

**БИМОДАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ШИРОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГИПОЦЕНТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ: ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ
BIMODAL LATITUDINAL DISTRIBUTIONS OF THE EQ HYPOCENTERS IN THE PACIFIC:
GENERAL TENDENCIES**

Е.В. Сасорова¹, Б.В. Левин²

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН¹, e-mail: sasorova_lena@mail.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН², e-mail: lbw@imgg.ru

The statistically valid regularity of the EQ distribution in the Pacific over latitudinal belts and over the depth was discussed. The worldwide catalog ISC was used. The entire set of events (with $M_b \geq 4.0$) was divided into several magnitude ranges (MR). The regions under study were divided in several latitudinal intervals (belts). The latitude distributions of the EQ number and energy released by EQ were analyzed. The number of events in each latitudinal interval was normalized two times. Thus we obtain relative seismic event number generated per one kilometer of the plate boundary. Double normalized latitudinal distributions have clearly expressed bimodal character: two peaks located in Northern and Southern Hemisphere, local minimum near the equator and almost zero values in high latitudes. It was proved the stability of obtained results to different time interval and to different size of the latitudinal belts. The analysis of 2D EQ distributions (in depth and in latitudinal belts) was also fulfilled. It was shown, that full interval of depth in each latitudinal belt generally divides into three parts (clusters) with close-cut separation boundaries ($K1$ – with $0 < H \leq 80$ km, $K2$ – with $120 < H \leq 240$ km and $K3$ – with $H \geq 500$ km). The analysis of the obtained EQ latitudinal distributions shows, that the difference in the EQ number between some latitudinal belts is more than several tens times and for energy distributions this difference is more than 100 times. It was discussed the possible linkage between the seismic process and tidal forces.

Проблема распределения эпицентров землетрясений по широтным поясам Земли ставилась еще в 60-х гг. прошлого столетия. В работах [Gutenberg Richter, 1972; Mogi, 1985; Sun, 1992] исследовались распределения сильных землетрясений ($M > 7$). Отмечалась существенная неравномерность распределения событий по широтам.

Анализ широкого спектра сейсмических событий, следуя подходам, развитым в работе [Сасорова, Левин, 2008], был выполнен авторами на материале обработки каталога ISC [ISC] (свыше 200000 событий с $M \geq 4$) за период с 1964 г. События разных энергетических уровней могут иметь различные широтные распределения, поэтому широтные распределения рассматривались независимо для шести магнитудных диапазонов: МД: $4.0 \leq M_b < 4.5$; $4.5 \leq M_b < 5.0$; $5.0 \leq M_b < 5.5$; $5.5 \leq M_b < 6.0$; $6.0 \leq M_b$. В качестве региона для исследования рассматривался Тихоокеанский регион (ТО), который включает более 80% общемирового количества землетрясений. ТО определялся нами как территория Тихого океана, примыкающие к нему островные дуги, внутренние моря, лежащие между континентами и островными дугами (например, Охотское, Японское, Тасманово и др.) и те части континентальной суши, под которыми проходят зоны субдукции. Весь ТО был разделен на широтные пояса (размером 10° и 2°). Количество событий в каждом широтном поясе нормировалось дважды.

На первом этапе количество событий в каждом широтном поясе нормировалось на общее количество событий в данном МД (получали относительное количество событий в каждом широтном поясе для данного МД). Так как большинство землетрясений приурочено к границам литосферных плит, то далее в работе использовалось нормирование относительного количества землетрясений, и выделенной энергии на длину границ литосферных плит в каждом широтном поясе. Впервые такой подход был использован в работах (Сасорова, Левин, 2008; Левин, Сасорова, 2009(a)). Такое нормирование определяет мощность данного участка границы плиты (среднее число землетрясений, генерируемое на каждые 100 километров плитовой границы). Использование этой характеристики, имеющей ясный физический смысл, позволяет сравнивать сейсмическую активность широтных поясов и различных частей земного шара.

На рис.1 приведены распределения сейсмических событий по широтным поясам для шести МД (фрагмент 1(а) – без нормирования событий, фрагмент 1(б) – после первого нормирования, фрагмент 1(в) – дважды нормированное количество событий).

Показано, что дважды нормированные широтные распределения сейсмических событий имеют характерную бимодальную форму, что сейсмическая активность планеты практически отсутствует на полюсах и полярных шапках Земли, обнаруживает по одному ярко выраженному максимуму в средних широтах Северного и Южного полушария и устойчивый локальный минимум вблизи экватора. Распределения асимметричны и имеют сдвиг к северу от экватора. Такие распределения

по широтным поясам Земли характерны и для количества сейсмических событий и для энергии, выделившейся в результате землетрясений.

