

СУТОЧНАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ В ВОЗНИКНОВЕНИИ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В.И. Журавлев – докт. физ. мат. наук

А.А. Лукк – канд. физ. мат. наук

К.М. Мирзоев – докт. физ. мат. наук

Н.А. Сычева – канд. физ. мат. наук

Л.М. Богомолов – канд. физ. мат. наук

The distributions of weak ($M \geq 0$) earthquakes occurrence times have been calculated for five regions of Central Asia where long term instrumental seismic surveys were being performed. The range of considered spectral periods was from 1 to 48 hours; the lag being half an hour. The presence of significant, high-Q spectrum extrema of 24 and 12 hours has been revealed for all used catalogs. Observed periodicities disappear near entirely for major seismic events of magnitude $M > 2.2$. The temporal plot of diurnal periodicity seems to be different at various regions. Possible causes of the phenomenon have been discussed. No considerable effect of lunar-solar tides over seismic emission variation has been found.

Введение. Первые научные результаты по наблюдению суточной периодичности в возникновении землетрясений были опубликованы еще в конце XIX – начале XX века [1–4]. Установив высокую значимость обнаруженной суточной периодичности, авторы разошлись в ее интерпретации. Если К. Кнотт [2, 3] связывал ее возникновение с гравитационным воздействием на твердую оболочку лунно-солнечного прилива, то Ф. Шустер [4] отвергал эту гипотезу.

В дальнейшем эта противоречивость проблемы нашла свое отражение в большом количестве исследований как того, так и иного толка. Наряду с работами, подтверждающими гипотезу о влиянии лунно-солнечных приливов на землетрясения [2, 3, 5–16], есть другой ряд исследований, в которых эта гипотеза либо отвергнута полностью, либо подвергнута глубокому сомнению [17–25]. В этой связи показательны работы Т. Итона [22, 26]. Так, если в первой из них он сообщает об обнаруженном им влиянии приливов на сейсмичность, то во второй, используя более полные данные, отрицает существование подобной связи.

Из всех ранних работ в этом направлении следует особо выделить монографию Чарльза Дэвисона [27], специально посвященную изучению различных периодичностей землетрясений. Целый раздел этой монографии посвящен рассмотрению суточной периодичности. Она обнаружена автором в 198 выборках землетрясений из различных регионов мира. При этом максимум сейсмичности отмечался примерно в половине случаев ночью, а в другой половине приблизительно в полдень, хотя отмечались и другие моменты наступления максимума. Установлено, что суточная периодичность более свойственна слабым сейсмическим событиям. В качестве возможной причины наблюдаемой периодичности указывались суточные вариации атмосферного давления. Полученные для того времени результаты впечатляющие, правда, статистика сейсмических событий была недостаточно высокой: от первых сотен до первых тысяч землетрясений в разных регионах мира.

Из наиболее ярких работ более позднего периода, когда с успехами инструментальной сейсмологии статистика используемых

сейсмических событий существенно возросла, следует отметить работу Майкла Шимшони [28]. На базе анализа более 15000 землетрясений, инструментально зарегистрированных в 1968–1970 гг. Национальной океанической и атмосферной службой США (United States National Oceanic and Atmospheric Administration), им было установлено статистически значимое (на 99,5-процентном уровне) превышение числа землетрясений, возникающих ночью по сравнению с их дневным числом. В этой работе приведена соответствующая численная функция, построенная методом наложения эпох по 24- часовым интервалам в виде отклонений числа землетрясений от их среднечасового значения (638.5) по всему временному интервалу. Ее графическое представление, выполненное нами, приведено на рис. 1. Максимальные отклонения от среднего значения составляли около 15%.

Публикация [28] вызвала в свое время широкий отклик научной общественности. Появился целый ряд публикаций [30–32], авторы которых доказывали, что описанная в

работе [28] суточная периодичность – всего лишь артефакт – результат изменения реальной чувствительности сети наблюдения из-за повышения в дневное время уровня помех. Решающим аргументом для такого вывода стал тот факт, что при повышении энергий, включаемых в выборку землетрясений, суточная периодичность исчезала [31]. Эти работы сформировали негативное отношение ученых к данной проблеме, и исследования по ней фактически прекратились.

Непосредственным поводом для нашего исследования этой проблемы послужила публикация Е.В. Дещеревской и А.Я. Сидорина [29], в которой в качестве побочного результата приведена сглаженная функция среднесуточного хода чисел слабых землетрясений ($M \leq 1$) в Гармском районе по данным 37-летних наблюдений (рис. 1). Приведенная авторами функция суточного хода оказалась удивительно похожей на зависимость, полученную Шимшони

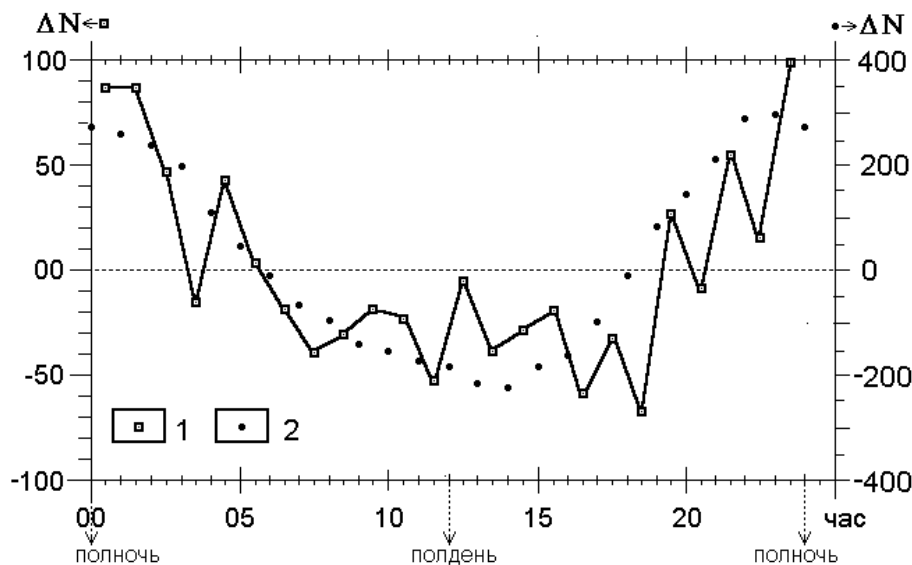


Рис. 1. Уклонения чисел землетрясений, просуммированных по всему периоду наблюдения внутри 24- часовых временных интервалов (23.30 – 00.30, ..., 22.30 – 23.30), от их среднечасовых значений согласно работам [28 (1)] и [29 (2)].

