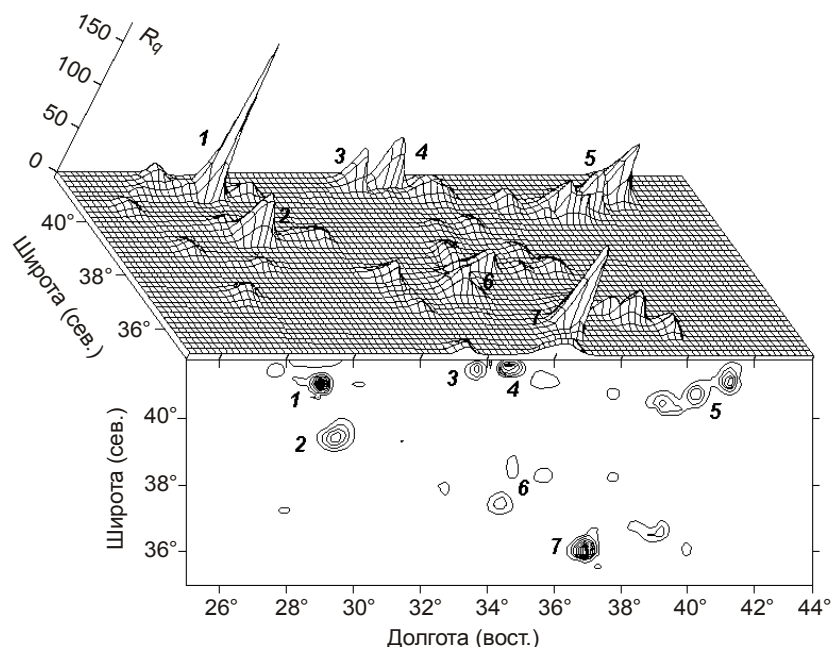


Рис. 4. Результаты картирования параметра R_q , характеризующего отношение числа слабых землетрясений Турции, зарегистрированных в дневное время, к их числу в ночное время: а – рельефная карта R_q ; цифрами 1–7 отмечены обсуждаемые в тексте экстремумы; б – проекция экстремумов 1–7 на дневную поверхность. Использованы данные каталога ISC за 1996–2010 гг.

прослеживаются семь экстремумов R_q со значениями, в десятки (и даже в сто) раз превышающими единицу. Предположительно их наличие может быть обусловлено проведением карьерных взрывов. При сопоставлении карты со сведениями о местах добычи полезных ископаемых в Турции было установлено, что в окрестности экстремума 1 (вблизи Стамбула) ведутся промышленные разработки доломита, кварцита, барита, марганца; в окрестности экстремума 2 (провинция Кютахья) – каолина, магнетита, серебра; в районе экстремумов 3, 4 (провинции Карабюк, Кастамону) – доломита, кварцита, мрамора, бентонита, магнетита, меди; в районе экстремума 5 (провинция Ризе) – бентонита, мрамора, марганца, меди, цинка, серебра, золота; в районе 6 (провинция Нигде) – железа, полиметаллов, серебра, золота; экстремума 7 (провинция Газиантеп) – доломита, барита, марганца.

По космическим снимкам из поискового пакета *GOOGLE* с помощью программы “*GOOGLE* Планета Земля” нам удалось идентифицировать часть названных рудников и установить местоположение гидроэлектростанций, которые также могут рассматриваться как источники антропогенного шума (координаты рудников и гидроэлектростанций см. в табл. 1).

По аналогии с анализом сейсмических событий Ирана, выполненным нами ранее [Журавлёв, Лукк, 2012], и следуя рекомендациям из [Gulia, 2009], мы исключили из используемого каталога *ISC* события, происхождение которых может быть антропогенным. Были исключены все события во временном интервале 9–17 ч по местному времени, попадающие в пределы квадратных пространственных выборок, окружающих указанные на рис. 4 экстремумы R_q . Размеры выборок варьировали в зависимости от ширины экстремума от 0.6° (для экстремумов 3, 4) до 1.6° (для имеющего сложную форму экстремума 5). По данным из очищенного таким способом каталога были рассчитаны спектр Фурье и кривая внутрисуточного распределения числа землетрясений для континентальной части страны (рис. 5). Как и в случае с иранскими землетрясениями, проведенная процедура не привела к заметному изменению кривой суточного хода – дневной экстремум сохранился при несколько уменьшившейся амплитуде; заметно увеличилось относительное число ночных сейсмических событий. Следовательно, надо признать, что если часть сейсмических событий, формирующих дневной экстремум и имеет антропогенную природу (или возникает за счет триггерного воздействия промышленной активности), она оказывается более рассредоточенной по площади, чем малое число компактных областей (экстремумы 1–7), связанных предположительно с конкретными местами разработки полезных ископаемых.

В связи с аналогичным эффектом для иранских землетрясений в работе [Журавлёв, Лукк, 2012] предполагалось, что свой вклад в локальную дневную активизацию сейсмичности может вносить триггерная сейсмическая активность, возбуждаемая антропогенной деятельностью в дневное время (производственный процесс на стройках и крупных предприятиях, увеличение оборотов турбин гидроэлектростанций из-за дневного повышения нагрузки, технологические взрывы на горнодобывающих предприятиях, карьерные и дорожные взрывы, интенсивный дорожный трафик и прочие техногенные вибрации). Но это никак не исключает объяснения наблюдаемого дневного экстремума числа слабых сейсмических событий присутствием среди них большого числа промышленных взрывов, основные признаки которых – появление в дневное время, малая глубина источников сотрясений, концентрация малых магнитуд в пределах дневного экстремума, сосредоточение событий в ограниченных по количеству и размерам областях.

Таблица 1. Возможные антропогенные источники слабых сейсмических событий, приводящих к засорённости каталога *ISC* для Турции, в сопоставлении с положением экстремумов R_q , представленных на рис. 4

№	Координаты		№	Координаты	
	°с.ш.	°в.д.		°с.ш.	°в.д.
Экстремум 1			Экстремум 3		
Рудники			Рудники		
1	41°13'06"	28°51'10"	1	41°48'31"	33°41'30"
2	41°12'20"	28°50'31"	Гидроэлектростанции		
3	41°09'50"	28°46'17"	1	41°40'37"	33°47'26"
4	41°08'25"	28°57'44"	2	41°40'23"	33°47'27"
5	41°08'12"	28°52'15"	3	41°39'09"	33°51'56"
6	41°07'52"	28°58'17"	4	41°34'37"	34°04'48"
7	41°07'37"	28°28'01"	5	41°31'02"	33°45'03"
8	41°07'37"	28°59'13"	6	41°26'51"	33°38'09"
9	41°07'34"	28°57'53"	7	41°23'56"	34°14'54"
10	41°07'06"	28°46'37"	8	41°19'07"	33°44'41"
11	41°09'04"	29°23'08"	9	41°18'03"	33°23'41"
12	41°08'44"	29°27'27"	Экстремум 4		
13	41°08'14"	29°33'58"	Гидроэлектростанции		
14	41°07'52"	29°17'20"	1	41°31'48"	34°47'53"
15	41°06'26"	29°26'53"	2	41°31'39"	34°51'58"
16	41°06'13"	29°22'30"	3	41°26'12"	35°06'20"
17	41°06'01"	29°31'37"	4	41°22'41"	34°39'48"
18	41°05'04"	29°24'12"	Экстремум 5		
Гидроэлектростанции			Гидроэлектростанции		
1	41°05'55"	29°34'06"	1	40°24'28"	36°54'11"
2	41°06'22"	28°43'14"	2	40°13'37"	38°04'34"
3	41°06'02"	28°55'13"	3	40°07'44"	37°46'47"
4	41°04'34"	29°28'04"	4	40°02'40"	38°37'22"
Экстремум 2			5	39°52'49"	38°10'03"
Рудники			Экстремум 6		
Рудники			Рудники		
1	39°39'18"	29°26'09"	1	38°41'42"	35°44'30"
2	39°28'27"	29°10'22"	2	38°41'20"	35°45'21"
3	39°22'10"	29°16'26"	3	38°40'54"	35°48'42"
4	39°18'15"	29°34'53"	4	35°40'09"	36°15'52"
5	39°17'33"	30°29'18"	5	38°35'11"	36°13'35"
6	39°14'15"	29°15'11"	6	37°59'41"	35°37'24"
Гидроэлектростанции			Гидроэлектростанции		
1	39°38'08"	30°16'46"	Гидроэлектростанции		
2	39°25'01"	29°37'01"	1	38°40'34"	36°17'30"
3	39°21'23"	30°34'05"	2	38°35'41"	36°13'35"
4	39°19'29"	30°34'41"	3	38°18'10"	36°09'35"
5	39°15'51"	29°28'17"	4	38°14'35"	36°10'30"
6	39°10'32"	29°35'01"	5	38°12'09"	36°07'55"
			6	38°11'06"	35°23'39"
			7	38°10'43"	36°05'07"
			8	38°06'26"	35°39'19"
			9	37°56'14"	34°59'52"
			10	37°54'13"	36°27'46"

