

УДК 550.318

Годовой период в сейсмичности Земли за 1964–2007 гг.

А.Е. Вольвач, Н.Н. Горькавый, А.И. Дмитроца, Л.С. Левицкий

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
volvach@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 26 января 2009 г.

Аннотация. Методом преобразования Фурье проанализирована большая база данных по планетарной сейсмичности (Нац. инф. центр, 2007) за 1964–2007 гг. ($N = 401219$ землетрясений с магнитудами $M \geq 3.0$ и глубинами гипоцентров $H \geq 1$ км) отдельно для северного ($N = 284291$) и южного ($N = 152928$) полушарий Земли. С высокой достоверностью подтверждено существование годового периода для слабых ($M < 5.0$) землетрясений. Показано, что найденные ранее (за 1964–1990 гг.) для этого периода закономерности – зависимость от географической широты, глубины гипоцентров, северо-южная асимметрия – имеют место и для интервала 1964–2007 гг.

THE ANNUAL PERIOD OF SEISMIC ACTIVITY OF EARTH IN 1964–2007, *by A.E. Volvach, N.N. Gorkavyi, A.I. Dmitrotsa, L.S. Levitsky.* The catalog of the National Earthquake Information Center (1928–2007) was used for Fourier analysis of planetary earthquakes in 1964–2007 (401219 earthquakes with $M \geq 3.0$ and depth of hypocenter $H \geq 1$ km) separately for the Northern Hemisphere (284291 events) and for the Southern Hemisphere (152928 events). The annual periodicity in the occurrence of weak earthquakes ($M < 5.0$) is revealed with high significance level. All of the peculiar properties of this period (dependence from geographic altitude and depth of hypocenters, north-south asymmetry) which was discovered for 1964–1990 remain the same for 1964–2007.

Ключевые слова: Сейсмичность, преобразование Фурье, годовой период

1 Введение

На основе каталога землетрясений геологической службы США за 1964–1990 гг. (Нац. инф. центр, 1990) был детально исследован годовой период в сейсмической активности (Горькавый и др., 2000, 2002, 2003). Оказалось, что годовая периодичность имеет место лишь для относительно слабых землетрясений с магнитудами $M < 5.0$, а сами колебания с этим периодом в северном и южном полушариях Земли происходят почти в противофазе с максимальным числом толчков в местный зимне-весенний сезон. Показано также, что период $P = 1$ год лучше всего выражен на средних широтах ($\varphi \approx 38^\circ - 61^\circ$) в обоих полушариях.

Уровень значимости (достоверности) годового периода обнаруживает два отчетливых максимума: для гипоцентров с глубинами $H \approx 1 - 60$ км, где происходит подавляющее число толчков с $M < 5.0$ ($\approx 64\%$), и $H \approx 90 - 160$ км, где возникают всего лишь 8.5% таких событий. Второй максимум наиболее примечателен: приблизительно для этих же глубин обнаружен максимальный

коэффициент корреляции между годовыми числами сильных землетрясений и среднегодовыми значениями модуля ускорения суточного вращения Земли (Горькавый и др., 1999).

Найдена тесная связь годового периода в сейсмичности и сезонных вариаций углового момента импульса атмосферы (импульса ветров): одинаковая зависимость от географической широты, северо-южная асимметрия, близкие фазы колебаний (Горькавый и др., 2003; Дмитроца и др., 2007). Изменения углового момента импульса ветров при механическом взаимодействии с земной корой и влиянием на океанические течения могут вызывать изменения скорости движения литосферных плит, что в свою очередь приведет к годовой вариации числа землетрясений.

Представляет несомненный интерес выяснить наличие периода $P = 1$ год на более длинном ряде данных сейсмической активности и проверить закономерности, найденные ранее.

2 Данные и их анализ

В рассматриваемом ранее каталоге землетрясений Геологической службы США за 1964–1990 гг. (Нац. инф. центр, 1990) число толчков с магнитудами $M \geq 3.0$ и глубинами гипоцентров $H \geq 1$ км по всему земному шару равно $N = 132451$ ($N = 78862$ в северном полушарии и $N = 53589$ – в южном). Кроме этого, имеются еще $N = 75943$ землетрясений, для которых магнитуды неизвестны (не определены). По-видимому, они являются слабыми толчками с магнитудами, близкими к $M \approx 3.0$. В сумме число землетрясений получается $N = 208394$ за 27 лет.