для более сильных землетрясений ($M \geq 2$). Максимальные отклонения от среднего

значения (около 1700 событий) составляли примерно 17% и оказались очень близкими к

результату Шимшони [29]. Авторы обсуждаемой работы по сути дела присоединяются к мнению, высказанному в работах [30–32], и не признают самостоятельности за обнаруженным явлением. Наблюдаемый суточный ход количества землетрясений списывается на уменьшение числа зарегистрированных землетрясений в дневные часы, когда наиболее высок уровень сейсмического шума за счет ветровых помех.

Известно, что ветровое воздействие может вносить существенный вклад в высокочастотный сейсмический шум, что отражается главным образом на его суточной гармонике [33].

Вместе с тем имеется и другая точка зрения на роль ветровой атмосферной циркуляции в распределении чисел землетрясений. Так, имеются прямые указания на то, что атмосферная циркуляция передает создаваемый ею момент сил земной коре, что в свою очередь приводит к изменению угловой скорости вращения Земли [34]. Наиболее хорошо изучены сезонные вариации скорости вращения, среди которых выделяется гармоника с годичным периодом, а в последние годы установлено также существование суточной и полусуточной высокочастотных гармоник в вариациях скорости вращения Земли [34]. Эти высокочастотные гармоники в принципе могут обуславливать аналогичные периодичности в реализации многочисленных слабых сейсмических событий.

Обсуждаемые периодичности наблюдались и в сейсмоакустической эмиссии (сейсмоакустическом шуме), измерявшейся инструментально в диапазоне частот 20–2000 Гц. Впервые периодичности в 12 и 24 часа с максимальным шумом в полдень и полночь по местному времени были обнаружены в 1961 г. при продолжительных наблюдениях на дне океана в полосе от 20 до 100 Гц [35]. В серии исследований последних лет интенсивности сейсмического шума в диапазоне частот 20–2000 Гц в штольнях и глубоких скважинах с частотой опроса количества тресков раз в 1 минуту [36–38] в различных регионах России (Припятский прогиб в Белоруссии, Обнинск,

Петропавловск-Камчатский, Северный Кавказ) было установлено существование целого набора периодичностей в сейсмоакустической эмиссии: 14-суточная, 24- и 12-часовые, а также более короткие периодичности на периодах 8, 6 и далее часов (кратных суткам гармоник). Значимость и количество кратных суткам гармоник увеличиваются по мере увеличения частоты полосы регистрации. Следует особенно подчеркнуть, что специальные исследования, проведенные в ходе выполнения указанных работ, показали, что влияние на результат поверхностных шумов практически исключено.

Предлагаемая авторами упомянутого цикла работ обусловленность наблюдаемых периодичностей сейсмоакустической эмиссии приливными деформациями от гравитационного воздействия Солнца на твердую литосферу не выдерживает серьезной критики. Выделенные ими суточные (строго 24 часа) и кратные 24 часам периодичности не соответствуют экстремумам лунных приливных деформаций, гораздо более интенсивных, чем солнечные приливные деформации. Поэтому гипотеза обусловленности суточной периодичности сейсмической и сейсмоакустической эмиссий приливными деформациями подвергается серьезному сомнению. Вместе с тем в работе В.А. Гаврилова с коллегами [39], обобщающей результаты аналогичных исследований сейсмоакустической эмиссии в глубоких скважинах на Камчатке, утверждается, что эти периодичности в сейсмоакустической эмиссии обусловлены модуляцией сейсмического шума естественным электромагнитным полем Земли. Подобную идеологию принял и А.Я. Сидорин [40] в своей последней работе на данную тему. Так что, проблему существования суточной периодичности чисел землетрясений пока рано списывать на артефакт.

Исходные данные. С целью проверки как самого факта существования суточной и кратных ей периодичностей в реализации количества многочисленных слабых землетрясений, так и возможного объяснения их природы мы рассмотрели пять каталогов для пяти регионов Средней Азии, где осуществлялись долговременные высокочувствительные детальные наблюдения

за слабой сейсмичностью (начиная с $M=0-1$): 1 – Гармский (Гарм), 2 – Душанбино-Вахшский (Душанбе), 3 – Нурекский (Нурек) – все три в Таджикистане, 4 – Бассейн р. Нарын (Нарын) и 5 – Бишкекский (KNET) – последние два в основном в Киргизии, частично перекрываясь друг с другом, и отчасти в Узбекистане (Нарын). Выделение Нурекского района в отдельное рассмотрение из Душанбино-Вахшского региона продиктовано тем, что на сейсмическую активность в его пределах мог оказывать **давление** режим заполнения и эксплуатации крупного искусственного водохранилища во время проведения наблюдений. Подобную ситуацию можно ожидать и в широкой окрестности крупного гидротехнического сооружения на р. Нарын. Использование не одного, а целого ряда каталогов должно способствовать повышению статистической надежности результата.

Исследовались данные о временах и числах слабых землетрясений (с $M \geq 0$). Временной интервал наблюдений, общее число сейсмических событий в каталоге, среднесуточное их число, центры тяжести эпицентров землетрясений, составляющих каждый из указанных каталогов, и координаты максимальных уклонений по широте и долготе, входящие в данный каталог эпицентров землетрясений, приведены в таблице.

Малое число землетрясений за сутки не означает непригодности данных каталогов для анализа. За счет временной длительности каждого из каталогов суммарное число событий внутри конкретного часа суток может быть таково, что амплитуда суточной вариации

жется больше ошибки оценки часовых чисел сейсмических событий. Эта ошибка тем меньше, чем больше общее число событий, попадающих в данное часовое окно осреднения.