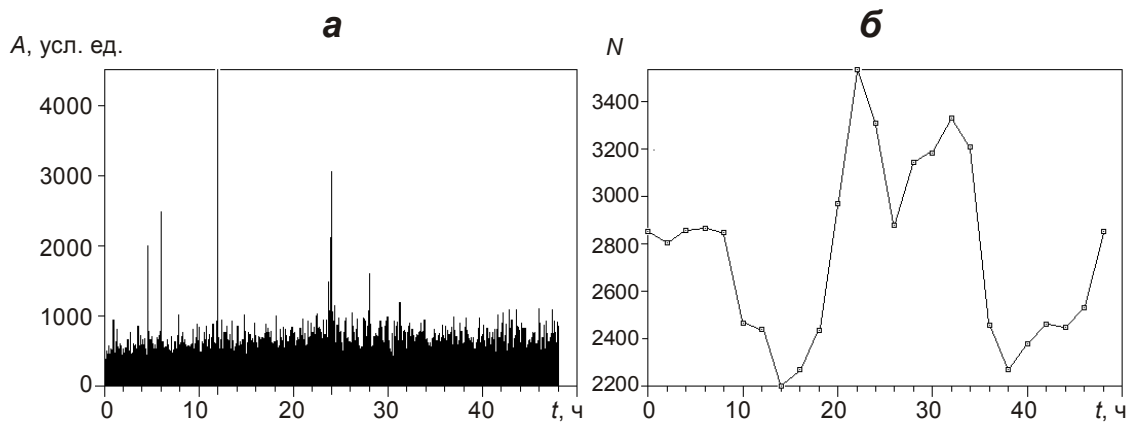


Рис. 5. Спектр Фурье (а) и кривая внутрисуточного распределения числа слабых землетрясений для континентальной части территории Турции (б) по данным каталога *ISC* за 1996–2009 гг., очищенного от кластеров сейсмических событий возможного антропогенного происхождения

В этой связи интересно сопоставить результаты спектральных оценок временных последовательностей слабых сейсмических событий Турции и Ирана с аналогичными данными для известных последовательностей взрывов (или же последовательностей с явным преобладанием взрывных источников) в других регионах мира. Нами была использована информация по четырем регионам: 1 – Северная Калифорния, США; 2 – Скандинавия; 3 – Урал, Россия; 4 – Южная Африка, ЮАР. Для первых двух регионов были доступны отдельные каталоги природных землетрясений и взрывов.

Данные по Северной Калифорнии заимствованы из Интернета (<http://www.ncedc.org/ncedc/catalog-search.html>); для Скандинавии получены от Норвежской сейсмической группы *NORSAR* (приватная информация, jan.fyen@norsar.no). Поскольку абсолютное разделение взрывов и землетрясений сопряжено со значительными сложностями, естественно частичное взаимопроникновение обсуждаемых событий в параллельные каталоги. Тем не менее, отдельные каталоги обеспечивают статистически значимое преобладание одного вида событий над другим.

Для Урала отдельные каталоги отсутствуют, но заведомо известно, что на территории этого региона функционирует большое число горнодобывающих предприятий. По многочисленным доступным источникам сейсмологической информации для рассматриваемого региона нами был составлен сводный каталог землетрясений Урала с доинструментальных времен по 2008 г. (не опубликован). Частота сотрясений от производимых в рудниках промышленных взрывов существенно превышает частоту возникновения немногочисленных в этом районе естественных землетрясений. Таким образом, каталог слабых сейсмических событий Урала, составленный нами, в какой-то степени может быть отождествлен с каталогом взрывов и горных ударов, обусловленных промышленной деятельностью.

Такой подход отчасти применим и для Южной Африки с интенсивной промышленной разработкой полезных ископаемых в многочисленных рудниках и шахтах. Данные о сейсмичности этого промышленного региона сопоставлялись с таковыми для активной в сейсмическом отношении северо-восточной части Африки [*ISC* каталог], где промышленные разработки недр практически отсутствуют.

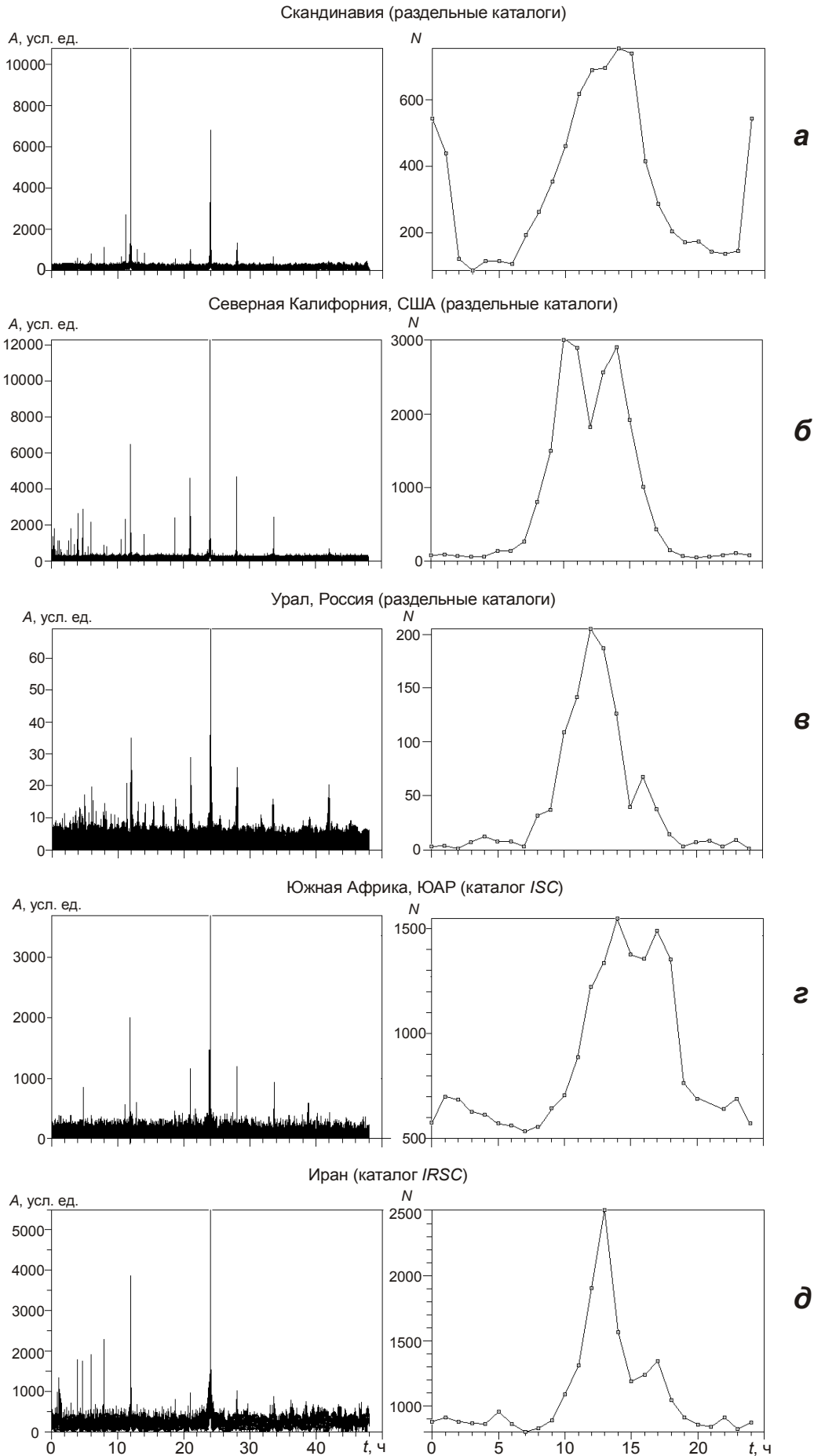
Параметры выборок, использованных для расчета спектральных характеристик временных последовательностей слабых сейсмических событий для четырех вышеназванных регионов, приведены в табл. 2. В последней строке таблицы помещены параметры выборки для северо-восточной части Африки, свободной от промышленных взрывов.

Таблица 2. Параметры выборок, использованных для расчета спектральных характеристик временных последовательностей слабых сейсмических событий

Регион, анализируемый временной интервал	Координаты		Диапазон магнитуд	Источники	Число событий
	широта	долгота			
Скандинавия, 1992–2003 гг.	57°–70° с.ш.	0°–25° в.д.	0.5–4.5	взрывы	4 787
				землетрясения	18 626
Северная Калифорния, 1969–2008 гг.	34°–42° с.ш.	127°–114° з.д.	0.4–5.0	взрывы	17 277
				землетрясения	630 209
Урал, 1955–2008 гг.	49°–61° с.ш.	54°–66° в.д.	2.0–5.0	все события	1 196
Южная Африка, 1996–2010 гг.	20°–35° ю.ш.	15°–35° в.д.	1.2–5.0	все события	6 243
Северо-восточная Африка, 1990–2010 гг.	20° ю.ш.–20° с.ш.	25°–40° в.д.	1.5–5.0	все события	21 111

Результаты расчетов для тех же четырех регионов, дополненные аналогичными графиками для Ирана из [Журавлев, Лукк, 2012], представлены на рис. 6. В левой колонке приведены спектры обсуждаемых последовательностей производственных взрывов. На всех спектрах выделяются два четко выраженных экстремума на 24 и 12 ч, в десять и более раз превышающие соседние фоновые амплитуды; значимость этих периодичностей не вызывает сомнения. Фазовые характеристики суточной периодичности приведены в правой колонке в виде соответствующих расчетных кривых внутрисуточного распределения числа взрывов. В интервале 8–16 ч присутствует четко выраженный экстремум, максимальная амплитуда которого, как правило, почти в десять раз превышает фоновые значения амплитуд по обе стороны от этого временного интервала. Для всех регионов, кроме Скандинавии (рис. 6, а), этот экстремум является единственным и вполне может быть отождествлен по времени с периодом производства буровзрывных работ на промышленных рудниках в дневное время. На графике внутрисуточного распределения числа взрывов для Скандинавии выделяется дополнительный острый экстремум в интервале 24–01 ч, природа которого не совсем ясна – возможно, это просачивающийся в каталог взрывов остаток естественных землетрясений, максимум внутрисуточного распределения которых приходится на тот же временной интервал.

