

Б.В.ЛЕВИН

## О природе некоторых периодических изменений в сейсмическом режиме Земли

*Проанализированы закономерности в широтном распределении количества землетрясений на планете, особенности временных периодичностей в процессе переключения активности сейсмического режима между северным и южным полушариями, а также характер внутригодовых распределений максимумов сейсмической активности в Тихоокеанском регионе. Показана связь роста сейсмической активности в зимние месяцы года с периодом прохождения Землей зоны перигелия, в которой приливные силы Солнца возрастают на 6,4%.*

**About the nature of some periodic changes in seismic regime of the Earth.** B.W.LEVIN (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

*We analyzed regularities of the latitude distribution of earthquake number at the Earth, temporal periodicity peculiarities for the process of seismic activity switching between the Northern Hemisphere and the Southern one, and also the character of annual distribution of the seismic activity maximums in the Pacific region. A connection between seismic activity increase during winter months and the process of the Earth movement through perihelion zone, in which Sun tidal forces increase by 6.4%, was demonstrated.*

Геофизики и сейсмологи в последнее время проявляют большой интерес к поиску скрытых периодичностей в квазистохастическом процессе возникновения землетрясений [2, 3, 5, 13, 15, 17, 18]. Даже астрономы включились в эти увлекательные поиски [1, 4, 19, 20].

Следует напомнить, что ровно 250 лет назад, после разрушительного Лиссабонского землетрясения, Иммануил Кант, великий физик и последователь Исаака Ньютона, обратил внимание на связь землетрясений с приливными силами. Согласно его гипотезе, энергия, передаваемая твердой оболочке Земли приливными воздействиями Луны и Солнца, должна накапливаться в породах до некоторых пороговых значений и затем сбрасываться (разржаться) в виде землетрясений различной силы. В дальнейшем ученые иногда обращались к проблеме влияния приливных сил на сейсмический режим, но значительных успехов не отмечалось.

В середине XX в. наметилось оживление интереса к этому научному направлению, которое даже получило тогда специальное название – астрогеология. Такие корифеи геологической науки, как П.Н.Кропоткин, Д.В.Наливкин и В.Е.Хаин, посвящали свои исследования поискам связей между астрономическими факторами и откликом земной коры на внешние воздействия [6, 14]. Наступившая позже эпоха компьютеризации, вычислительных технологий и электронных каталогов, открывающих доступ к гигантским объемам накопленной геолого-геофизической информации, предоставила новые возможности для выявления природы исследуемых процессов.

---

ЛЕВИН Борис Вульфович – член-корреспондент РАН (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск).

Работа частично поддержана грантами РФФИ 04-05-64274, 05-05-79133 и Программой поддержки ведущих научных школ России, грант НШ-2104.2003.5.

Прежде чем перейти к описанию и анализу наблюдательного материала, постараемся сформулировать некоторые основные принципы используемого нами методического подхода к формированию и обработке данных. Сюда относятся:

- сопоставимость энергетических уровней изучаемых процессов,
- оценка статистической представительности временных рядов наблюдений,
- необходимость аккуратного выделения рассматриваемых субрегионов (объектов),
- разделение массивов данных на группы по интервалам глубин событий,
- необходимость раздельного анализа групп событий с различной энергией (магнитудой) и соответствующим размером очага,
- формулирование рабочей (исходной) физической гипотезы (лучше работать под ложную идею, чем под отсутствие идеи).

Ниже приведены основные результаты изучения особенностей пространственно-временных распределений землетрясений, полученные автором вместе с учениками и коллегами, а также представлена новая физическая аргументация, проясняющая природу отмеченных особенностей изучаемого сейсмического процесса.

### Широтное распределение землетрясений на планете

Анализ материалов электронного каталога землетрясений NEIC [23] (около 200 000 событий) показал, что количество землетрясений распределено по широтным интервалам вполне закономерным образом [11]. В районе полюсов планеты землетрясения практически не происходят вообще, в высоких широтах их количество весьма невелико, а по мере приближения к экватору резко возрастает (рис. 1). Суммарная энергия землетрясений изменяется по широтным поясам в целом аналогичным образом. На гистограмме (рис. 1) отмечается два локальных максимума в низких широтах: в районе 35–40° с.ш. и вблизи 10° ю.ш. В районе экватора отчетливо виден неглубокий локальный минимум.