В соответствии с графиками повторяемости землетрясений для разных каталогов наиболее высокой представительностью малых энергетических классов обладает Гармский район, где, начиная с $M \geq 1.5$, практически все землетрясения регистрируются без пропуска. При этом уровень регистрации более слабых землетрясений вплоть до $M=0$ остается достаточно высоким (более 3000 таких событий за все время наблюдений). Примерно аналогичная ситуация с графиком повторяемости для Душанбино-Вахшского района. Правда, регистрация слабых сейсмических событий начинается лишь с $M=0.5$, но их число достаточно велико (более 3500 таких событий за все время наблюдений). Для регионов KNET и Нарын представительными являются землетрясения, начиная с $M \geq 2$. При этом число непредставительных слабых сейсмических событий, которые можно использовать для нашего анализа, примерно на порядок меньше. Промежуточное положение в использовании слабых сейсмических событий занимает район Нурека.

В категорию слабых сейсмических событий мы относили землетрясения с $M < 2.2$ вне зависимости от региона исследования. Оценки существования суточной периодичности выполнялись отдельно для сейсмических событий с $M < 2.2$ и с $M \geq 2.2$.

Характеристика исходного материала

Район	Время наблюдений	Σ число зтр.	Число, зтр./сут	Миним. представ., M	Центр тяжести эпицентров		Координаты районов	
					с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.
Гарм	1955–1991	87089	6.8	0.0 / 1.7	38.9	71.0	38.5–39.5	69.9–71.5
Душанбе	1955–1991	83807	6.7	0.5 / 1.7	38.6	68.6	37.7–39.3	67.5–70.2
Нурек	1955–1991	9508	0.7	1.0 / 1.7	38.4	69.5	38.0–	69.0–

							38.7	69.8
Нарын	1965–1991	3842	0.5	0.5 / 2.2	41.5	72.7	39.8– 42.5	70.0– 74.5
KNET	1994–2004	4997	1.4	0.5 / 2.0	42.2	75.2	41.0– 44.0	72.0– 78.0

Алгоритмы расчетов. Для всех каталогов рассчитывались спектры временных последовательностей землетрясений. Для расчета использовали времена сейсмических событий с точностью до секунд, если они были представлены в каталоге, и если нет – то до минут. За начало отсчета принимали первое событие в каталоге. Поскольку для решения поставленной задачи (выделения суточной периодичности и ее возможных высокочастотных гармоник) достаточно ограничиться узким спектральным диапазоном от 1 до 48 часов, мы использовали более простой алгоритм вычисления спектра, чем метод БПФ или другие методы расчета спектров с равномерным (эквидистантным) отсчетом временного ряда. Весь каталог представлялся в виде набора дельта-функций, определяющих каждое сейсмическое событие. Общая шкала периодов начиналась от получаса с шагом в полчаса. Кроме квантованных до получаса периодичностей, в анализ включались также основные не кратные получасу периодичности, наблюдаемые в лунных приливах: $M_3 - 8.280$, $K_2 - 11.967$, $M_2 - 12.421$, $N_2 - 12.658$, $J_1 - 23.098$, $K_1 - 23.934$, $P_1 - 24.066$, $M_1 - 24.833$, $O_1 - 25.819$ часов [49]. В каждом случае рассчитывались модули величины

$$\sum_j^N e^{i\omega_k t_j},$$

где t_j – время сейсмического события j , общее число которых N ; ω_k – частоты, рассчитываемые через выбираемые периоды T_k как $\omega_k = 2\pi/T_k$. Амплитуды экстремумов рассчитываемого таким образом спектра пропорциональны числу событий, участвовавших в определении экстремума данной гармоники. Использование подобного упрощенного метода расчета спектров позволило нам избежать осреднения событий, которое обязательно потребовалось бы в случае использования метода БПФ, который требует кратности рассчитываемых гармоник

и строгой равномерности (эквидистантности) отсчетов значений исходного ряда.

Как правило, временные вариации сейсмической эмиссии имеют все признаки ряда с достаточно интенсивной случайной составляющей. Поэтому спектры такого ряда, вообще говоря, требуют дополнительных процедур осреднения для придания достаточной надежности выделяемым в процессе анализа периодичностям. Поэтому для оценки статистической значимости превышения интересующих нас экстремумов над шумовой составляющей спектров рассчитывались дополнительно также более подробные спектры в ближайшей окрестности интересующих нас экстремумов с более подробным шагом в половину минуты. Затем они усреднялись скользящим окном по пять соседних периодов. В последнем случае усреднялись как амплитуды спектра, так и соответствующие им периоды. Устойчивость спектральных экстремумов на “подробных” и “сглаженных” спектрах и заметное превышение амплитуд идентифицируемых экстремумов над амплитудами шумовой составляющей спектра служили свидетельством значимости выделяемой периодичности. Периодичность считается установленной с достаточной степенью значимости в случае значительного превышения на спектре (в разы) ее амплитуды над амплитудами спектра на соседних периодах в ближайшей окрестности выделяемого экстремума. Кроме того, выделяемый экстремум спектра должен быть уже, чем длительность временного интервала до ближайшего соседнего периода в рассматриваемом спектре.

Помимо таких спектров рассчитывались также так называемые стробоскопические спектры с использованием метода наложения эпох. Этот метод был реализован суммированием чисел землетрясений по получасовым интервалам внутри временных окон, равных выделяемым периодам от 1 до 48

часов, по всему каталогу. При этом шаг суммирования в каждом случае был равен ширине окна. На стробоскопических спектрах по оси ординат откладывались разницы максимальной и минимальной амплитуд (чисел землетрясений) полученных кривых для каждого выбранного периода, поделенные на число вложений каждого из таких окон внутри полного каталога. Сами эти кривые могли быть использованы для характеристики формы сигнала выделенной периодичности, которая служит важной дополнительной характеристикой при ее интерпретации. Поэтому кроме спектральных характеристик выделяемой суточной периодичности мы использовали и ее форму. Именно таким образом была построена кривая для периода 24 часа (суточный ход), которая представляла наибольший интерес в данном исследовании.