Для сравнения на рис. 6 приведены аналогичные графики для промышленного юга Африки (рис. 6, з) и для территории Ирана (рис. 6, д), построенные с использованием явно засорённых многочисленными взрывами каталогов слабых сейсмических событий. Засорённости каталога для Южной Африки представляется очевидной в связи с интенсивной разработкой многочисленных месторождений полезных ископаемых, сопровождаемой производством буровзрывных работ. Возможность засоренности каталога *IRSC* промышленными взрывами для Ирана обсуждалась нами ранее в работе [Журавлёв, Лукк, 2012]. Скорее всего, подобным образом засорен и каталог слабых землетрясений Турции, о чем можно судить по виду кривой суточного распределения числа сейсмических событий, рассчитанной для континентальной части исследуемой территории (см. рис. 3, а, справа). При сравнении этой кривой с приведенными в правой колонке на рис. 6, з, д обращает на себя внимание их подобие. Для морской части Турции, где заведомо отсутствуют взрывные источники, внутрисуточное распределение числа слабых сейсмических событий имеет стандартный вид – число событий, произошедших в ночное время, больше числа дневных событий (см. рис. 3, б).



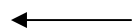


Рис. 6. Спектры Фурье (слева) и кривые внутрисуточного распределения числа производственных взрывов (справа) для Скандинавии (а); Северной Калифорнии, США (б); Урала, Россия (в), построенные с использованием отдельных каталогов. На нижних фрагментах те же графики для территории промышленного юга Африки (з) и Ирана (д), построенные по каталогам слабых сейсмических событий, засоренным антропогенными источниками

К проблеме засорённости каталогов слабых сейсмических событий сотрясениями от промышленных взрывов мы вернемся в следующем разделе. Сейчас же рассмотрим спектральную структуру временных последовательностей естественных сейсмических событий для регионов, в которых существует отдельная статистика землетрясений и взрывов – для Скандинавии и Северной Калифорнии. Результаты расчетов спектров Фурье и кривых внутрисуточного распределения числа сейсмических событий для этих двух регионов приведены на рис. 7, а, б. На рис. 7, в представлены результаты наших аналогичных расчетов для северо-восточной части Африки (от р. Замбези на юге до Красного моря на севере) с крайне низким по сравнению с югом Африки уровнем горнодобывающей промышленности; на рис. 7, з – результаты расчетов для Ирана по данным каталога *ISC*, в большой степени свободного (в противовес каталогу *IRSC*) от многочисленных промышленных взрывов. Промышленные взрывы из-за их недостаточного энергетического уровня не были зарегистрированы мировой сетью сейсмических станций и большей частью стандартных станций Ирана (не телеметрических), поставляющих сведения о сейсмических событиях в Центр *ISC*.

Можно видеть, что при использовании каталогов, очищенных от заведомо известных взрывных источников, или же каталогов сейсмических событий для территорий, на которых количество взрывов пренебрежимо мало, вид кривой внутрисуточного распределения слабых сейсмических событий приближается к стандартному практически для всех сейсмоактивных регионов мира – слабые землетрясения происходят преимущественно в ночное время. Для регионов, в которых наблюдается обратное соотношение – преобладание дневных сейсмических событий над ночными, – в первую очередь, должна проверяться возможность засорения каталогов сотрясениями от промышленных взрывов. Естественно ожидать, что в засорённых каталогах должна содержаться информация о недельной периодичности сейсмических событий, обусловленной антропогенным фактором – уменьшением или даже полным прекращением производства промышленных взрывов в нерабочие дни. Такой вид недельной периодичности получил в геофизической литературе наименование “эффекта выходного дня” (см., например, [Зотов, 2007]).

Наблюдение эффекта выходного дня в ряде регионов мира по каталогам слабых землетрясений и взрывных источников

В работе [Журавлёв, Лукк, 2012] нами было показано, что на спектре Фурье, рассчитанном для Ирана по каталогу с заведомо высокой степенью засорённости взрывными источниками, помимо 24-часового экстремума, появляются два дополнительных – 21 и 28 ч, – которые могут быть прямым следствием нелинейной модуляции суточной периодичности слабых сейсмических событий их антропогенной недельной периодичностью: $T_1 = 1/(1/24 + 1/(24 \cdot 7)) = 21$ ч; $T_2 = 1/(1/24 - 1/(24 \cdot 7)) = 28$ ч. Именно эти периоды отчетливо выделяются на всех спектрах Фурье, приведенных для взрывных источников на рис. 6. Они просматриваются также на спектрах, рассчитанных для засорённых взрывными источниками временных последовательностей слабых сейсмических событий Турции (см. рис. 3, а) и Ирана (см. рис. 6, д).

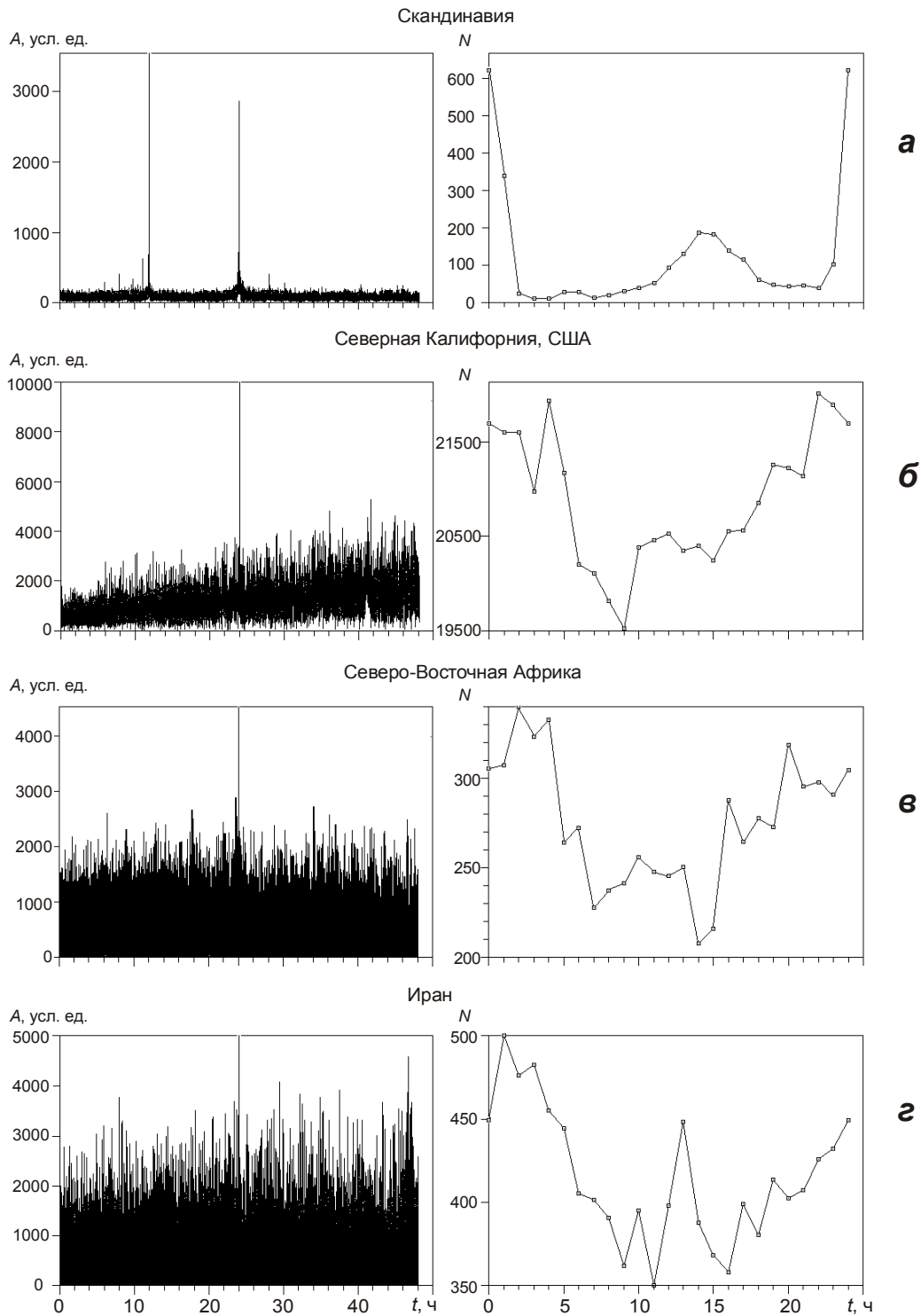


Рис. 7. Спектры Фурье (слева) и кривые внутрисуточного распределения числа слабых землетрясений (справа) для Скандинавии (а) и Северной Калифорнии (б), рассчитанные по каталогам, очищенным от промышленных взрывов, а также для сейсмоактивных регионов северо-восточной части Африки (в) и Ирана (г), каталоги слабых землетрясений для которых мало засорены взрывами

Внутринедельное распределение числа слабых сейсмических событий в различных регионах мира для случая заведомо слабой их засорённости взрывными источниками приведено в левой колонке на рис. 8, а для последовательностей с явным преобладанием взрывных источников в правой колонке того же рисунка. В обоих случаях

недельный ход представлен чередующимися суточными экстремумами, которые более четко выражены для последовательностей с явным преобладанием взрывных источников (правая колонка) и менее ярко для последовательностей естественных сейсмических событий (левая колонка). И в тех, и в других последовательностях наблюдается разное соотношение амплитуд суточных экстремумов в рабочие и выходные дни. В случае последовательностей сейсмических событий, слабо засорённых антропогенными источниками сотрясений (левая колонка, *в, д*) или очищенных от них (левая колонка, *а, б*) амплитуды суточных экстремумов сопоставимы между собой во все дни недели. В случае последовательностей взрывных источников, выделенных из сейсмических каталогов (правая колонка, *а, б*), или для последовательностей сейсмических событий с явным преобладанием в них антропогенной составляющей (правая колонка, *в, г, д*) отмечается несовпадение амплитуд суточных экстремумов в рабочие и выходные дни. Амплитуда суточных экстремумов в субботу и воскресенье, как правило, оказывается в несколько раз меньше, чем в рабочие дни. В мусульманском Иране такое резкое уменьшение амплитуды суточного экстремума засорённой взрывными источниками временной последовательности слабых землетрясений приходится на праздничную пятницу. Это уменьшение, безусловно, связано с прекращением или с резким уменьшением взрывов, производимых при буровзрывных и дорожных работах. Наличие этого эффекта во временной последовательности слабых сейсмических событий проявляется в заметном снижении амплитуд суточных экстремумов в субботу и воскресенье по сравнению с рабочими днями недели (рис. 8, *г, з*, левая колонка).