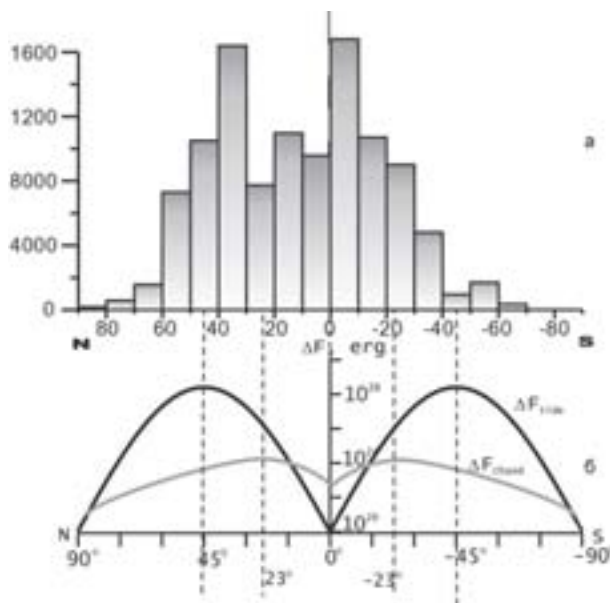


Рис. 1. Распределение количества землетрясений по широтным поясам Земли (а) и теоретическая зависимость приливных сил от широты (б)

Теоретическая модель, учитывающая действие гравитационного и центробежного потенциалов, а также влияние приливных сил, прецессии (неравномерности вращения) и Чандлерова качания полюса, позволяет восстановить значение тензора напряжений в твердой оболочке Земли и дать количественные оценки вариаций плотности энергии, связанных с внешними воздействиями [7, 12, 16]. На графиках (рис. 1) приведены вычисленные в рамках модели значения плотности энергии, передаваемой 100-километровому слою литосферы в результате влияния приливных сил и прецессии ежегодно. Энергия, связанная с приливными воздействиями, оценивается величиной  $10^{29}$  эрг, вклад прецессии дает  $10^{25}$  эрг, а вклад Чандлерова качания полюса не превышает

шает  $10^{24}$  эрг. При этом энергия, высвобождаемая при землетрясениях, составляет примерно  $10^{25}$ – $10^{26}$  эрг. Распределение энергии, поставляемой внешними воздействиями, по широтным поясам Земли демонстрирует максимумы в районах  $45^\circ$  с.ш. и  $45^\circ$  ю.ш. (для приливных сил) и широт  $\pm 23^\circ$  (для прецессии и качания полюса). В районе экватора теория предсказывает существование локального минимума.

Сопоставление теоретической модели с материалами наблюдений показывает достаточно удовлетворительное согласие, особенно если учесть простоту предложенной модели сферически-симметричной Земли. Причина возникновения такого распределения землетрясений по широтным диапазонам, очевидно, должна быть связана как с процессом собственного вращения Земли, так и с действием приливных сил. Нетрудно показать, что возмущение угловой скорости вращения Земли должно приводить к возникновению дополнительных напряжений в твердой оболочке [8], при этом общий вид широтного распределения числа событий (рис. 1) должен сохраняться.

### Периодичность в переключении сейсмической активности между полушариями

Анализ процесса возникновения цунамигенных землетрясений с магнитудой  $M > 6,1$  в Тихоокеанском регионе показал, что события проявляются попеременно в северной и южной частях океана и группируются во времени с определенной периодичностью [9]. Использование экспертной базы данных по цунами [21] позволило выделить за период с 1950 по 2001 г. 141 событие, из которых 78 произошли севернее экватора, а 63 – южнее. На рис. 2 представлены все события и огибающая, в которой даже визуально обнаруживается определенная периодичность. События группируются в серии, которые возникают то в северном, то в южном полушарии. Построение спектра огибающей позволило выявить характерные периоды в переключении сейсмической активности между северной и южной частями океана (рис. 3).