Стробоскопическое суммирование позволяет также решить проблему кратных периодов. Так, если периодический сигнал имеет вид ступеньки, то в его спектре кроме основного периода T этой ступеньки будут встречаться еще и периоды T/n , где n – целое число (кратные гармоники). Например, если сигнал составлен только прямоугольной ступенькой с 24-часовой периодичностью, обычный спектр такого сигнала имеет и кратную ей гармонику длительностью 12 часов. Стробоскопическое суммирование по периоду 12 часов способно установить, является ли наблюдаемый кратный период самостоятельным или он лишь следствие отличия формы суточной периодичности от строгой гармоника (синуса) в сторону меандра. Такое суммирование приведет к малым амплитудам в случае фиктивности (кратности) этой гармоника за счет гашения противоположных частей сигнала в 12-часовом окне. Наоборот, достаточно высокая амплитуда сигнала на выходе такого суммирования служит критерием объективности существования анализируемой периодичности.

И, наконец, важным элементом методики является использование целого ряда каталогов землетрясений. В этом случае появляется дополнительный критерий надежности выделения искомой периодичности. Он

состоит в присутствии идентичного экстремума на этом периоде в спектрах всех или хотя бы нескольких используемых каталогов.

Результаты расчетов. Результаты расчетов спектров для временных рядов непредставительных слабых землетрясений с $M < 2.2$ по данным всех пяти используемых каталогов приведены на рис. 2 и 3. В левой колонке рис. 2 приведены расчетные спектры времен таких землетрясений. В правой – нормированные на максимальный размах кривые суточного хода чисел событий для тех же слабых землетрясений, построенные методом наложения эпох. Шкала абсцисс в этом случае соответствует местному времени. Экстремум спектров, соответствующий суточной периодичности, является доминирующим в рассматриваемом диапазоне периодов 1–48 часов практически для всех использовавшихся каталогов. Острота обсуждаемого экстремума спектров уже получасового окна сканирования. Ситуация несколько хуже для каталога KNET, но, учитывая общую ситуацию, можно считать, что и в этом случае достоверность выделения суточной периодичности не вызывает сомнения. Довольно уверенно на всех спектрах выделяется также и 12-часовой экстремум, хотя его интенсивность уступает 24-часовому экстремуму. В некоторых случаях диагностируется и период 8 часов. Это особенно хорошо видно на примере Душанбинского района и с меньшей достоверностью – для районов Нурека и Нарына.

Спектры представлены в левой колонке, а временные ходы – в правой. При расчете спектров, время по Гринвичу, временные ходы показаны по местному времени, вычисленному (с точностью до 1 часа) через разницу долгот Гринвича и центра скопления эпицентров данного региона.

На всех приведенных на рис. 3 стробоскопических спектрах также достаточно уверенно выделяются те же экстремумы на 24 и 12 часах. Кривые суточного хода сейсмической эмиссии, приведенные на рис. 2, можно разложить на две группы. К первой группе относятся кривые суточного хода для

районов Гарм, Душанбе и KNET, ко второй – для районов Нурек и Нарын. Кривые первой группы характеризуются ярко выраженным преобладанием числа землетрясений в ночное время – от 21 до 5 часов. Минимальное число землетрясений приходится на дневное время – от 6 до 10 часов. Кривые второй группы, наоборот, характеризуются ярко выраженным преобладанием числа землетрясений в дневное время – от 10 до 16 часов.

Удивительно, что такой вид имеет кривая для Нурека, входящего в состав более обширного района Душанбе, резко отличающегося от Нурека видом кривой суточного хода сейсмической эмиссии. О возможной причине такого рассогласования мы поговорим несколько позже.

На рис. 4–7 показаны примеры оценки надежности выделения экстремумов на 24 и 12 часах на подробных (а) и сглаженных по пять значений (б) спектрах времен слабых землетрясений по Гармскому (рис. 4 и 6) и Бишкекскому (KNET) (рис. 5 и 7) каталогам. Они здесь выбраны соответственно как наиболее (Гармский) и наименее (KNET) представительные по статистике сейсмических

событий. На рис. 4 экстремум спектра Гармского каталога на 24 часах более чем в три раза превышает амплитуды соседних экстремумов. Это относится как к подробному спектру (рис. 4а), так и к его сглаженному варианту (рис. 4б). Ширина экстремума не превышает 10 минут. Значимость выделенной периодичности не вызывает сомнения. Выделенный экстремум не совпадает ни с одной из периодичностей лунного прилива. В свою очередь последние не находят своего выражения в виде иных заметных экстремумов на периодах соответствующих лунных гармоник на приведенных спектрах. На рис. 5 приведена аналогичная пара спектров для каталога KNET. Здесь ситуация уже хуже. На подробном спектре (рис. 5а) отмечается лишь слабое превышение над соседним фоном целой пачки экстремумов в диапазоне периодов от 23,4 до 24,1 часа. Вместе с тем на сглаженном спектре (рис. 5б) выделяется достаточно узкий экстремум на 24 часах, но его амплитуда всего лишь в полтора раза превышает соседние. Так что значимость выделенной периодичности по каталогу KNET остается под вопросом. На рис. 6 приведены аналогичные спектры в окрестности 12 часов