В новом каталоге землетрясений Геологической службы США за 1964–2007 гг. (Науч. инф. центр, 2007) число толчков с $M \geq 3.0$ и $H \geq 1$ км равно $N = 401219$ ($N = 248291$ – в северном полушарии и $N = 152928$ – в южном), плюс число землетрясений $N = 2630$ с неизвестной магнитудой. Итого $N = 403849$, т. е. число землетрясений возросло почти в 2 раза, а длина ряда данных в 1.63 раза (44 года).

Для поиска и изучения периодических колебаний сейсмичности будем применять, как и ранее (Горькавый и др., 2000) преобразование Фурье к временным последовательностям суточных чисел (количеств) землетрясений в зависимости от их магнитуды, местоположения на земном шаре, глубины гипоцентров и т. п. Поскольку распределение квадратов амплитуд в спектре мощности является экспоненциальным, то для оценки уровня значимости (достоверности) линии будем пользоваться критерием:

$$q = \exp\left(-\frac{A^2}{A_{cp}^2}\right), \quad (1)$$

если заранее ожидается пик с известным периодом, и критерием:

$$q = n \exp\left(-\frac{A^2}{A_{cp}^2}\right), \quad (2)$$

если линия появилась на какой-либо произвольной, предварительно не прогнозируемой частоте (Теребиж, 1992). Число q есть вероятность случайного появления линии с гармонической амплитудой A на фоне среднего значения квадратов амплитуд (A_{cp}^2) периодограммы, вычисленное в некоторой симметричной (относительно этой линии) окрестности; n – число независимых частот во всем рассматриваемом спектре мощности. Поэтому, чем меньше q , тем выше значимость (достоверность) пика в спектре.

Для годового периода мы выбрали окрестность, как и прежде содержащую 42 частоты (по 21-й частоте симметрично линии $P = 1$ год). Саму линию $P = 1$ год при вычислении A_{cp}^2 мы исключаем, т. к. для нее справедлив критерий (1).

3 Годовой период для землетрясений с различными магнитудами в северном и южном полушариях Земли

Рассмотрим, как проявляется годовой период в частоте следования землетрясений с различными магнитудами в северном и южном полушариях Земли.

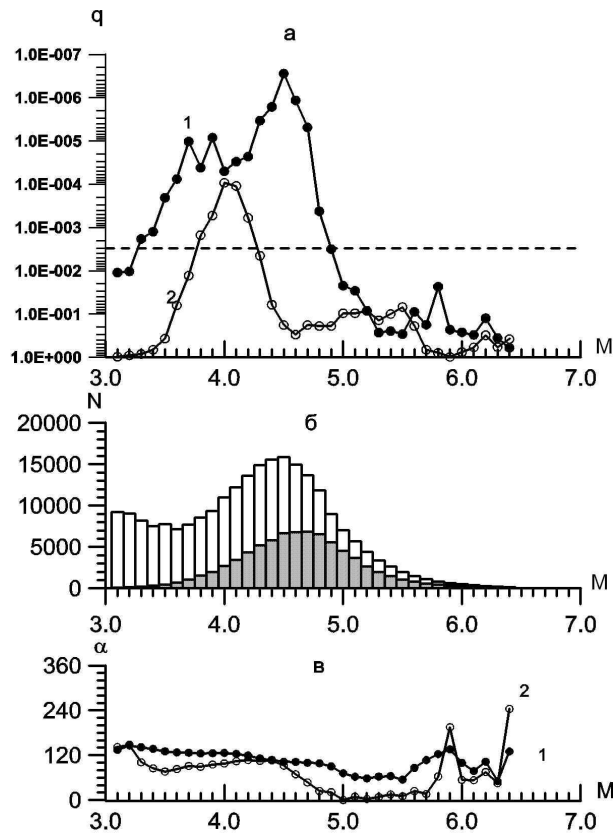


Рис. 1. Зависимость от магнитуды (M) землетрясений (в северном полушарии) за 1964–1990 гг. (кривые 1, точки) и за 1964–2007 гг. (кривые 2, кружки): (а) уровня значимости (q) годового периода; (б) числа землетрясений (N); заштриховано для 1964–1990 гг.; (в) фазы α максимума гармонической годовой волны. Штриховая линия соответствует $q = 0.003$

На рис. 1 приведены (для северного полушария и двух временных интервалов – 1964–1990 гг. и 1964–2007 гг.) зависимости от магнитуды: (а) – уровня значимости q годового периода; (б) – числа землетрясений N ; (в) – фазы максимума α гармонической годовой волны. Величины q и α (для уменьшения их случайных флуктуаций) вычислены путем скользящего усреднения по трем соседним значениям магнитуды.