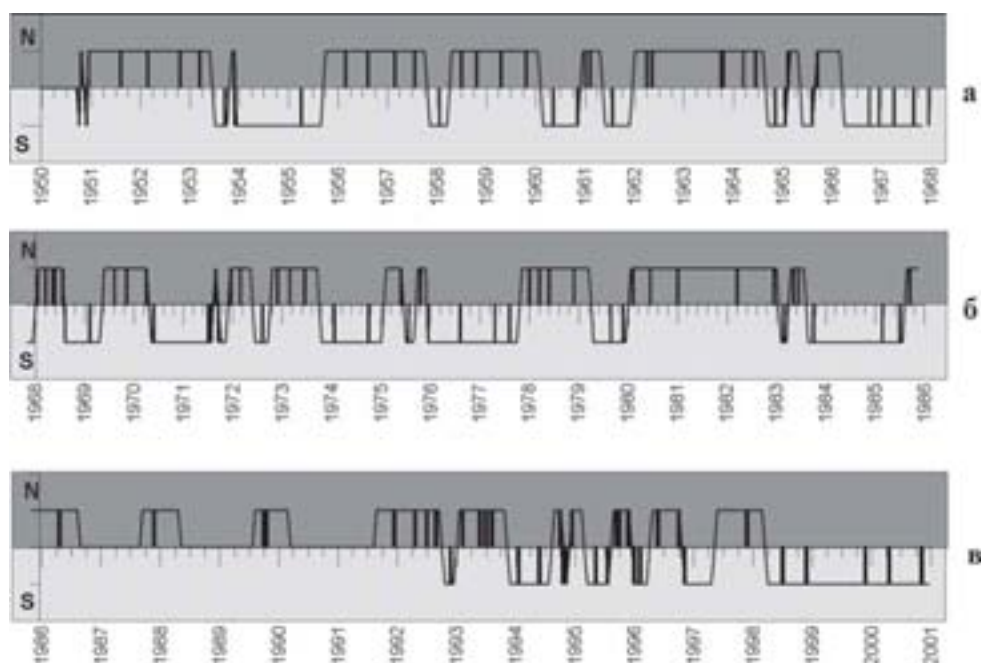


Рис. 2. Возникновение цунамигенных землетрясений в северном и южном регионах Тихого океана за периоды 1950–1968 (а), 1968–1986 (б), 1986–2001 (в) гг.