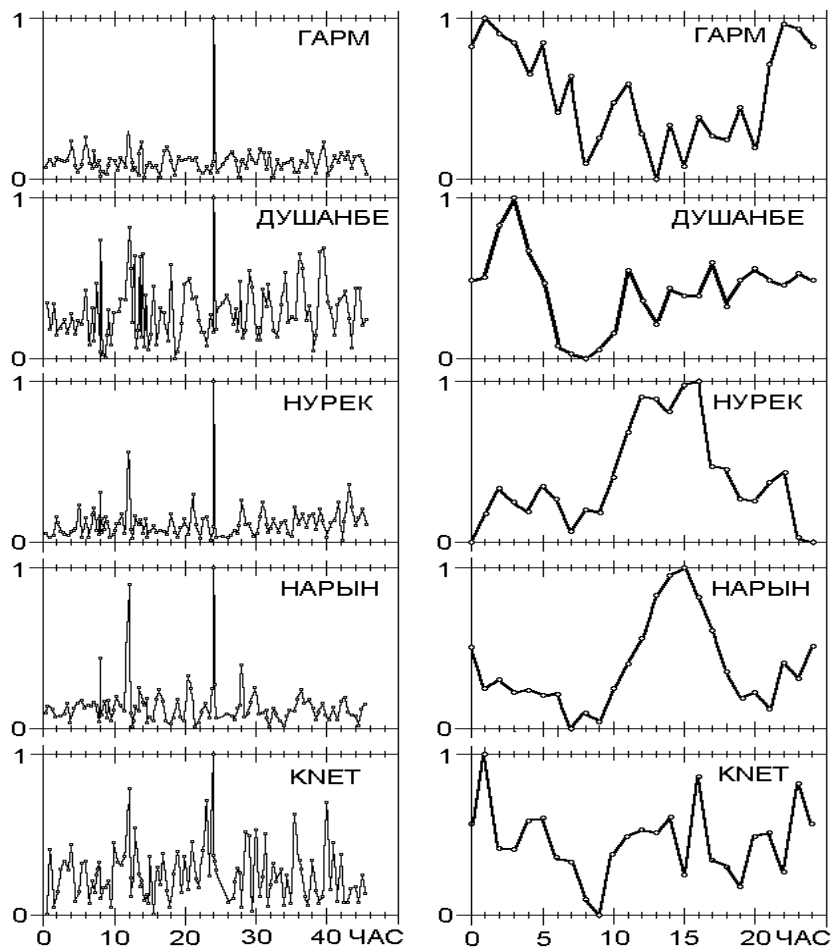


Рис. 2. Нормированные на максимальную амплитуду спектры времен и суточные ходы чисел слабых землетрясений ($M \geq 0$) для пяти рассматриваемых районов Средней Азии.

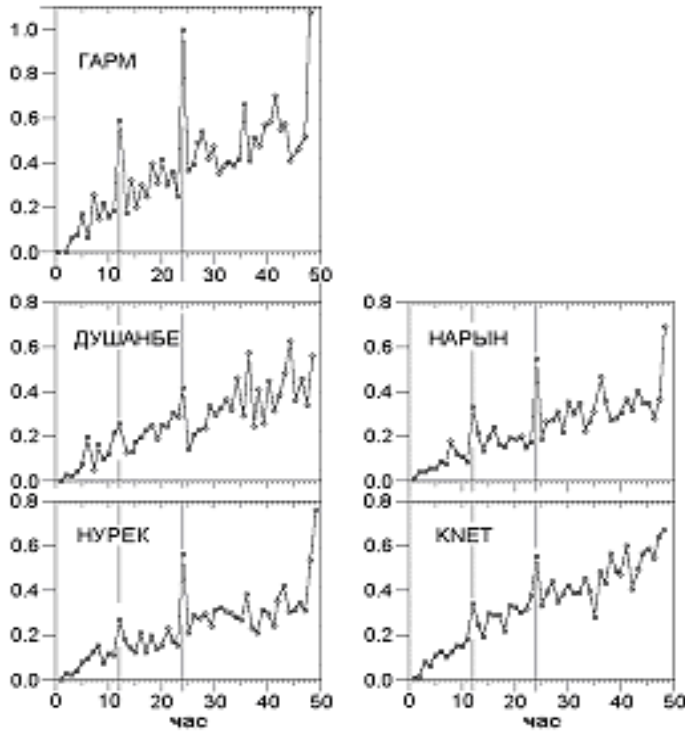


Рис. 3. Стробоскопические спектры временных рядов слабых землетрясений для пяти рассматриваемых районов Средней Азии.

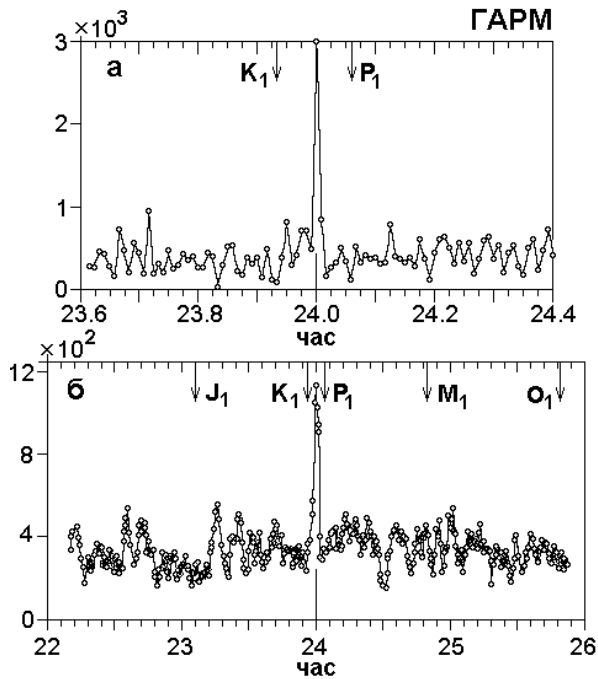


Рис. 4. Спектры времен слабых землетрясений Гармского района в окрестности 24 часов: а – подробный; б – сглаженный по пяти точкам.

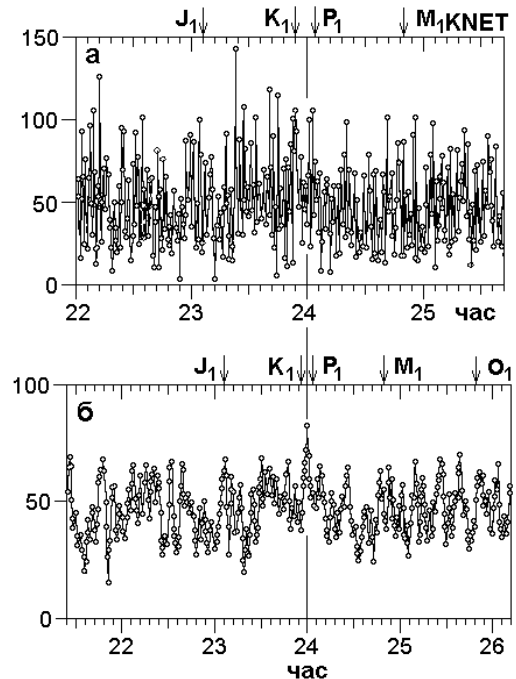


Рис. 5. Спектры времен слабых землетрясений полигона KNET в окрестности 24 часов: а – подробный; б – сглаженный по пяти точкам.