Отчетливо видно (рис. 1а), что годовой период наблюдается лишь для слабых толчков, но значимость q для них заметно выше в 1964–1990 гг. и область магнитуд шире ($M < 5.0$), чем за 1964–2007 гг. ($M \approx 3.8 - 4.3$).

Рис. 1б демонстрирует нам распределение количеств землетрясений в зависимости от их магнитуды. Уменьшение числа сильных толчков реально, т. к. они надежно регистрируются и в подавляющем большинстве присутствуют в каталогах. Однако спад событий с $M < 4.5$ является результатом наблюдательной селекции.

Из рис. 1б также видно, что в новый каталог после 1990 г. включено очень много слабых землетрясений, особенно вблизи $M \approx 3.0 - 3.5$, для которых период $P = 1$ год отсутствует (рис. 1а). Это хорошо согласуется с тем фактом, что и раньше (за 1964–1990 гг.) не наблюдалось годового периода для толчков с неизвестной (не определенной) магнитудой, которые, по-видимому, были также очень слабыми. Многие из них, возможно, имеют афтершоковое происхождение. Кроме того, они могут являться постоянным “шумом” в сейсмоактивных районах. В действительности число таких событий должно быть значительно больше.

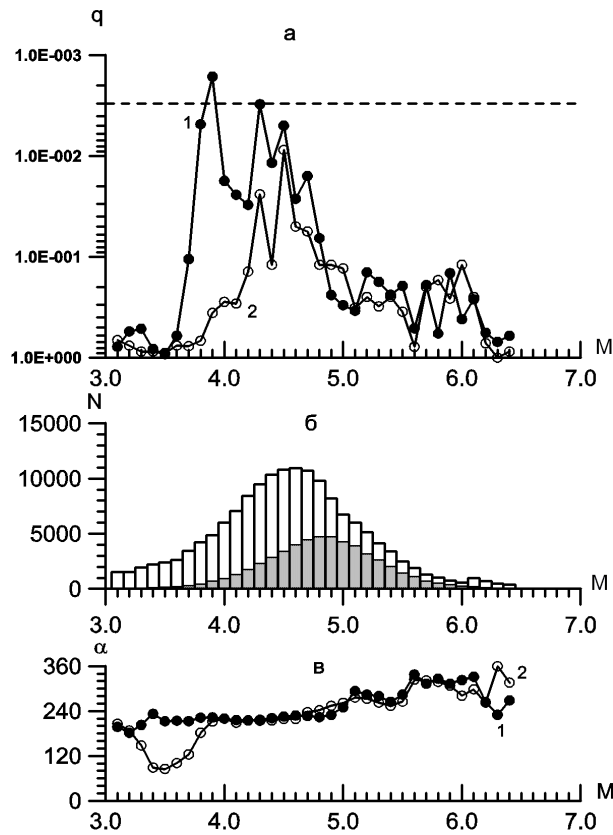


Рис. 2. Зависимость от магнитуды (M) землетрясений (в южном полушарии) за 1964–1990 гг. (кривые 1, точки) и за 1964–2007 гг. (кривые 2, кружки): (а) уровня значимости (q) годового периода; (б) числа землетрясений (N); заштриховано для 1964–1990 гг.; (в) фазы α максимума гармонической годовой волны. Штриховая линия соответствует $q = 0.003$

Таблица 1.