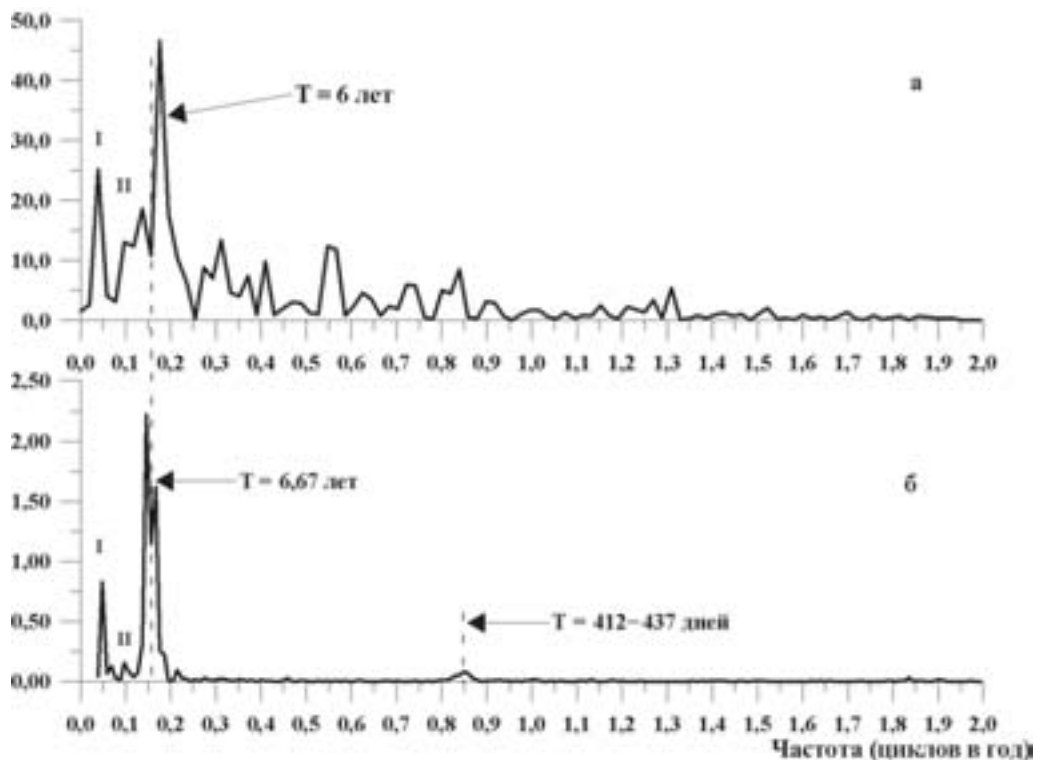


Рис. 3. Спектр возникновения тихоокеанских цунами (а) и спектр Чандлерова качания полюса (б)

Главный максимум соответствует периоду 6 лет, а в низкочастотной части спектра выделяется соседний, более слабый максимум с периодом 18 лет. Эти периоды хорошо согласуются с известными в астрономии периодами Чандлерова качания полюса – 6,6 лет и 18,6 лет. Согласно гипотезе Ю.Н.Авсюка (1996 г.), феномен Чандлерова качания полюса объясняется перемещением оси вращения Земли, а само перемещение оси вызывается смещением твердого внутреннего ядра Земли в плоскости эклиптики из-за приливного воздействия Солнца. Смещение твердого ядра внутри жидкого внешнего ядра с основным периодом 6–7 лет приводит к перемещению центра Земли с периодическим пересечением плоскости экватора. Таким образом центр Земли перемещается из северного полушария в южное и обратно с периодом 6–7 лет. Подобные периодические движения массивного внутреннего ядра (1,2% от массы Земли) должны приводить к периодическим возмущениям движения планеты и вариациям напряжений в твердой оболочке Земли.

В наших недавних работах получено статистическое обоснование феномена проявления неслучайной компоненты в распределении землетрясений между северным и южным полушариями [10]. Для анализа пространственных и временных регулярностей в распределении землетрясений использовались данные из мировых электронных каталогов NEIC и ISC [22, 23], содержащих более 200 000 событий. Вся совокупность событий, произошедших в Тихоокеанском регионе за 37-летний период, разбивалась на 6 групп, соответствующих магнитудным диапазонам в интервалах 4,0–4,5; 4,5–5,0; 5,0–5,5; 5,5–6,0; 6,0–6,5;  $M > 6,5$ . С помощью методов непараметрической статистики при обработке данных установлено, что группирование событий и возникновение серий землетрясений в северном и южном полушариях не являются чисто случайным процессом, а содержат явно выраженную неслучайную компоненту. При этом значение критерия  $|Z|$  существенно превышает пороговое

значение  $Z_{кр} = 2,58$  в выборках с  $M < 6,0$ . Это свидетельствует о том, что в распределении землетрясений с магнитудами от 4,0 до 6,0 с вероятностью 0,99 присутствует неслучайная компонента. Причем эффект проявления неслучайной компоненты тем сильнее, чем меньше значение магнитуды в диапазоне.

Периодичность в переключении серий событий между полушариями может рассматриваться как свидетельство проявления внешних периодических воздействий на сейсмический процесс. При этом доступная в наблюдательной сейсмологии продолжительность рядов наблюдений (до 40 лет) достаточна для обнаружения периодичности в возникновении слабых землетрясений, но, очевидно, не может считаться достаточной для выявления более длинных периодов, свойственных процессу подготовки и возникновения более сильных событий.

### Внутригодовая периодичность возникновения землетрясений

Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса вызывает интерес геофизиков уже более полувека, однако обосновать статистическую значимость и объяснить причины этого явления, согласно В.А.Магницкому, пока не представлялось возможным.

В работе [23] проанализированы внутригодовые распределения землетрясений для нескольких основных субрегионов Тихоокеанского сейсмического пояса (Алеуты, Камчатка, Курилы, Океания и др.). В качестве базы данных использовался мировой каталог ISC, материалы которого были предварительно обработаны и очищены от афтершоков по программе В.Б.Смирнова. Вся совокупность событий в каждом исследуемом регионе разделялась на несколько подгрупп по магнитудным диапазонам, и, кроме того, производилось разделение землетрясений на две подгруппы по глубине гипоцентра: неглубокие (до 80 км) и глубокие (свыше 80 км). Общее количество событий составляло 78 522, а в каждом из 12 выбранных субрегионов изменялось от 1 586 до 15 731. Была поставлена задача доказать, что отмечаемая визуально неравномерность распределения землетрясений по месяцам года является статистически значимой. Для статистического анализа материала в зависимости от степени заполненности выборки использовался либо критерий «хи-квадрат» (критерий Пирсона), либо метод Монте-Карло.