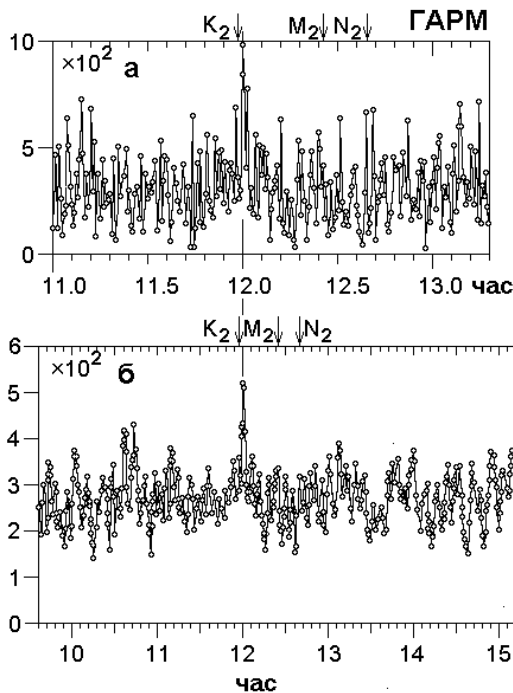


Рис. 6. Спектры времен слабых землетрясений Гармского района в окрестности 12 часов: а – подробный; б – сглаженный по пяти точкам.

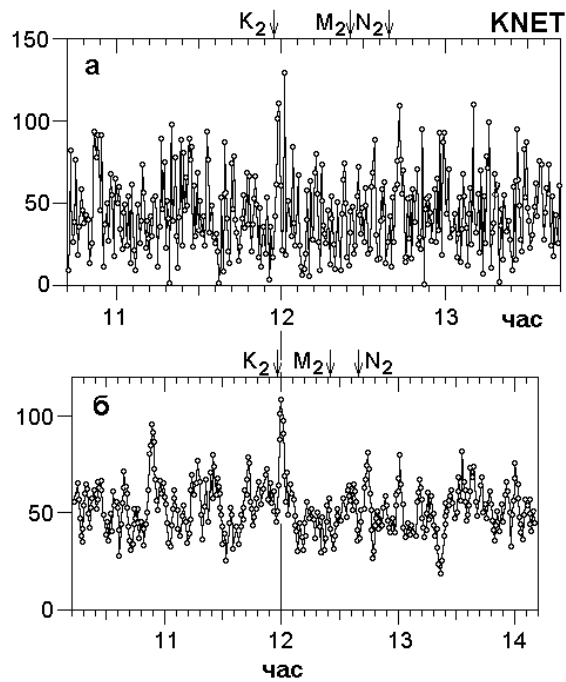


Рис. 7. Спектры времен слабых землетрясений полигона KNET в окрестности 12 часов: а – подробный; б – сглаженный по пяти точкам.

для Гармского каталога. На обоих спектрах на 12 часах выделяется достаточно узкий экстремум. Его амплитуда примерно вдвое выше соседних экстремумов. Надежность выделения 12-часовой периодичности можно считать удовлетворительной. Столь же уверенно выделяется эта периодичность и по каталогу KNET (рис. 7). В отличие от суточной периодичности, полусуточную, по данным каталога KNET, следует считать значимой. Ситуация с оценкой надежности выделенных 12- и 24-часовой периодичностей по другим трем каталогам лежит между аналогичными оценками по Гармскому и Бишкекскому каталогам. Совпадение оценок по всем 5 использованным каталогам повышает надежность выделения установленных периодичностей сейсмической эмиссии слабых землетрясений для Гармского района.

При обращении к анализу более сильных, полностью представительных, согласно графику повторяемости, сейсмических событий с $M \geq 2.2$, спектральная картина резко

меняется. Спектр такой выборки для района Гарма представлен на рис. 8. На приведенном спектре отмечается лишь небольшое повышение уровня

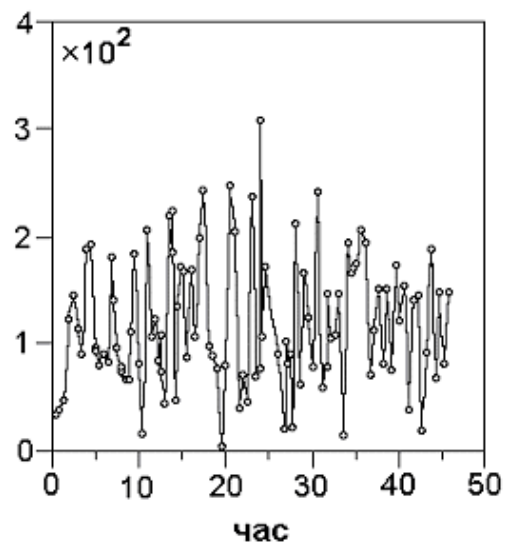


Рис. 8. Спектр временного ряда для более сильных землетрясений Гармского района с $M \geq 2.2$.

амплитуд в достаточно широкой окрестности 24 часов. Это не позволяет считать значимой суточную периодичность для таких более сильных землетрясений. Для других каталогов ситуация с выделением периодичностей в сейсмической эмиссии по относительно сильным землетрясениям аналогична таковой для Гармского района. Принципиальным в данном случае является не уменьшение статистики землетрясений, а именно то обстоятельство, что слабые и более сильные сейсмические события обладают различной чувствительностью к причинам, обуславливающим возникновение периодичности в их реализации.

Обсуждение результатов. В результате настоящего исследования установлен факт существования суточной (строго 24 часа) и полусуточной (строго 12 часов) периодичностей возникновения слабых землетрясений на всей территории Средней Азии. Соответствующие им экстремумы на спектрах временных рядов слабых сейсмических событий обладают высокой добротностью: ширина экстремумов сопоставима с шагом сканирования, а их величина в несколько раз превышает соседние амплитуды спектра. Этот факт является неожиданным в силу стохастической природы сейсмического процесса. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что если для Гармского и Душанбинского каталогов характерно ярко выраженное повышение числа землетрясений в ночные часы (с их максимумом вблизи 1–3 часов ночи), то для Нурекского и Нарынского районов это повышение приходится на дневные часы. Кривая суточного хода для каталога KNET занимает промежуточное положение.