Интересно проследить организацию взрывных работ в различных регионах мира. Этот производственный процесс наиболее стабилен в Северной Калифорнии (рис. 8, *б, справа*) и Южной Африке (рис. 8, *в, справа*): количество взрывов со вторника по пятницу примерно одинаково, они производятся практически в одно и то же время. О первом свидетельствует близкая амплитуда соответствующих экстремумов в названные дни недели, на второе – их одинаковая раздвоенность. В понедельник амплитуда экстремума заметно меньше, что можно рассматривать как свидетельство производства каких-то дополнительных работ, связанных с подготовкой на грядущую неделю, которые сокращают время проведения собственно взрывных работ. В субботу и особенно в воскресенье производство взрывов практически прекращается в связи с выходными днями.

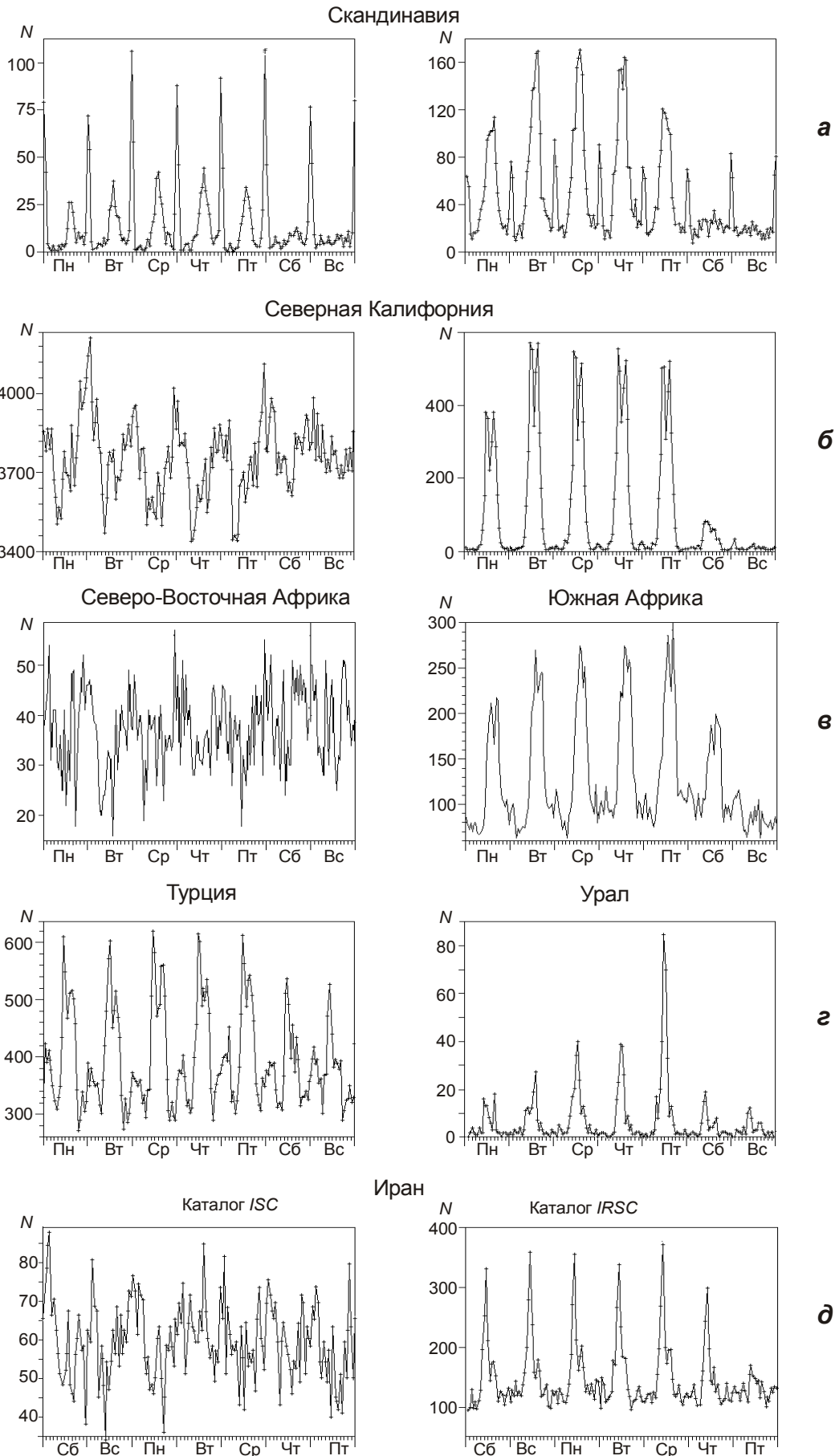
В Скандинавии (рис. 8, *а, справа*) взрывные работы проводятся стабильно со вторника по четверг; в понедельник амплитуда рассматриваемого экстремума меньше, что, по-видимому, связано причиной, названной нами при описании внутринедельного распределения числа взрывов для Северной Калифорнии. В пятницу перед выходными исполнители торопятся быстрее завершить работы, что находит свое выражение в уменьшении амплитуды соответствующего экстремума обсуждаемой кривой. Дополнительные острые экстремумы в окрестности полуночи, скорее всего, обусловлены частичным просачиванием в каталог взрывов естественных сейсмических событий, возникающих преимущественно в ночное время.

На приведенных кривых недельного хода естественных событий для Скандинавии (рис. 8, *а, слева*) и Северной Калифорнии (рис. 8, *б, слева*), обеспеченных раздельными каталогами, а также для северо-восточной части Африки (рис. 8, *в, слева*), уменьшение числа сейсмических событий в праздничные дни не наблюдается. Дополнительные экстремумы на кривой, приведенной на рис. 8, *а, слева*, вблизи полудня связаны, скорее всего, с просачиванием в каталог землетрясений Скандинавии части неустановленных взрывных источников.

Графики внутринедельного распределения числа сейсмических событий для Турции и Ирана, где нет раздельных каталогов взрывных и естественных источников,

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

ВЗРЫВЫ



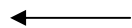


Рис. 8. Внутринедельное распределение числа взрывов или событий, каталоги которых ими сильно засорены (справа), и слабых естественных землетрясений из каталогов, свободных от засорения (слева), для разных регионов мира (а–д). Исходные данные те же, что для рис. 6, 7

приведены на рис. 8, *г*, *д* слева. Отсутствие отдельных каталогов позволяет считать, что заметное понижение амплитуд экстремумов в субботу и воскресенье в Турции и в пятницу (выходной день в мусульманских странах) в Иране связано, скорее всего, с засорённостью соответствующих каталогов взрывами.

Для установления пространственного положения возможных источников эффекта выходного дня были выполнены расчеты по методике, использованной выше для выявления местоположения источников, приводящих к повышению R_q – отношения среднесуточного числа дневных событий (9–17 ч) к числу ночных (остальная часть времени суток). Результаты выполненных расчетов приведены на рис. 9, *б*, над которым для сопоставления повторен рис. 4, *а*, показывающий пространственную структуру величины R_q . Такого сходства изображений, какое было обнаружено нами при аналогичных исследованиях сейсмичности Ирана [Журавлёв, Лукк, 2012], в данном случае не наблюдается. Тем не менее, и здесь имеются элементы определённого подобия – положение наиболее выразительного экстремума 1 на рис. 9, *а* совпадает с положением экстремума на рис. 9, *б*, где прослеживаются также аналоги экстремумов 3, 4 и в меньшей степени экстремума 5. На рис. 9, *б* нет прямых аналогов экстремумам 2, 6 и 7, как нет и каких-либо заметных экстремумов, которые отсутствуют на рис. 9, *а*. Таким образом, нельзя исключить, что в обоих случаях мы имеем дело с одним и тем же ограниченным числом локализованных в пространстве областей, где предположительно концентрируются сейсмические источники, связанные с проведением буровзрывных работ на промышленных рудниках.