В результате было установлено, что внутригодовое распределение глубоких событий подчиняется равномерному закону распределения с вероятностью более 0,95 для большинства выборок. Зафиксированные отклонения от равномерного распределения не могут считаться статистически значимыми для всех исследованных субрегионов.

В то же время внутригодовые распределения неглубоких событий практически для всех субрегионов и выделенных магнитудных диапазонов демонстрируют статистически значимые отклонения от равномерного распределения с вероятностью более 0,99. Примеры таких распределений приведены на рис. 4. Суммарное распределение максимумов сейсмической активности для субрегионов Тихоокеанского региона по месяцам года иллюстрирует рис. 5: наибольшая сейсмическая активность отмечается в декабре. Второй, более слабый пик активности приходится на май, а абсолютный минимум в сейсмической деятельности Земли наблюдается в апреле.

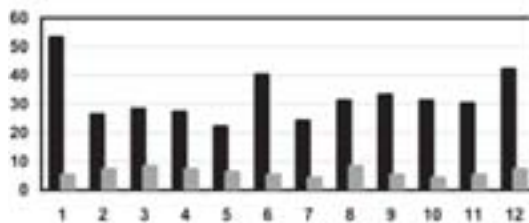


Рис. 4. Пример внутригодовой вариации по месяцам количества событий для неглубоких (< 80 км, черные прямоугольники) и глубоких (> 80 км) землетрясений. Регион – Камчатка, диапазон магнитуд  $5,0 \leq M < 6,0$ , по вертикальной оси отложено количество землетрясений

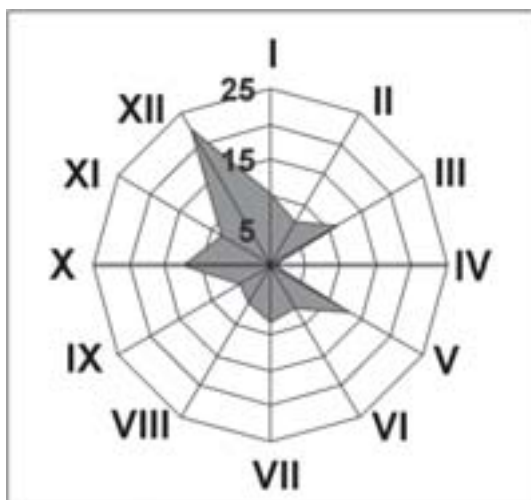


Рис. 5. Распределение максимумов сейсмической активности по месяцам для Тихоокеанского региона

Обнаруженная закономерность в пространственном распределении количества землетрясений по широтным диапазонам (рис. 1), на первый взгляд, должна быть связана с центробежным потенциалом и, соответственно, с энергией вращения Земли. В этом случае вариации угловой скорости вращения Земли должны приводить к увеличению числа землетрясений в экваториальной плоскости, где центробежные силы достигают максимума. Однако внимательный анализ наблюдательного материала и выводы теории демонстрируют возникновение локального минимума в районе экватора, что вступает в противоречие с предположением о главенствующей роли центробежных сил. Действие приливных сил и возмущений, вызываемых прецессией и качанием по-

люса, следует считать главными факторами, определяющими характер распределения количества землетрясений по широте.

Выделение периодичности в переключении сейсмической активности во времени между северным и южным полушариями планеты (рис. 2, 3) следует рассматривать как подтверждение существования экваториальной плоскости симметрии в проявлениях сейсмического режима. Природа этого явления может объясняться воздействием длиннопериодной составляющей солнечного прилива на твердое внутреннее ядро, перемещение которого в плоскости эклиптики с периодами в 6–7 и 18,6 лет приводит к малым смещениям центра Земли из одного полушария в другое и определенным изменениям в сейсмическом режиме.