Подобное разнообразие вида обсуждаемых кривых не позволяет принять к рассмотрению в качестве возможной причины наблюдаемой суточной периодичности повышение фона помех в дневное время. Мало того, форма суточного хода оказывается существенно разной в близко расположенных регионах (например, для Гарма и Нурека).

Наблюдение отчетливого максимума днем для районов Нурека и Нарына, вместо ожидаемого по предлагаемой гипотезе минимума сейсмической эмиссии, не оставляет места для нее. Против нее свидетельствует также и наблюдение полусуточной периодичности в реализации чисел слабых землетрясений. Существование такой периодичности плохо вяжется с суточным ходом помехи. Повидимому, следует искать иной механизм наблюдаемого явления, который, кстати, может также влиять и на шумовую составляющую, поскольку никто еще не доказал полную экзогенность его природы.

В качестве одного из возможных кандидатов на такой механизм для района Нурека можно рассматривать триггерный эффект в возникновении слабых землетрясений, возникающий при вибровоздействии от работы гидрогенераторов и водосброса мощного Нурекского гидроузла. Существенное повышение количества слабых землетрясений с одновременным уменьшением числа более сильных сейсмических событий отмечалось К.М. Мирзоевым с коллегами [42] под воздействием механических вибраций от водосброса Нурекской ГЭС. Поскольку в дневное время, как правило, агрегаты плотины используются на большую мощность, чем ночью, то это может обусловить возникновение наблюдаемой нами суточной периодичности слабых землетрясений в окрестности Нурекской ГЭС. То же самое, в принципе, может происходить и в окрестности Нарынского гидроузла.

Вызывает удивление строгая приуроченность выделенных периодичностей к 12 и 24 часам. Можно утверждать, что в их образовании не могут принимать участие лунные гармоники гравитационного приливного потенциала, значимо отличающиеся от периодов 12 ($M_2 - 12.421$, $N_2 - 12.658$) и 24 ($M_1 - 24.833$, $O_1 - 25.819$) часа. Кроме того, попытки установить наличие самостоятельных гармоник в сейсмической эмиссии, близких к приливному лунным гармоникам, в данном исследовании не увенчались успехом. Следует также признать несостоятельной попытку

объяснять наличие обсуждаемых периодичностей влиянием приливных солнечных гармоник, почти строго равных 24 (P_1 , K_1) и 12 (K_2 , S_2 , T_2) часам, предпринимаемую некоторыми авторами, поскольку существенно более мощные приливные лунные составляющие O_1 (25.819 час) и M_2 (12.421 час) не оказывают сколько-либо заметного влияния на периодические составляющие сейсмической эмиссии.

Вместе с тем, то обстоятельство, что суточная солнечная составляющая прилива в геомагнитном поле Земли примерно в 50 раз больше чем лунная, дало основание А.Я. Сидорину для предположения о возможном влиянии ионосферы и электромагнитного поля Земли на сейсмический шум и сейсмичность или результаты их регистрации [40]. На такую же возможность указывается в работе В.А. Гаврилова с коллегами [39], в которой авторы утверждают, что эти периодичности в сейсмоакустической эмиссии обусловлены модуляцией сейсмического шума естественным электромагнитным полем Земли.

Но вряд ли это одна из возможных причин. Отмеченное нами резкое отличие формы суточного хода в Нуреке и Нарыне от остальных регионов заставляет искать и другие возможные механизмы влияния на сейсмоэмиссионные процессы. Один из таких возможных механизмов указан выше.

Авторы благодарны А.Я. Сидорину за любезно предоставленную им возможность воспользоваться достаточно полной подборкой литературы по тематике статьи, собранной им в процессе подготовки собственных публикаций по этой проблеме.

Литература

1. Davison C. The diurnal periodicity of earthquakes // *Phil. Magaz.* – 1896. – Vol. 42. – P. 463–476.
2. Knott C.G. On lunar periodicities of earthquakes // *Proc. Roy. Soc.* – London, 1897.
3. Knott C.G. The physics of earthquake phenomena. – Oxford: Clarendon Press, 1908. – 283 p.
4. Schuster F. On lunar and solar periodicities of earthquakes // *Proc. Roy. Soc.* – London, 1897. – Vol. 61. – P. 455–465.
5. Cotton L.A. Earthquake frequency, with special reference to tidal stresses in the lithosphere // *Bull. Seism. Soc. Amer.* – 1922. – Vol. 12. – P. 47.
6. Davison C. The annual and semi-annual seismic periods // *Philosoph. Transact.* – 1893. – Vol. 184 A. – P. 1107–1169.
7. Klein F.W. Tidal triggering of reservoir-associated earthquakes // *Eng. Geol.* – 1976. – Vol. 10. – P. 197–210.
8. Palumbo A. Lunar and solar tidal components in the occurrence of earthquakes in Italy // *Geophys. Journ. Roy. Astron. Soc.* – 1986. – V. 84. – N 1. – P. 93–99.
9. Weems R.E., Perry W.H. Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States // *Geology.* – 1989. – V. 17. – P. 661–664.
10. Emter D. Tidal triggering of earthquakes and volcanic events // In *Tidal Phenomena / Lect. Notes Earth Sci.* – Berlin: Springer-Verlag, 1997. – V. 66. – P. 293–310.
11. Aoki S., Ohtake M., Sato H. Tidal modulations of seismicity: an indicator of the stress state? The 29-th General Assembly of the (IASPEI) International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. Abstracts. Aug. 18–28. – 1997. – Thessaloniki, Greece. – P. 347.
12. Giovambattista R., Tytkin Yr. Cyclic migration of weak earthquakes between Luniguana earthquake of October 10, 1995 and Reggio Emilia earthquake October 15, 1996 (Northern Italy) // *Journal of Seismology.* – 2001. – V. 5. – P. 147–156.
13. Tanaka S., Ohtake M., Sato H. Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth.* – 2002. – V. 107. – N 10.
14. Тюпкин Ю.С. Модулирование слабой сейсмичности приливными деформациями перед сильными землетрясениями // *Вулканология и сейсмология.* – 2002. – № 3. – С. 3–10.
15. Моргунов В.А., Боярский Э.А., Степанов М.В. Землетрясения и фазы прилива // *Физика Земли.* – 2005. – № 1. – С. 74–88.
16. Юрков Е.Ф., Гутис В.Г. О связи сейсмичности с фазами приливных волн // *Физика Земли.* – 2005. – № 4. – С. 4–15.
17. Knopoff L. Earth tides as triggering mechanism for earthquakes // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* – 1964. – V. 54. – P. 1865–1870.