Годы	Магнитуда, M	Уровень значимости, q	Фаза максимума, α	Число землетрясений, N
Северное полушарие				
1964–1990	3.0–4.7	$1.0 \cdot 10^{-8}$	114°	48402
1964–2007	3.6–4.4	$2.1 \cdot 10^{-5}$	100°	100168
Южное полушарие				
1964–1990	3.0–4.7	$1.3 \cdot 10^{-3}$	221°	23158
1964–2007	4.2–4.6	$7.9 \cdot 10^{-3}$	220°	50049

Фаза максимума годовой волны осталась практически той же для $M \approx 3.8 - 4.3$, где период $P = 1$ отчетливо выражен (рис. 1в).

Ранее (Горькавый и др., 2000, 2002) было показано, что максимальная значимость $P = 1$ год за 1964–1990 гг. наблюдается при объединении всех землетрясений с $M = 3.0 - 4.7$ ($q = 1.0 \cdot 10^{-8}$, $N = 48402$). Толчков с $M \leq 3.5$ было очень мало (см. рис. 1б, заштриховано), и поэтому они не оказывали заметного влияния на величину q при таком объединении. Теперь же (1964–2007 гг.) годовой период лучше всего выражен для суммарного количества землетрясений с $M = 3.6 - 4.4$ ($q = 2.1 \cdot 10^{-5}$, $N =$

Таблица 2.

Годы	Магнитуда, M	Географич. широта, φ	Уровень значимости, q	Фаза максимума, α	Число землетряс., N
Северное полушарие					
1964–1990	3.0–4.7	0.1° – 38°	$4.6 \cdot 10^{-2}$	130°	26293
1964–1990	3.0–4.7	38.1° – 61°	$1.9 \cdot 10^{-5}$	109°	20113
1964–2007	3.6–4.4	0.1° – 29°	$3.8 \cdot 10^{-2}$	85°	38801
1964–2007	3.6–4.4	29.1° – 63°	$6.9 \cdot 10^{-4}$	112°	58687
Южное полушарие					
1964–1990	3.0–4.7	0° – 39°	$2.7 \cdot 10^{-3}$	218°	22438
1964–1990	3.0–4.7	39.1° – 61°	$9.0 \cdot 10^{-6}$	261°	682
1964–2007	4.2–4.6	0° – 30°	$5.5 \cdot 10^{-2}$	221°	41281
1964–2007	4.2–4.6	30.1° – 61°	$2.1 \cdot 10^{-3}$	219°	8573

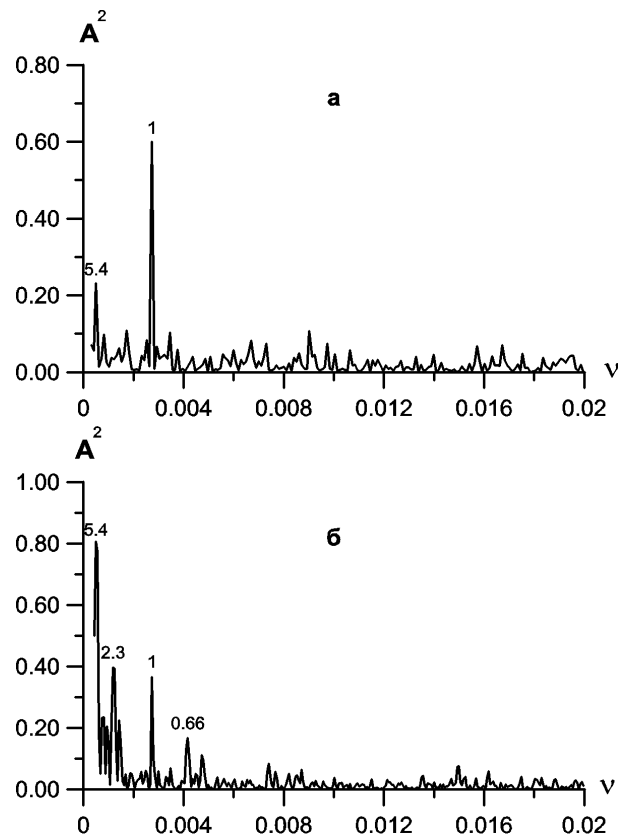


Рис. 3. Спектры мощности временных последовательностей землетрясений (в северном полушарии) с магнитудами $M = 3.0 - 4.7$ за 1964–1990 гг. (а) и $M = 3.6 - 4.4$ за 1964–2007 гг. (б). По вертикальной оси – квадрат гармонической амплитуды (A^2), по горизонтальной – частота (ν) в единицах 1/сут. Числа над пиками – значения периодов в годах