Чрезвычайно важным результатом проведенных исследований представляется обнаружение границы раздела между глубокими землетрясениями, распределенными равномерно на внутригодовой временной шкале, и неглубокими (до 80 км), распределение которых по месяцам является неравномерным с вероятностью 0,99. Этот факт свидетельствует о том, что в подготовке и реализации неглубоких землетрясений существенная роль принадлежит внешним периодическим воздействиям, а глубокие очаги на эти воздействия не реагируют.

Теперь рассмотрим возможный механизм возникновения периодических изменений во внутригодовом распределении максимумов сейсмической активности. Для Тихоокеанского региона в целом максимум активности приходится на декабрь, а для отдельных субрегионов и различных магнитудных диапазонов максимумы активности изменяют свое положение, но не выходят за пределы периода с ноября по март. Отметим, что в начале этого периода (ноябрь) система Земля–Луна начинает ускоряться в связи с приближением к перигелию (минимальное расстояние между Землей и Солнцем). После прохождения перигелия (3 января) скорость Земли уменьшается. Максимальное значение скорости движения Земли по эклиптике в перигелии составляет  $V_{PER} = 30,29$  км/с, а минимальное значение в афелии равно  $V_{AF} = 29,28$  км/с. Вариация скорости достигает величины  $(V_{PER} - V_{AF})/V_{PER} = 0,033$ .

Расстояние между Землей и Солнцем ( $R$ ) изменяется примерно от 147,15 млн км (в перигелии,  $R_{PER}$ ) до 152,07 млн км (в афелии,  $R_{AF}$ ). Значит, максимальная вариация расстояния, или «сплюснутость» эклиптики, составляет  $(R_{AF} - R_{PER})/R_{AF} = 0,032$ . В соответствии с законом всемирного тяготения величина приливной силы определяется через квадрат расстояния



между объектами, откуда следует простое выражение для оценки максимальной вариации приливной силы:

$$\Delta F = (F_{\text{PER}} - F_{\text{AF}}) / F_{\text{PER}} = 1 - F_{\text{AF}} / F_{\text{PER}} = 1 - (R_{\text{PER}} / R_{\text{AF}})^2 = 0,064.$$

Таким образом, если расстояние между Землей и Солнцем в перигелии изменяется примерно на 3%, то величина приливной силы в перигелии по сравнению с афелием изменяется на 6,4%.

Как показывает обработка материалов каталогов, наибольшая сейсмическая активность отмечается в декабре и соседних месяцах,

т.е. в период прохождения зоны максимального действия приливной силы Солнца. На рис. 6 приведены гистограмма внутригодового распределения максимумов сейсмической активности, кривая изменения приливной силы в относительных единицах и кривая изменения величины угловой скорости вращения Земли. Один из двух минимумов последней кривой приходится на апрель, месяц наиболее низкой сейсмической активности.

Физический сценарий развития событий, поддерживающих сейсмический процесс, может быть представлен следующим образом. Земля вместе с Луной в процессе своего движения по эклиптике входит, постепенно ускоряясь, в зону возрастания приливного воздействия Солнца. Рост приливных сил приводит к росту напряжений и накоплению поврежденностей в верхней части литосферы. Периодические повторения такого процесса ведут к эффективному аккумулярованию механической энергии в готовящихся очагах и проявлению периодических изменений в сейсмической активности. Роль вариаций угловой скорости вращения Земли остается пока недостаточно ясной, однако резкая смена ускорения на замедление в ноябре–декабре и плавное существенное замедление вращения планеты в апреле должны, очевидно, сказываться соответственно на внутригодовых изменениях сейсмического режима.