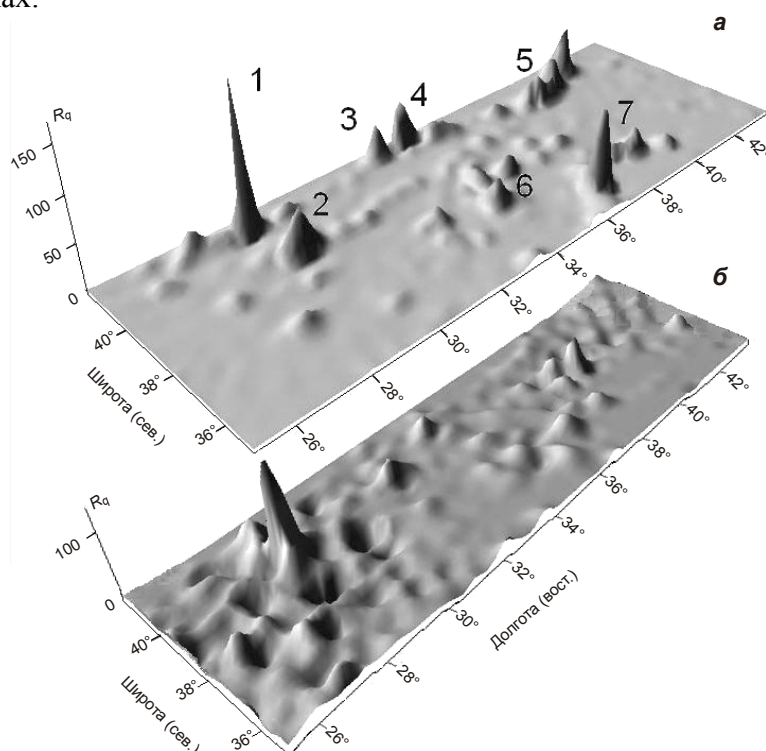


Рис. 9. Результаты картирования величины R_q – отношения числа слабых землетрясений Турции, зарегистрированных в дневное время, к их числу в ночное время (а) и аналогичной величины, характеризующей превышение числа событий в рабочие дни над их числом в дни отдыха (б). Использован каталог ISC за 1996–2010 гг.

Следует признать, что в каталоге землетрясений Турции (*ISC*) присутствует заметная доля приуроченных к дневному интервалу времени (9–17 ч по локальному солнечному времени) антропогенных взрывных источников, которые и обеспечивают в большой степени появление обсуждаемого полуденного экстремума на кривой почасового распределения числа сейсмических событий внутри суток (см. рис. 3, *a*). Это же следует отнести и к обсуждавшемуся каталогу *IRSC* для территории Ирана.

Тем не менее, нельзя полностью исключить возможность участия в формировании полуденного экстремума естественных слабых землетрясений, которые предположительно могут быть индуцированы промышленной деятельностью в более широкой окрестности экстремумов 1–7, отмеченных на рис. 4, *a*. Такая возможность обсуждалась нами применительно к сейсмичности Ирана в работе [Журавлёв, Лукк, 2012].

Обсуждение результатов

Приведенные в настоящей статье результаты анализа сейсмических каталогов Турции и ряда других регионов мира показывают, что в спектрах всех исследованных последовательностей слабых сейсмических событий наблюдается четко выраженный экстремум точно на 24 ч (суточная периодичность). Он обусловлен явным преобладанием числа событий, возникающих в широкой окрестности полудня, над их числом в остальное время суток. Этот эффект, скорее всего, порожден засорённостью сейсмических каталогов антропогенными источниками сейсмических колебаний и, в первую очередь, промышленными взрывами в местах разработки полезных ископаемых. Не исключено также, что эти антропогенные сотрясения являются, в свою очередь, источником триггерного возбуждения в напряженной тектоногенной среде слабых естественных землетрясений в широкой окрестности мест производства взрывов, большая часть из которых, по-видимому, также приходится на дневное время.

В тех случаях, когда возможна очистка каталогов от антропогенных сейсмических событий, в очищенной последовательности землетрясений вновь наблюдается суточная периодичность, которая, как правило, обусловлена большим числом естественных ночных сейсмических событий по сравнению с числом дневных (см. рис. 6). Это не является прямым результатом очистки каталогов от антропогенных источников, поскольку именно такая периодичность землетрясений наблюдается в регионах, где заведомо отсутствует антропогенная сейсмическая активность или она пренебрежимо мала по сравнению с естественным сейсмическим процессом. Превышение примерно на 15–20% числа ночных сейсмических событий над числом дневных наблюдалось нами в Испании, Италии, Греции, Японии, Канаде, США (Калифорния, Невада), Северо-Восточной Африке, Центральной Азии (Гармский район), на Камчатке, Алеутах, Аляске.

Таким образом, базируясь на результатах настоящего исследования и целого ряда публикаций последних лет [Сидорин, 2004, 2005а,г, 2009; Журавлёв и др., 2006; Беляков, Журавлев, Лукк, 2011; Журавлёв, Лукк, 2012; и др.] факт превышения приблизительно на 15–20% числа слабых естественных землетрясений, возникающих ночью, над их числом в дневное время можно считать установленным.

Кроме того, в большинстве исследованных регионов наблюдается относительно небольшое (на 7–10%) увеличение числа слабых землетрясений в дневное время вблизи полудня – так называемый полуденный эффект [Сидорин, 2005а]. Наиболее ярко этот эффект прослеживается в сейсмичности Японии по данным за 1985–1998 гг. [каталог *JUNEC*]. Соответствующие графики расчетного спектра и кривая почасовых внутрисуточных значений чисел слабых землетрясений ($M \geq 2$) для Японии приведены на рис. 10. Полуденный эффект отчетливо проявляется как на графике, построенном по полной совокупности рассматриваемых землетрясений, так и на графике для землетрясений с очагами на глубинах $h \geq 60$ км.

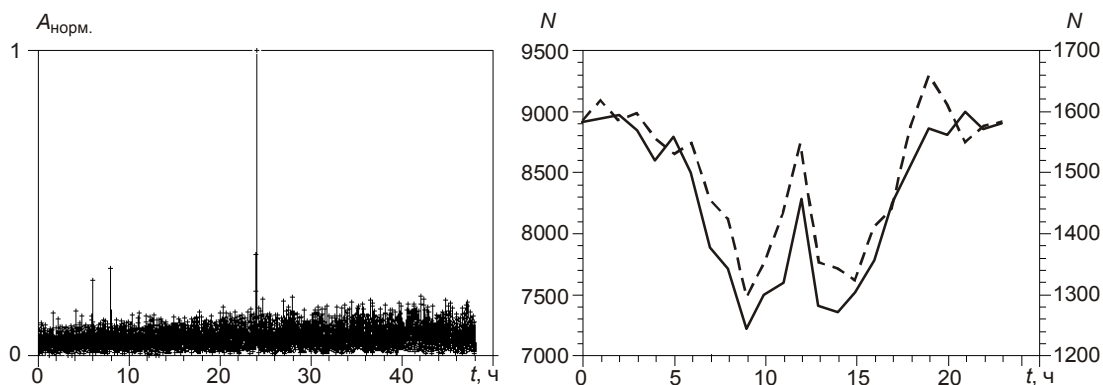


Рис. 10. Расчетный спектр (слева) и кривая почасовых внутрисуточных значений числа землетрясений с $M \geq 2$ (справа) для Японии по данным за 1985–1998 гг. Слева: спектр полной совокупности сейсмических событий нормирован на величину максимальной амплитуды при $t=24$ ч. Справа: график суточного хода числа землетрясений по полному каталогу – сплошная линия, левая шкала; график суточного хода числа землетрясений с $h \geq 60$ км – штриховая линия, правая шкала

Сходство двух кривых, приведенных в правой части рис. 10, крайне важно для отклонения предположения об обусловленности полуденного эффекта техногенными источниками, наиболее активными в дневное время и расположенными вблизи дневной поверхности.

Какова же природа суточной периодичности и полуденного эффекта, обнаруженных во временных последовательностях слабых землетрясений, не засорённых антропогенными источниками? Есть соображения в пользу того, что дело здесь не столько в самостоятельных вариациях числа слабых землетрясений на суточном временном интервале (хотя, возможно, и они имеют место), сколько в вариациях соотношения активности слабых и сильных сейсмических событий в течение суток. Предполагается, что увеличение числа относительно сильных землетрясений сопровождается уменьшением числа слабых сейсмических событий и наоборот. Это предположение основывается на существовании линейной зависимости в двойном логарифмическом масштабе числа землетрясений от их энергетического класса (магнитуды), известной как график повторяемости (или закон Гутенберга–Рихтера). Основываясь на этой зависимости, можно легко показать, что изменения ее наклона должны автоматически приводить к противофазным колебаниям чисел слабых и сильных землетрясений (см., например, [Mogi, 1962; Aki, 1965]). Реальность существования подобных вариаций подтверждена многочисленными исследованиями поведения графика повторяемости во времени в различных регионах мира (см., например, [Scholz, 1968; Imoto, 1991; Wiemer, Benoit, 1996; Wiemer, Wyss, 2002; Bowman, King, 2001; King, Bowman, 2003; Bowman, Sammis, 2004; Cao, Gao, 2002; Enescu, Ito, 2003; Papadopoulos, Baskoutas, 2009] и др.). Значимые изменения наклона графика повторяемости во времени устанавливаются тем надежнее, чем больший диапазон представительных магнитуд задействован при их построении (когда землетрясения данной магнитуды, происходящие в исследуемом регионе, регистрируются существующей сейсмической сетью без пропусков). И естественно стремление привлечь к таким построениям слабейшие сейсмические события, поскольку представительность сильных землетрясений (их достаточная статистика на рассматриваемом временном интервале) зачастую ограничивается реальными сроками наблюдений. Так, в работе Б.Г. Рулёва [1991] на примере слабейших землетрясений ($M \leq 0$) Гармского района за 1975–1989 гг. показано, что вариации среднемесячного совокупного числа таких микроземлетрясений и вариации средних энергетических классов их совокупностей противофазны. Это интерпретировалось следующим образом: уменьшение числа микроземлетрясений приводит к смещению их среднего энергетического

класса в сторону большей величины в соответствии с уменьшением (выполаживанием) наклона графика повторяемости для всего энергетического диапазона возникающих в регионе землетрясений, и наоборот. Физическая причина подобных вариаций, скорее всего, кроется в том, что они отражают характер перераспределения сейсмотектонических напряжений в неустойчивой неравновесной иерархически структурированной системе геологических отдельностей (блоков) – от их мелких совокупностей к крупным и обратно. Возможность описания сейсмического процесса поведением подобной среды следует из самого существования графика повторяемости, характеризующего иерархически структурированное распределение по размерам чисел отдельностей среды или эквивалентных им землетрясений. Сам же факт возможного перераспределения напряжений в такой среде (от мелких отдельностей к крупным и обратно) следует из реально наблюдаемого в сейсмическом процессе чередования периодов относительно спокойной фоновой сейсмичности и редких сильнейших сейсмических катастроф, предваряемых и сопровождаемых соответственно форшоковыми и афтершоковыми сериями более слабых землетрясений. Когда напряжения в такой структурированной среде реализуются преимущественно в виде относительно большого числа подвижек со сравнительно крупными линейными размерами, т.е. в виде относительно сильных сейсмических событий, число слабых землетрясений падает, и наоборот.