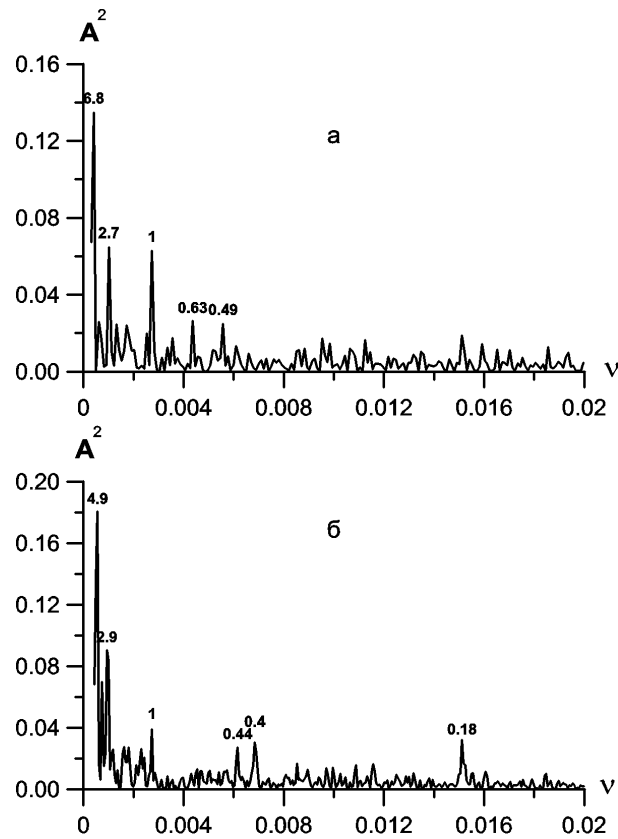


Рис. 4. Спектры мощности временных последовательностей землетрясений (в южном полушарии) с магнитудами $M = 3.0–4.7$ за 1964–1990 гг. (а) и $M = 4.2–4.6$ за 1964–2007 гг. (б). По вертикальной оси – квадрат гармонической амплитуды (A^2), по горизонтальной – частота (ν) в единицах 1/сут. Числа над пиками – значения периодов в годах

100168). Хотя область магнитуд в последнем случае несколько уменьшилась, но число событий возросло более чем в два раза.

На рис. 2 показаны аналогичные зависимости от магнитуды землетрясений в южном полушарии. Существенно меньшая значимость годового периода (рис. 2а) обусловлена, по-видимому, меньшей континентальностью южного полушария и малым числом толчков в средних широтах, где $P = 1$ год лучше всего выражен (Горькавый и др., 2002, 2003). Наибольшая значимость q за 1964–2007 гг. получается при суммировании всех толчков с $M = 4.2–4.6$ ($q = 7.9 \cdot 10^{-3}$, $N = 50049$).

Полученные и описанные выше основные характеристики годового периода для двух временных интервалов даны в табл. 1.

Из табл. 1 и рис. 1в и 2в видно, что фазы колебаний с $P = 1$ год приблизительно одинаковы внутри одной полусферы для магнитуд, где он статистически значим, но сильно отличаются для разных полусфер ($\Delta\alpha \approx 107^\circ – 120^\circ$). Это важное свойство годового периода подробно изучено и описано ранее (Горькавый и др., 2002, 2003).

На рис. 3 и 4 для иллюстрации показаны спектры мощности временных последовательностей суточных чисел (количеств) землетрясений, на основе которых составлена табл. 1. Спектры вычислены для диапазона частот, соответствующего периодам $P = 50$ сут.–7 лет. Кроме $P = 1$ год все остальные пики в спектрах, согласно формуле 2, статистически малозначимы.