Автор выражает глубокую благодарность своим коллегам Ю.Н.Авсюку, В.П.Павлову, Е.В.Сасоровой, Е.Б.Чиркову, чьи творческие усилия значительно продвинули наше общее понимание природы сейсмического процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авсюк Ю.Н., Худзинский Л.Л., Суворова И.И. Связь сейсмичности Земли с приливным воздействием Луны и Солнца // Вычислит. сейсмология. 2002. Вып. 33. С. 311–336.
2. Володичев Н.Н., Подорольский А.Н., Левин Б.В., Подорольский Вл.А. Корреляция появления крупных серий землетрясений со временем фаз новолуния и полнолуния // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 60–67.
3. Гордеев Е.И., Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. К вопросу о связи высокочастотного сейсмического шума с лунно-солнечными приливами // Докл. АН. 1995. Т. 340, № 3. С. 386–388.
4. Горькавый Н.Н., Минин В.А., Тайдакова Т.А., Фридман А.М. Существуют ли астрономические причины сильнейших землетрясений? // Астрон. циркуляр. 1989. № 1540. С. 35–36.
5. Гусев А.А., Петухин А.Г. О возможной синхронизации сильных землетрясений 18,6-летним циклом, его долями и кратными // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 64–79.
6. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике // Геотектоника. 1970. № 2. С. 30–46.
7. Левин Б.В., Павлов В.П. Влияние астрономических факторов на вариации плотности энергии в твердой оболочке Земли // Изв. РАН. Физика Земли. 2003. № 3. С. 71–76.

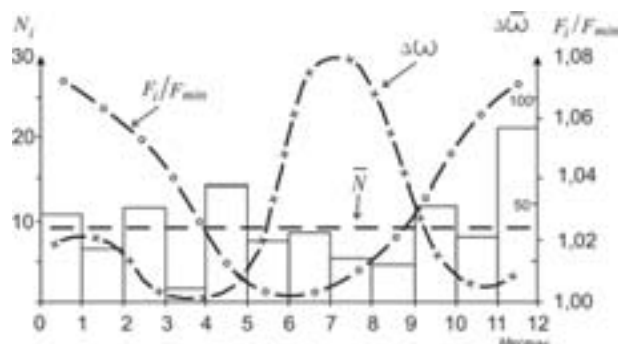


Рис. 6. Сопоставление гистограммы внутригодовых вариаций максимумов сейсмической активности  $N_i$  ( $N$  – среднее значение числа максимумов) с графиками изменения приливных сил от Солнца  $F$  ( $F_i$  – текущее значение приливной силы) и угловой скорости вращения Земли  $\omega$

8. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А. Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса для Тихоокеанского региона // Докл. АН. 2005. Т. 403, № 4. С. 1–7.
9. Левин Б.В., Сасорова Е.В. О шестилетней периодичности возникновения цунами в Тихом океане // Изв. РАН. Физика Земли. 2002. № 12. С. 40–49.
10. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Обнаружение неслучайной компоненты в распределении землетрясений между северным и южным полушариями Земли: наблюдения и моделирование // Докл. АН. 2005. Т. 401, № 1. С. 84–88.
11. Левин Б.В., Чирков Е.Б. Особенности широтного распределения сейсмичности и вращение Земли // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 65–69.
12. Левин Б.В., Павлов В.П. Теоретико-полевой метод восстановления тензора напряжений в Земле с подвижным ядром // Теорет. и мат. физика. 2001. Т. 128, № 3. С. 439–445.
13. Любушин А.А. (мл.), Писаренко В.Ф. Выделение периодичностей в сейсмическом режиме // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 62–76.
14. Наливкин Д.В., Тупицын Н.В. Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 342 с.
15. Николаев В.А. Пространственно-временные особенности связи сильных землетрясений с приливными фазами. Наведенная сейсмичность М.: Наука, 1994. 240 с.
16. Павлов В.П. Теория возмущения для тензора напряжений в Земле // Теорет. и мат. физика. 2004. Т. 141, № 4. С. 117–130.
17. Рыкунов Л.Н., Смирнов В.Б. Вариации сейсмичности под действием лунно-солнечных приливных деформаций // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1985. № 1. С. 97–103.
18. Салтыков В.А., Иванов В.В., Кугаенко Ю.А. Воздействие земных приливов на сейсмичность перед землетрясением 13 ноября 1993 года  $M = 7,0$  (Камчатка) // Физика Земли. 2004. № 7. С. 25–34.
19. Фридман А.М., Клименко А.В., Поляченко Е.В., Фридман М.В. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 67–74.
20. Chao B.F., Gross R.S. Changes in the Earth's Rotation Energy Induced by Earthquakes // Geophys. J. Int. 1995. Vol. 122. P. 776–783.
21. Gusiakov V.K. Historical Tsunami Data Base. – <http://tsun.sscc.ru/htdbpac>
22. International Seismological Center. – <http://www.isc.ac.uk>
23. National Earthquake Information Center. – <http://neic.usgs.gov>