Казалось бы, применительно к сильным сейсмическим событиям осталось лишь провести статистическую оценку, аналогичную использованной нами при анализе слабых землетрясений, чтобы получить точный ответ относительно возможности существования обсуждаемой противофазности в суточных вариациях чисел слабых и сильных землетрясений. Но, к сожалению, проблема осложняется тем, что для таких оценок зачастую не хватает статистики достаточно сильных сейсмических событий (например, с $M \geq 5$, не говоря уже о более сильных) даже для достаточно обширных сейсмогенных территорий, превышающих по размерам все, рассматриваемые нами в данной статье. Тем не менее, подобная попытка была предпринята А.Я. Сидориным [2008] применительно к Гармскому району Таджикистана, на территории которого наиболее сильно выражено преобладание числа ночных слабых землетрясений над числом дневных. При этом в качестве условных сильных сейсмических событий автором рассматривались землетрясения с $M \geq 2.2$ ($K \geq 8$) в противовес слабым с $M \leq 1.1$ ($K \leq 6$) ($K = 4 + 1.8M$). Оказалось, что "...суточный ход сильных землетрясений практически противофазен суточному ходу временного ряда слабых землетрясений – максимальное количество сильных землетрясений происходило в дневное время" [Сидорин, 2008, с.70]. При этом, несмотря на то, что на спектрах Фурье суточная периодичность условных сильных землетрясений практически не выделялась, в работе утверждалось, что "...анализ стробоскопических спектров позволил установить наличие суточной периодичности сильных землетрясений с заметно большей по сравнению со спектрами Фурье надежностью" [Сидорин, 2008, с.73]. И далее – "...нулевая гипотеза о равномерном распределении сильных землетрясений Гармского полигона отвергается с вероятностью 99%" [Сидорин, 2008, с.74]. Аналогичный результат, но с меньшей степенью надежности, был получен А.Я. Сидориным для территории Узбекистана: им был "обнаружен практически противофазный суточный ход слабых ($K \leq 8.4$) и сильных ($K > 8.4$) землетрясений" [Сидорин, 2006, с.75].

Понимая, что землетрясения с $M \geq 2.2$ трудно воспринимать в качестве сильных сейсмических событий, мы, со своей стороны, попытались привлечь для решения этой задачи действительно сильные ($M \geq 5.5$) землетрясения мира, обладающие достаточной статистикой в рамках временного интервала их регистрации в каталоге *ISC*. Выполненные нами оценки для таких землетрясений, произошедших в 1973–2010 гг. в северном полушарии (каталоги *NEIC* и *ISC*), показали заметное превышение их числа в дневное

время над их числом в ночное. Значимость выделяемой суточной периодичности при этом оказалась низкой в силу отсутствия хорошо выраженного 24-часового экстремума на соответствующем спектре Фурье.

Одна из физических причин отсутствия ярко выраженного эффекта суточной периодичности чисел сильнейших землетрясений мира может состоять в том, что большее число таких событий происходит в зоне океанических сейсмогенных поясов, которые имеют скорее меридиональное, чем широтное простирание. Обусловленная вращением Земли суточная волна воздействия на возникновение сильных землетрясений (если такая в действительности существует), распространяющаяся по широте с востока на запад, затухивается самостоятельными миграционными процессами сильных землетрясений в пределах сейсмогенных структур, имеющих близмеридиональное простирание. В любом случае, пока нам не удалось получить прямых доказательств обсуждаемой гипотезы о противофазности вариаций чисел слабых и сильных землетрясений.

Вместе с тем, имеется свидетельство в пользу рассматриваемой противофазности на временном интервале, равном одному году (сезонная периодичность). Так, в работе [Лукк, Юнга, 1979] показано существование годовой периодичности в реализации числа слабых землетрясений Гармского района ($1 \leq M \leq 4$) и глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндукуша ($2.5 \leq M \leq 4.5$), с одной стороны, и противофазной ей периодичности сильных землетрясений Средней Азии ($M \geq 4.5$), с другой. В первом случае в летнее время число слабых землетрясений уменьшалось по сравнению с их числом в зимние месяцы примерно на 10%, а во втором – на те же 10%, но наоборот. Существование такой же годовой периодичности применительно к сильным землетрясениям мира ($M \geq 5.5$) отмечалось ранее в работах [Morgan et al., 1961; Кропоткин, Трапезников, 1963; Кропоткин, Люстих, 1974; и др.], хотя их авторы не проводили серьезной статистической оценки надежности установленного факта. Тем не менее, сама идея противофазности вариаций сильных и слабых землетрясений не может быть отвергнутой без должного анализа.

Принятие гипотезы о противофазности вариаций чисел слабых и сильных землетрясений, базирующейся на предположении о возможной перекачке потенциальной сейсмической энергии от совокупности мелких сейсмических подвижек к крупным и наоборот, позволяет решить проблему существования повсеместно наблюдаемой суточной периодичности слабых землетрясений ($M \leq 4$). В этом случае наблюдаемый для большинства сейсмоактивных территорий мира относительный минимум числа слабых землетрясений в дневное время вполне может быть связан с перекачкой потенциальной сейсмической энергии в область единичных, относительно сильных сейсмических событий, которые в большинстве своем происходят в дневное время. Но их добавление к существенно уменьшенной в результате такой перекачки статистике многочисленных слабых землетрясений в дневное время не повлияет существенным образом на соотношение чисел всех дневных и ночных сейсмических событий. При таком подходе, помимо прочего, получает разумное объяснение наблюдение на кривых суточного хода чисел слабых землетрясений полуденного эффекта – локального увеличения числа землетрясений вблизи полудня на фоне его общего дневного уменьшения. Это может быть всего лишь “хвостик” от дневного экстремума внутрисуточного распределения относительно сильных сейсмических событий ($M \approx 4-5$), которые обычно присутствуют в анализируемых выборках слабых землетрясений ($M < 5$). Но в таком случае возникает вопрос о причинах приуроченности сильных сейсмических событий к дневному времени суток, на который у нас нет готового ответа. Пока не остается ничего другого, как признать некое активизирующее влияние Солнца на сейсмическую активность как во время светового дня внутри суток, так и в летнее время внутри сезона – существуют определенные указания на возможность существования такого влияния.

Так, в работах [Децереvская, Сидорин, 2004; Беляков, Журавлёв, Лукк, 2011] отмечается факт приуроченности резких изменений сейсмической активности к моментам восхода Солнца (резкое возрастание) и его захода (резкий спад). Такая связь становится еще более очевидной для аналогичных изменений внутри суток активности подземных сейсмических шумов эндогенной природы, которые принципиально не отличимы от слабейших сейсмических событий [Беляков и др., 1999; Децереvская, Сидорин, 2004; Гаврилов и др., 2006; Гаврилов, 2007; Беляков, Журавлёв, Лукк, 2011]. Кроме того, при исследовании сезонных изменений формы суточной периодичности слабых землетрясений Камчатки установлено, что в окрестности осеннего и весеннего равноденствия происходят наиболее резкие изменения формы кривой суточной периодичности от зимнего вида к летнему и наоборот [Беляков, Журавлёв, Лукк, 2011]. О подобных резких изменениях формы суточной периодичности в день весеннего равноденствия применительно к наблюдениям за вариациями активности подземных сейсмических шумов сообщалось в работе [Беляков и др., 2000]. Все это наводит на мысль о возможности какого-то, возможно, опосредованного влияния Солнца на рассматриваемые здесь внутрисуточные и сезонные вариации сейсмической и сейсмоакустической активности.

Но с таким же успехом можно предполагать и влияние Солнца на частоту реализации сильных сейсмических событий как внутри суток, так и в пределах года (сезонная зависимость). По неким неясным для нас причинам сильные сейсмические события чаще возникают вблизи максимума освещенности – вблизи полудня и в летнее время года, – о чем свидетельствуют как наши оценки внутрисуточного распределения чисел сильнейших землетрясений северного полушария, так работы других авторов, например [Сидорин, 2008; Morgan et al., 1961; Кропоткин, Трапезников, 1963; Кропоткин, Люстих, 1974; Лукк, Юнга, 1979]. Возможно, таким образом проявляется триггерное влияние на земную сейсмичность активности Солнца, проявляющейся, например, в вариациях числа солнечных пятен или интенсивности солнечного ветра.