На рис. 5 представлены фазовые диаграммы (средние кривые) годовой волны, соответствующие четырем различным выборкам согласно табл. 1. Годовой период разделен на 12 частей, что

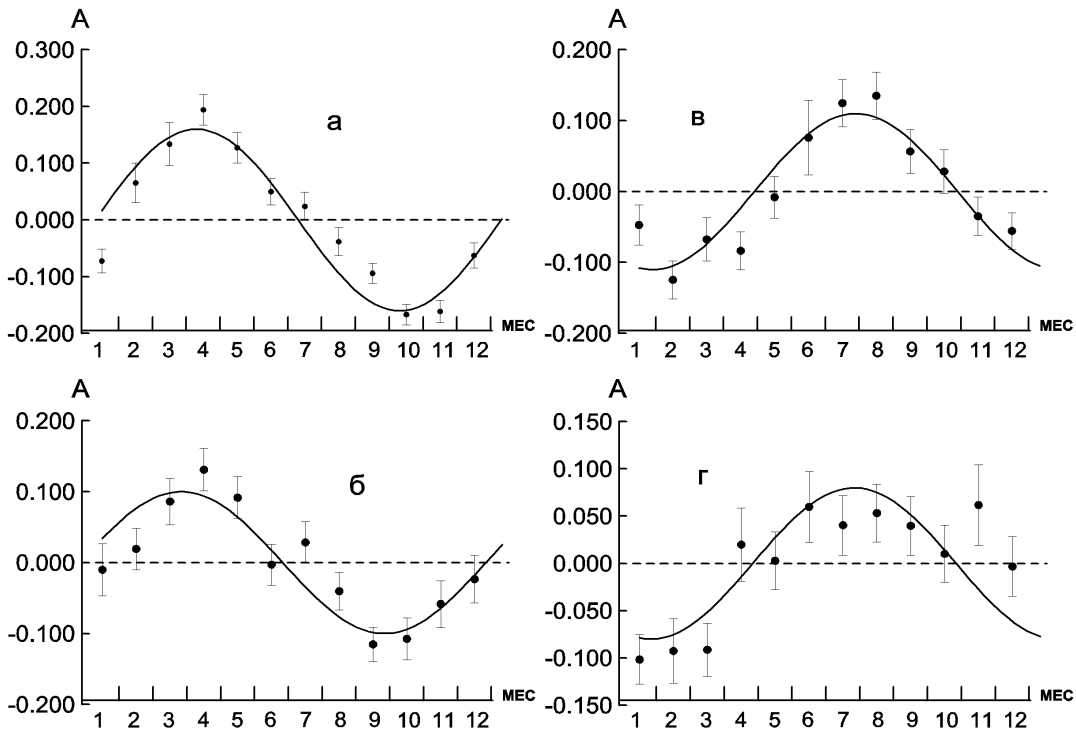


Рис. 5. Средние кривые (фазовые диаграммы) годового периода: для землетрясений северного полушария с магнитудами $M = 3.0 - 4.7$ за 1964–1990 гг. (а) и $M = 3.6 - 4.4$ за 1964–2007 гг. (б); для землетрясений южного полушария с магнитудами $M = 3.0 - 4.7$ за 1964–1990 гг. (в) и $M = 4.2 - 4.6$ за 1964–2007 гг. (г). По вертикальной оси – относительная амплитуда (А) годового периода, по горизонтальной – месяцы. Гармонические кривые получены из спектров мощности. Вертикальные линии – среднеквадратичные ошибки

приблизительно соответствует делению на месяцы. По вертикальной оси даны отношения среднесуточных чисел землетрясений в каждой 1/12 части года к среднесуточному за год (вычисленному при усреднении за рассматриваемые годы).

Максимальное число толчков в северном полушарии приходится на местный весенний сезон (март–май), а в южном – на местный зимний сезон (июль–август). Средние амплитуды модуляции этим периодом составляют приблизительно 10–16 процентов на севере (рис. 5, а, б) и 8–11 процентов на юге (рис. 5, в, г).

4 Годовой период в сейсмичности на разных географических широтах

Было показано (Горькавый и др., 2002, 2003), что годовой период в сейсмической активности в 1964–1990 гг. лучше всего выражен на средних широтах ($\Delta\varphi \approx 38^\circ - 61^\circ$) в обоих полушариях. Теперь мы при помощи той же методики изучим, как проявляется этот период на разных географических широтах за интервал 1964–2007 гг. В качестве характеристики $P = 1$ год, как и прежде, будем брать уровень его статистической значимости q . Результаты детального исследования даны в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что годовая периодичность и в 1964–2007 гг. также лучше всего выражена на средних широтах, хотя область $\Delta\varphi \approx 29^\circ - 63^\circ$ теперь несколько отличается.