18. *Knopoff L.* Correlation of earthquakes with lunar orbital motions // *The Moon.* – 1970. – Vol. 2. – P. 140–143.
19. *Simpson J.F.* Earth tides as triggering mechanism for earthquakes // *Earth and Planet. Sci. Lett.* – 1967. – V. 2. – P. 473.
20. *Shlien S.* Earthquake-tide correlation // *Geophys. Journ. Roy. Astron. Soc.* – 1972. – V. 28. – P. 27–34.
21. *Willis D.E., Taylor R.W.* Investigations of multiple seismic events and first zone discriminants // *ARPA Semi-Annual Technical Report*, April, 1974. – Caltech. – P. 118–131.
22. *Heaton T.H.* Tidal stress tensor at the time of earthquakes // *Bull. Seism. Soc. Amer.* – 1982. – V. 72. – P. 2181–2200.
23. *Rydelek P.A., Sacks I.S., Scarpa R.* On tidal triggering of earthquakes at Campi Flegrei, Italy // *Geophys. Journ. Inter.* – 1992. – V. 109. – P. 125–137.
24. *Tsuruoka H., Ohtake M., Sato H.* Statistical test of the tidal triggering of earthquakes: contribution of the ocean tide loading effect // *Geophys. Journ. Inter.* – 1995. – V. 122. – P. 183–194.
25. *Vidale J.E., Agnew (CARR D.A.) D.C., Johnston M.J.S., Oppenheimer D.H.* Absence of earthquake correlation with Earth tide: An indication of high preseismic fault stress rate // *Journ. Geophys. Research. Solid Earth* 98JB00594. – 1998. – V. 103. – N 10. – P. 24567–24572.
26. *Heaton T.H.* Tidal triggering of earthquakes // *Geophys. Journ. Roy. Astron. Soc.* – 1975. – V. 43. – P. 307–326.
27. *Davison C.* Studies on the periodicity of earthquakes. – London: Murby, 1938. – 107 p.
28. *Shimshoni M.* Evidence for higher seismic activity during the night // *Geophys. Journ. Res. Astr. Soc.* – 1971. – Vol. 24. – P. 97–99.
29. *Децереvская Е.В., Сидорин А.Я.* Причина сезонной периодичности землетрясений по данным наблюдений на Гармском полигоне // *Исследования в области геофизики.* – М.: ОИФЗ РАН, 2004. – С. 123–130.
30. *Davies D.* Nocturnal Earthquakes // *Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc.* – 1972. – Vol. 28. – P. 305.
31. *Flinn E.A., Blandford R.R., Mack H.* Comment on ‘Evidence for higher seismic activity during the night’, by Michael Shimshoni // *Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc.* – 1972. – Vol. 28. – P. 307–309.
32. *Knopoff L., Gardner J.* Higher seismic activity during local night on the raw worldwide earthquake catalogue // *Geophys. Journ. Roy. Astr. Soc.* – 1972. – Vol. 28. – P. 311–313.
33. *Ананко М.Ю., Смирнов В.Б.* Генерация высокочастотного сейсмического шума поверхностным ветровым воздействием // *Вулканология и сейсмология.* – 1994. – № 4–5. – С. 205–214.
34. *Жаров В.Е.* Вращение Земли и шкалы времени // *Наука в России.* – 2005. – №1 (145). – С. 4–9.
35. *Wenz G.M.* Some periodic variation in low-frequency acoustic ambient noise levels in the ocean // *JASA.* – 1961. – Vol. 33. – P. 64–83.
36. *Беляков А.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В.* Акустическая эмиссия в верхней части земной коры // *Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли.* – 1991. – № 10. – С. 79–84.
37. *Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л.* О вариациях фонового подземного звука // *ДАН.* – 1996. – Т. 348. – № 3. – С. 383–386.
38. *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.
39. *Гаврилов В.А.* Некоторые результаты комплексного геофизического мониторинга на базе глубокой скважины // *Активный геофизический мониторинг литосферы Земли.* – Новосибирск, 2005. – С. 151–155.
40. *Сидорин А.Я.* Полуденный эффект во временных рядах землетрясений и сейсмического шума // *ДАН.* – 2005. – Т. 402. – № 6. – С. 822–827.
41. *Мельхиор П.* Земные приливы. – М: Мир, 1968. – 482 с.
42. *Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Дастури Т.Ю.* Влияние механических вибраций на характер высвобождения сейсмической энергии в районе водохранилища Нурекской ГЭС // *Сейсмологические исследования в районах строительства крупных водохранилищ Таджикистана.* – Душанбе: Дониш, 1987. – С. 101–119.
43. *Davison C.* The diurnal periodicity of earthquakes // *Journ. Geol.* – 1934. – Vol. 42. – P. 449.
44. *Stetson H.T.* The correlation of deep-focus earthquakes with lunar hour angle and declination // *Science.* – 1935. – Vol. 82. – P. 523.

45. *Allen M.W.* The lunar triggering of earthquakes in Southern California // *Bull. Seism. Soc. Amer.* – 1936. – Vol. 26. – P. 147–157.
46. *Brazee R.J.* Earth tides and earthquakes // *Earthquake Notes.* – 1957. – Vol. 28. – P. 1.
47. *Dix C.H.* Triggering of some earthquakes // *Japan. Acad. Proc.* – 1964. – Vol. 40. – P. 410.
48. *Ryall F., Van Wormen J.D., Jones A.E.* Triggering of microearthquakes by Earth tides, and other features of the Truckee, California, earthquake sequence of September, 1966 // *Bull. Seism. Soc. Amer.* – 1968. – Vol. 58. – P. 215–248.
49. *Tamrazyan G.P.* Principal regularities in the distribution on major earthquakes relative to solar and lunar tides and other cosmic sources // *Icarus.* – 1968. – Vol. 9. – P. 574–592.
50. *Klein F.W.* Earthquake swarms and the semidiurnal solid earth tide // *Geophys. Journ.* – 1976. – Vol. 45. – P. 245–295.