Подобная связь между суточными вариациями чисел землетрясений и количеством солнечных пятен, а также интенсивностью солнечного радиоизлучения на частоте 2800 МГц и величиной геомагнитного индекса k_p как указателя солнечной активности отмечалась ранее в [Simpson, 1967]. Причина такого триггерного воздействия остается неясной, хотя высказывается соображение, что этот эффект возникает за счет магнито-гидродинамического взаимодействия солнечного и земного магнитных полей, приводящего к резким кратковременным изменениям угловой скорости вращения Земли [Simpson, 1967; Chao, Gross, 1995; Paquet et al., 1997]. Второй возможной причиной триггерного эффекта, возбуждаемого солнечной активностью, могут быть крупномасштабные циркуляции атмосферы за счет тех же вариаций солнечной активности. Эти циркуляции приводят к резким кратковременным изменениям момента инерции вращающейся системы, также обуславливающим, в свою очередь, резкие кратковременные изменения угловой скорости вращения Земли [Simpson, 1967; Жаров и др., 1991; Zharov, 1996; Paquet et al., 1997; Жаров, 2005]. Оба названных механизма, имеющие одинаковые последствия, проявляющиеся резкими кратковременными изменениями угловой скорости вращения Земли, вполне могут индуцировать дополнительные напряжения в уже перенапряженной тектонической среде. Это, в конечном итоге, способно вызвать триггерное возбуждение сейсмогенного разрыва, т.е. возникновение сильного землетрясения.

Возможность влияния Солнца на вековые колебания палеоклимата обсуждалась в работах [Moberg et al., 2005; Даценко, Сонечкин, 2009]: “Стадии вековых похолоданий оказались неплохо сопряжены с известными периодами пониженной солнечной активности Вольфа, Сперера, Маундера и Дальтона” [Даценко, Сонечкин, 2009, с.40].

В свою очередь, эти колебания могут отражаться в вековых вариациях сейсмической активности.

Приведем еще одно соображение в пользу возможной обусловленности вариаций сейсмической активности изменениями угловой скорости вращения Земли. В упоминавшейся выше работе [Рулёв, 1991] путем каскадной фильтрации временных рядов чисел микроземлетрясений Гармского района в полосе периодов от 47 до 57 недель на отрезке времени 1975–1989 гг. выделялась четко выраженная сезонная (годовая) периодичность. Ее ход во времени, построенный по недельным интервалам, сопоставлялся с кривой средних вариаций угловой скорости вращения Земли, сглаженных недельным окном. Оказалось, что оба временных ряда довольно тесно коррелированы между собой (коэффициент корреляции доходил до 0.906 после исключения из ряда вариаций угловой скорости ее полугодовой составляющей) как в пределах каждого годового цикла, так и по долготелней трендовой составляющей. Тем самым утверждалось наличие четко выраженной взаимосвязи между сопоставляемыми процессами, при которой вариации угловой скорости вращения Земли играют триггерную роль в высвобождении накопленной упругой энергии в ходе сеймотектонического процесса.

Следует также заметить, что на возможность существования триггерных эффектов, возбуждаемых счет вариациями солнечной активности, указывает широко известный факт обнаружения 11-летнего цикла в сейсмичности, который связан с хорошо выраженным аналогичным циклом в солнечной активности [Чижевский, 1973; Сытинский, 1982; Хаин, Халилов, 2008, и др.]. Возможность существования во временных рядах различных геофизических величин 10–11-летней периодичности и ее 5.5-летней гармоник рассматривалась в работе [Децеровский, Лукк, 2002]; вопросы триггерного влияния на сейсмическую активность геомагнитных бурь обсуждались в работе [Соболев, Пономарев, 2003].

Итак, известен целый ряд сообщений о возможной связи наблюдаемых периодических вариаций сейсмичности (в рядах как слабых, так и сильных землетрясений) с планетарными процессами, которые непосредственно связаны с периодическими вариациями солнечной активности или со сменой дня и ночи. В качестве основного кандидата на роль запускающего механизма, приводящего к обсуждаемой в настоящей работе суточной периодичности в реализации чисел землетрясений, скорее всего, следует рассматривать резкие кратковременные изменения угловой скорости вращения Земли. В принципе, эти изменения могут индуцировать дополнительные напряжения в уже напряженной тектонической среде, представляющей собою неустойчивую неравновесную динамическую систему иерархически масштабированных геологических отдельностей (блоков). Происходящее в этой системе перераспределение напряжений от мелких совокупностей названных отдельностей к крупным и обратно вызывает периодическое относительное преобладание во времени либо слабых, либо сравнительно сильных сейсмических событий. Результатом такого перераспределения и может быть обсуждаемая в настоящей статье суточная периодичность в реализации слабых землетрясений.

Заключение

Таким образом, следует признать, что активизация сейсмической активности, наблюдаемая на кривых внутрисуточного распределения слабых землетрясений в ряде регионов мира в виде четко выраженного экстремума в широкой окрестности полудня, анализу которой посвящена настоящая работа, является артефактом. Причину отмеченного эффекта, в первую очередь, следует усматривать в засорённости каталогов слабых сейсмических событий регионов промышленными взрывами. Обусловленная взрывами антропогенная составляющая хорошо просматривается на кривых внутринедельного

распределения числа сейсмических событий – наблюдается существенное уменьшение амплитуд их суточной составляющей в нерабочие дни недели. Этот эффект наиболее ярко проявляется на внутринедельном распределении числа взрывов для регионов, в которых взрывные источники идентифицированы и составляются отдельные каталоги взрывов и землетрясений. При отсутствии хорошо выраженного антропогенного влияния на сейсмичность изучаемой территории преобладание приблизительно на 15–20% числа слабых землетрясений, возникающих ночью, над их числом в дневное время следует считать установленным фактом – именно таков стандартный вид кривой внутрисуточного распределения числа слабых землетрясений.

Высказывается предположение, что стандартные суточные вариации числа слабых ($M \leq 4$) землетрясений представляют собой противофазный отклик на суточные вариации чисел относительно сильных землетрясений ($M \geq 4$), которые происходят в основном в дневное время. Эта временная избирательность сильных землетрясений, скорее всего, обусловлена суточными вариациями угловой скорости вращения Земли, которые, в свою очередь, вызываются либо магнитогидродинамическим взаимодействием солнечного и земного магнитных полей, либо крупномасштабными циркуляциями атмосферы за счет ее неравномерного прогрева в течение суток, т.е. за счет вариаций солнечной активности.

Благодарности

Авторы благодарят сотрудников Международного сейсмологического центра (*International Seismological Center – ISC*), создавших и поддерживающих высококачественную доступную базу данных (*Online Databank*), в которой содержится статистически значимая информация о слабых землетрясениях для широкого круга сейсмоактивных регионов мира, и выражают свою признательность сотруднику Норвежской сейсмической группы *NORSAR* Яну Фиену за предоставление отдельных каталогов землетрясений и взрывов Скандинавии, использованных в данной статье.

Литература

- Абдуллабеков К.Н. (ред.). Каталог землетрясений Узбекистана 2001–2005. Ташкент: ФАН, 2006. 82 с.
- Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями // *Физика Земли*. 1999. № 12. С.39–46.
- Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Изменение фазы суточных вариаций подземного звука в день весеннего равноденствия // *Докл. РАН*. 2000. Т. 375, № 4. С.531–534.
- Беляков А.С., Журавлёв В.И., Лукк А.А. Суточная периодичность слабых землетрясений и высокочастотного подземного шума на Камчатке // *Физика Земли*. 2011. № 3. С.34–54.
- Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 1. С.52–67.
- Гаврилов В.А. Физические причины суточных вариаций уровня геоакустической эмиссии // *Докл. РАН*. 2007. Т. 414, № 3. С.389–392.
- Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. М.: Центр службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли, 1995. 98 с.
- Даценко Н.М., Сонечкин Д.М. Реконструкция синхронных вековых вариаций на западе и востоке северного полушария за последние 2000 лет и их связь с солнечной активностью // *Известия РАН. Сер. географ.* 2009. № 4. С.40–48.