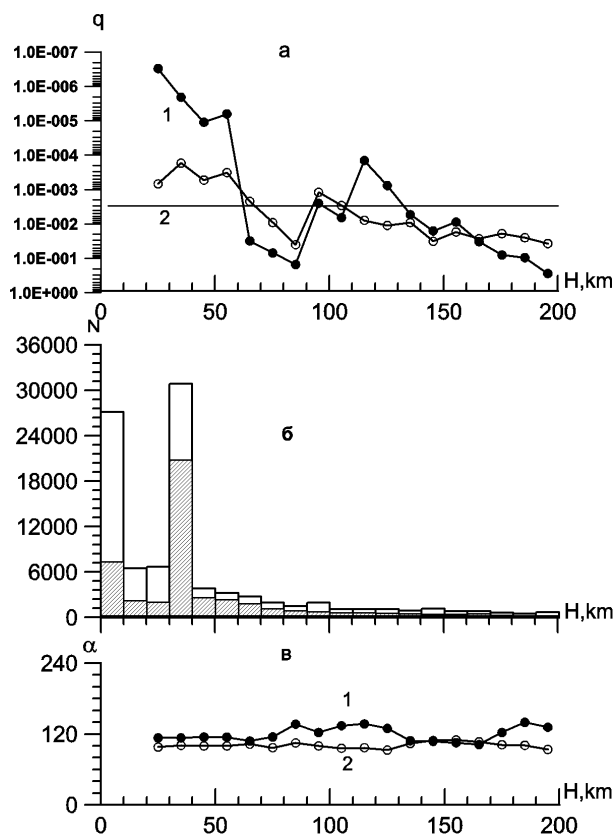


Рис. 6. Зависимость от глубины землетрясений (H) (в северном полушарии) с магнитудами $M = 3.0–4.7$ за 1964–1990 гг. (кривые 1, точки) и $M = 3.6–4.4$ за 1964–2007 гг. (кривые 2, кружки): (а) уровня значимости (q) годового периода; (б) числа землетрясений (N); заштриховано для 1964–1990 гг.; (в) фазы (α) максимума гармонической годовой волны. При вычислениях q и α применено скользящее усреднение по пяти соседним интервалам $\Delta H = 10$ км. Штриховая линия соответствует $q = 0.003$

5 Годовой период для землетрясений с различными глубинами гипоцентров

Рассмотрим далее, как проявляется период $P = 1$ год для слабых землетрясений в зависимости от глубины их гипоцентров в северном и южном полушариях Земли отдельно. Для этого вычислим поочередно спектры мощности для толчков с гипоцентрами, расположенными на $H = 1–50; 10–60; 20–70; \dots; 180–230$ км. Скользящее усреднение (для q и α) по пяти соседним интервалам $\Delta H = 10$ км целесообразно из-за неравномерного распределения событий по глубине: число землетрясений очень велико для $H = 10$ км и 33 км (20 миль) – результат субъективного “округления”, и заметно уменьшается для $H > 70$ км (рис. 6б и 7б).

Уровень значимости годового периода обнаруживает два отчетливых максимума для толчков в северном полушарии: для гипоцентров с $H \approx 1–60$ км и $H \approx 90–140$ км (рис. 6а). В южном полушарии имеется лишь один максимум на глубинах $H \approx 110–160$ км (рис. 7а). Второй максимум наиболее примечателен: приблизительно для этих же глубин обнаружен максимальный коэффициент корреляции ($Q \approx 0.9$) между годовыми числами сильных ($M > 5.0$) землетрясений и среднегодовыми значениями модуля ускорения суточного вращения Земли (Горькавый и др., 1999).

Фазы максимума годовой волны остаются приблизительно постоянными внутри каждого полушария, но имеют систематическое различие ($\Delta\alpha \approx 100^\circ$) для разных полусфер (рис. 6в и 7в).

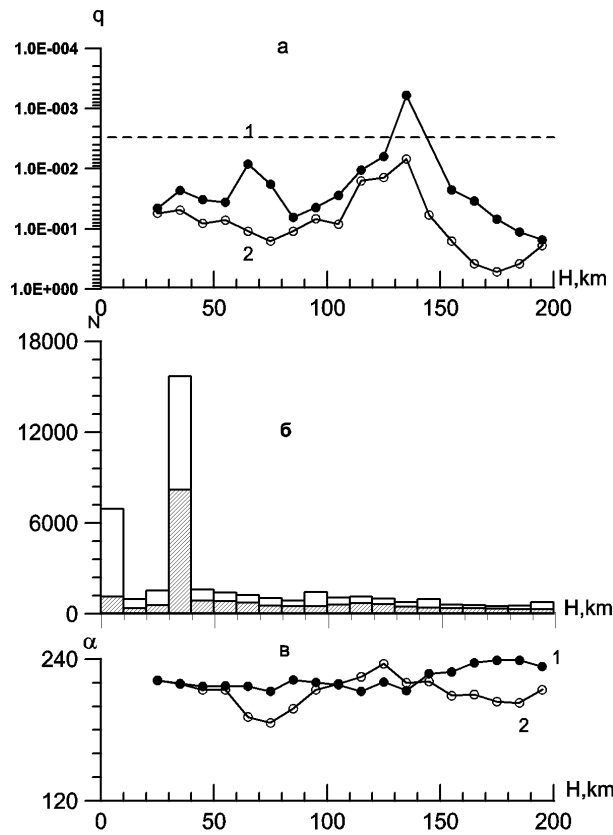


Рис. 7. Зависимость от глубины (H) землетрясений (в южном полушарии) с магнитудами $M = 3.0 - 4.7$ за 1964–1990 гг. (кривые 1, точки) и $M = 4.2 - 4.6$ за 1964–2007 гг. (кривые 2, кружки): (а) уровня значимости (q) годового периода; (б) числа землетрясений (N); заштриховано для 1964–1990 гг.; (в) фазы (α) максимума гармонической годовой волны. При вычислениях q и α применено скользящее усреднение по пяти соседним интервалам $\Delta H = 10$ км. Штриховая линия соответствует $q = 0.003$

6 Выводы

На существенно большем (в 1.6 раза) временном интервале (1964–2007 гг.) методом преобразования Фурье проанализированы колебания глобальной сейсмической активности. В качестве базы данных взят новый каталог Геологической службы США (Нац. инф. центр, 2007), содержащий сведения о $N = 401219$ землетрясениях с магнитудами $M \geq 3.0$ и глубинами гипоцентров $H \geq 1$ км, что в три раза превышает число таких толчков за 1964–1990 гг. (Нац. инф. центр, 1990).

С высокой степенью достоверности подтверждено существование годового периода для слабых ($M \approx 3.6 - 4.6$) землетрясений. Еще более слабые толчки ($M \approx 3.0 - 3.5$) не обнаруживают периода $P = 1$ год. По-видимому, многие из них являются афтершоками, а также они могут быть постоянным шумом в сейсмоактивных регионах. Других статистически значимых периодичностей не обнаружено.

Показано, что найденные ранее (за 1964–1990 гг.) закономерности для $P = 1$ год (Горькавый и др., 2000, 2002, 2003) – зависимость от географической широты, глубины гипоцентров, север-южная асимметрия – имеют место и за 1964–2007 гг.

Литература

- Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 1999. №. 10. С. 52
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. // Физика Земли. 2000. №. 5. С. 28.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Сидоренков Н.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Фридман А.М. // Материалы V Севастопольского Международного семинара “Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф”. Севастополь. 2002. С. 92.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Сидоренков Н.С., Ставицкий З.Л., Тайдакова Т.А., Татевян С.К. // Сборник научных трудов Севастопольского Национального института ядерной энергии и промышленности (СНИЯЭиП). 2003. Вып. 9. С. 210.
- Горькавый Н.Н., Дмитроца А.И., Левицкий Л.С., Сидоренков Н.С., Тайдакова Т.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 1. С. 115.
- Национальный информационный центр по землетрясениям Геологической службы США, 1928–1990 (VX DAT (1928–1990), US Geological Survey, National Earthquake Information Center). 1990.
- Национальный информационный центр по землетрясениям Геологической службы США, 1928–2007 (VX DAT (1928–2007), US Geological Survey, National Earthquake Information Center). 2007.
- Теребиж В.Ю. // Анализ временных рядов в астрофизике. М. Наука. 1992.