- Дещереvский А.В., Лукк А.А. Выделение регулярных составляющих во временных вариациях геофизических параметров методом разложения на гармонические компоненты // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С.65–78.
- Дещереvская Е.В., Сидорин А.Я. Некоторые результаты изучения суточной периодичности Гармского полигона // Сейсмические приборы. 2004. Вып. 40. С.57–70.
- Жаров В.Е. Вращение Земли и шкалы времени // Наука в России. 2005. № 1 (145). С.5–9.
- Жаров В.Е., Конов А.С., Смирнов В.Б. Вариации параметров вращения Земли и их связь с сильнейшими землетрясениями мира // Астрон. журн. 1991. Т. 68, вып. 1. С.187–196.
- Журавлёв В.И., Лукк А.А. Особенности суточной периодичности слабых землетрясений Ирана // Физика Земли. 2012. № 1. С.63–81 (в печати).
- Журавлёв В.И., Сидорин А.Я. Спектральные исследования суточной периодичности землетрясений Гармского полигона // Геофизические исследования. 2005а. Вып. 1. С. 48–57.
- Журавлёв В.И., Сидорин А.Я. Общие свойства суточной периодичности землетрясений в некоторых регионах мира // Геофизические исследования. 2005б. Вып. 2. С.61–70.
- Журавлёв В.И., Лукк А.А., Мирзоев К.М., Сычёва Н.А. Суточная периодичность слабых землетрясений Средней Азии // Физика Земли. 2006. № 11. С.29–43.
- Зотов О.Д. Эффект выходных дней в сейсмической активности // Физика Земли. 2007. № 12. С.27–34.
- Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А. Вариации угловой скорости вращения Земли, колебаний полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 11. С.32–50.
- Кропоткин П.Н., Люстих А.Е. Сезонная периодичность землетрясений и принцип Ньютона-Маха // Докл. АН СССР. 1974. Т. 217, № 5. С.1061–1064.
- Лукк А.А., Юнга С.Л. Сезонная периодичность ориентации механизмов очагов и количества слабых землетрясений Гармского района // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246, № 1. С.44–47.
- Рулёв Б.Г. Годовая периодичность в эмиссии микроземлетрясений и неравномерность вращения Земли // Землетрясения и процессы их подготовки. М.: Наука, 1991. С.127–139.
- 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. 2005а. Т. 402, № 6. С.822–827.
- Сидорин А.Я. Необычная суточная периодичность землетрясений в бассейне р. Нарын // Геофизические исследования. 2005б. Вып. 3. С.51–62.
- Сидорин А.Я. Годовая и суточная периодичности землетрясений Нурекского района // Геофизические исследования. 2005в. Вып. 4. С.99–114.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Средней Азии. Часть 1. Гармский полигон: новые результаты // Сейсмические приборы. 2005г. Т. 41. С.44–64.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Средней Азии. Часть 2. Бассейн р. Нарын // Сейсмические приборы. 2005д. Т. 41. С.65–80.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Средней Азии. Часть 4. Республика Узбекистан // Сейсмические приборы. 2006. Т. 42. С.75–83.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность сильных землетрясений Гармского района // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 3. С.70–76.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 4. С.69–84.
- Соболев Г.А., Пономарёв А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
- Сытинский А.Д. О зависимости глобальной и региональной сейсмичности Земли от 11-летнего цикла сейсмической активности // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 6. С.1350–1353.
- Хаин В.Е., Халилов Э.Н. О возможности влияния солнечной активности на сейсмическую и вулканическую активность: Долгосрочный прогноз // Science Without Borders. Transactions of the International Academy of Science H & E. V. 3. 2007/2008, SWB, Innsbruck, 2008.
- Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 350 с.
- Atef A.H., Liu K.H., Gao S.S. Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2009. V. 99, N 4. P.2273–2279.

- Aki K.* Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits // Bull. Earthq. Res. Inst Univ. 1965. Tokyo. V. 43. P.237–239.
- Bowman D.D., King G.C.P.* Accelerating seismicity and stress accumulation before large earthquakes // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28. P.4039–4042.
- Bowman D.D., Sammis C.G.* Intermittent critical and the Gutenberg-Richter distribution // Pure Appl. Geophys. 2004. V. 161. P.1945–1956.
- Cao A., Gao S.S.* Temporal variation of seismic b -value beneath northeastern Japan island arc // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29, N 9. P.1334. DOI10.1029/2001GL0 13775.
- Chao B.F., Gross R.S.* Changes of the Earth's rotational energy induced by earthquakes // Geophys. J. Int. 1995. V. 22. P.776–783.
- Davies D.* Nocturnal Earthquakes // Geophys. J. Roy. Astr. Soc. 1972. V. 28. P.305.
- Davison C.* Studies on the periodicity of earthquakes. London: Murby, 1938. 107 p.
- Enescu B., Ito K.* Values of b and p : their variations and relation to physical processes for earthquakes in Japan // Annuals Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., 2003. N 46B. 11 p.
- Flinn E.A., Blandford R.R., Mack H.* Comment on 'Evidence for higher seismic activity during the night', by Michael Shimshoni // Geophys. J. Roy. Astr. Soc. 1972. V. 28. P.307–309.
- Gulia L.* Detection of quarry and mine blast contamination in European regional catalogues // Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Nat Hazards. DOI: 10.1007/sl 1069-009-9426-8. Springer Science +Business Media B.V. 2009.
- Horasan G., Guney A.B., Kusmezer A., Bekler F., Ogutcu Z., Musaoglu N.* Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: an example from Istanbul and its vicinity, northwestern Turkey // J. Asian. Earth. Sci. 2009. V. 34, N 1. P.90–99.
<http://www.ncedc.org/ncedc/catalog-search.html>
- Imoto M.* Changes in the magnitude-frequency b -value prior to large ($M \geq 6.0$) earthquakes in Japan // Tectonophysics. 1991. V. 193. P.311–325.
- International Seismological Centre, On-line Bulletin. <http://www.isc.ac.uk/Cite/cite.html>
- Japan University Network Earthquake Catalog (JUNEC)1985–1988.
[Catalog/junec/index.html](http://www.junec/index.html)
- King G.C.P., Bowman D.D.* The evolution of regional seismicity between large earthquakes // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, N B2. 2096, doi:10.1029/2001JB000783.
- Kiszely M.M.* Statistical analysis of earthquakes and quarry blasts in the Carpathian Basin – new problems and facilities // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2010. V. 5, N 2. P.101–110.
- Knopoff L., Gardner J.* Higher seismic activity during local night on the raw worldwide earthquake catalogue // Geophys. J. Roy. Astr. Soc. 1972. V. 28. P.311–313.
- Koch K., Fah D.* Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: The Vogtland area revisited // Pure Appl. Geophys. 2002. V. 159. P.735–757.
- Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K., Datsenko N.M., Karlen W.* Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data // Nature. 2005. V. 433, N 7026. P.613–617.
- Mogi K.* Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes // Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo. 1962. V. 40. P.831–851.
- Morgan W.J., Stoner J.O., Dicke R.H.* Periodicity of earthquakes and the invariance of the gravitational constant // J. Geophys. Res., 1961. V. 66, N 11. P.3831–3843.
- Murphy J.R., Bennet T.J.* Analysis of seismic discrimination capability using regional data from Western United States events // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1982. V. 76. P.1069–1086.
- National Earthquake Information Center (NEIC). http://neic.usgs.gov/neic/epic/epic_rect.html
- Papadopoulos G.A., Baskoutas I.G.* New tool for the temporal variation analysis of seismic parameters // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2009. V. 9. P.859–864. (www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/859/2009)
- Paquet P., Dehant V., Bruyninx C.* Earth rotation observations and their geophysical implications // Bull. Astron. Belgrade. 1997. V. 156. P.89–108. Review paper.
- Scholz C.H.* The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1968. V. 58. N 1. P.399–415.

- Simpson J.F.* Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1967. V. 3, N 5. P.417–425.
- Shimshoni M.* Evidence for higher seismic activity during the night // *Geophys. J. Res. Astr. Soc.* 1971. V. 24. P.97–99.
- Ulbrich U., Ahorher L., Ebel A.* Statistical investigations on diurnal and annual periodicity and on tidal triggering of local earthquakes in central Europe // *J. Geophys.* 1987. V. 61. P.150–157.
- Wiemer S., Baer M.* Mapping and removing quarry blast events from seismicity catalogs // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2000. V. 90, N 2. P.525–530.
- Wiemer S., Benoit J.* Mapping the b-value anomaly at 100 km depth in the Alaska and New Zealand subduction zones // *Geophys. Res. Lett.* 1996. V. 23. P.1557–1560.
- Wiemer S., Wyss M.* Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview // *Advances in Geophysics.* 2002. V. 45. P.259–302.
- Zharov V.E.* Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes // *Astron. Astrophys. Transactions.* 1996. V. 9. P.317–327.
- Zhou R.M., Stump B.B.* Frequency-domain scaling of single-fired mining explosions with different confinements and explosive weights detonated in porphyry granite // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2007. V. 97, N 6. P.1862–187.

Сведения об авторах

ЖУРАВЛЁВ Владимир Ильич – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8-916-125-72-18. E-mail: vzhtverts@mtu-net.ru

ЛУКК Альберт Артурович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-90-35. E-mail: lukk@ifz.ru

MIDDAY ACTIVATION SEISMICITY IN TURKEY AND SEVERAL OTHER WORLD REGIONS

V.I. Zhuravlev, A.A. Lukk

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

Abstract. We analyzed the catalogs of weak seismic events in Turkey ($M \leq 4$) and several other regions of the world to identify the daily periodicity. It is shown that a well-marked predominance of seismic activity during the day in the neighborhood of noon, observed in the mainland Turkey and other regions of the world, may well be at least partly due to “contamination” of catalogs of weak seismic events from multiple explosions (produced mainly during the day) associated with production of the mining industry in these countries. Presence in the earthquake catalog of the human effect is confirmed by observation well-defined weekly periodicity of seismic events. Examples are given in the daily distribution of the number of seismic events separately for weak natural earthquakes and explosions for the regions where exist separate catalogs. It is considered that in the case of “cleansing” catalogs of seismic events from the explosions, the curve of the daily distribution of numbers of small earthquakes takes the standard for the vast majority of seismogenic areas in the world view: the number of small earthquakes occurring at night dominated by 15–20% over a number of them in the daytime. On the basis of general considerations and the known data in the literature it is assumed that strong earthquakes, by contrast, must predominantly take place during the day. Common cause of the observed (and expected) of the diurnal variations of numbers of earthquakes seems to trigger the excitation of strong seismic events due to sharp short-term (within 24 hours) changes in angular velocity of rotation of the Earth, and the corresponding redistribution of seismotectonic stress in the unstable non-equilibrium system of geological isolations (blocks) – from small groups of such individuals to large and back again.

Keywords: weak earthquakes, explosions, the daily periodicity, “noon effect”, “effect weekend”, anthropogenic “contamination” of earthquake catalogs.