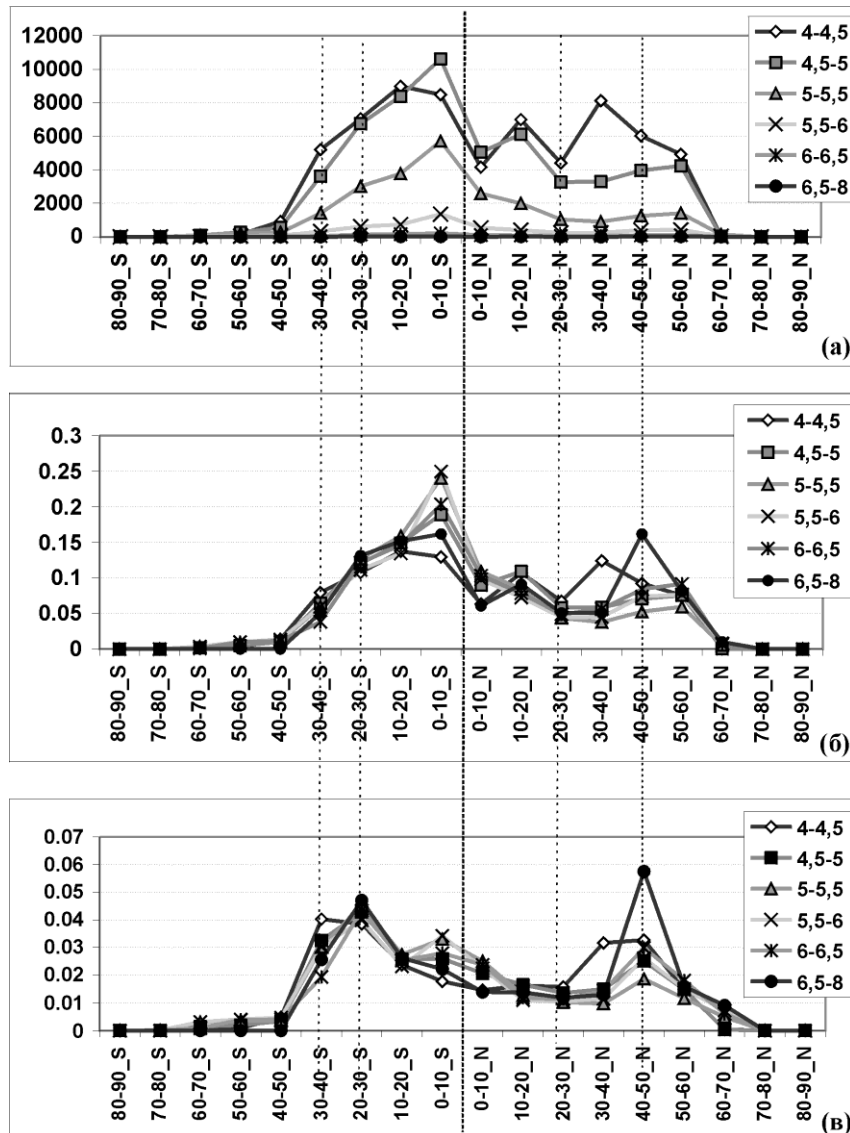


Рис. 1. Распределение сейсмических событий в Тихоокеанском регионе по широтным поясам для 6 –ти магнитудных диапазонов: (а) – распределение количества событий по широтным поясам; б – относительное количество событий по широтным поясам (нормирование на суммарное количество событий в каждом магнитудном диапазоне); в – широтное распределение событий, нормированное на количество событий в каждом магнитудном диапазоне и на длину границ литосферных плит. Линии, проходящие через все фрагменты: черная пунктирная – экватор, серые точечные соответствуют широтным поясам с максимальной и малой сейсмической активностью.

Далее был проведен анализ на устойчивость полученных распределений во времени и в пространстве. Показана стабильность полученных результатов во времени и к изменению размера широтных поясов (10° и 2°). Для этого все вычисления для событий во всех МД: были продублированы независимо для широтных поясов размером 2° , и для четырех 10-ти летних интервалов. Все отмеченные характерные особенности распределений при этом сохранялись. Затем были рассмотрены закономерности в распределении сейсмических событий по глубине для различных широтных поясов Земли и разных энергетических уровней. Для каждого широтного пояса рассматривались распределения количества событий по глубине и распределения выделенной энергии по глубине для всех МД. Показано [Левин, Сасорова, 2009(а)], что для высоких широт очаги практически всех землетрясений (до 90%) сосредоточены на глубинах $H \leq 20$ км. По мере продвижения к средним широтам постепенно увеличивается доля событий, для которых $20 < H \leq 60$ км. Для широтных поясов, близких к экватору (30° S - 30° N), существенная доля очагов землетрясений расположена уже на глубинах: $100 < H \leq 240$ км и $H \geq 500$ км. Для распределений выделенной энергии по глубине обнаружено, что существует тенденция к разделению событий на три отдельные группы (кластеры) с достаточно четко выраженными границами. Первый кластер (K1) объединяет события с глубиной от 0 до 80 км, второй кластер (K2) - от 120 до 240 км, а третий (K3) выделяется на глубинах от 500 до 700 км. На высоких широтах появляются только события из кластера K1.

Для анализа двумерных распределений землетрясений (по широтам и глубинам) рассматривалось дважды нормированное количество событий (по длине границ литосферных плит в каждом широтном поясе и по временному интервалу - 10 лет). Для построения распределений

использовались: неравномерная шкала глубин: {0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900} и размер широтного пояса - 10° .

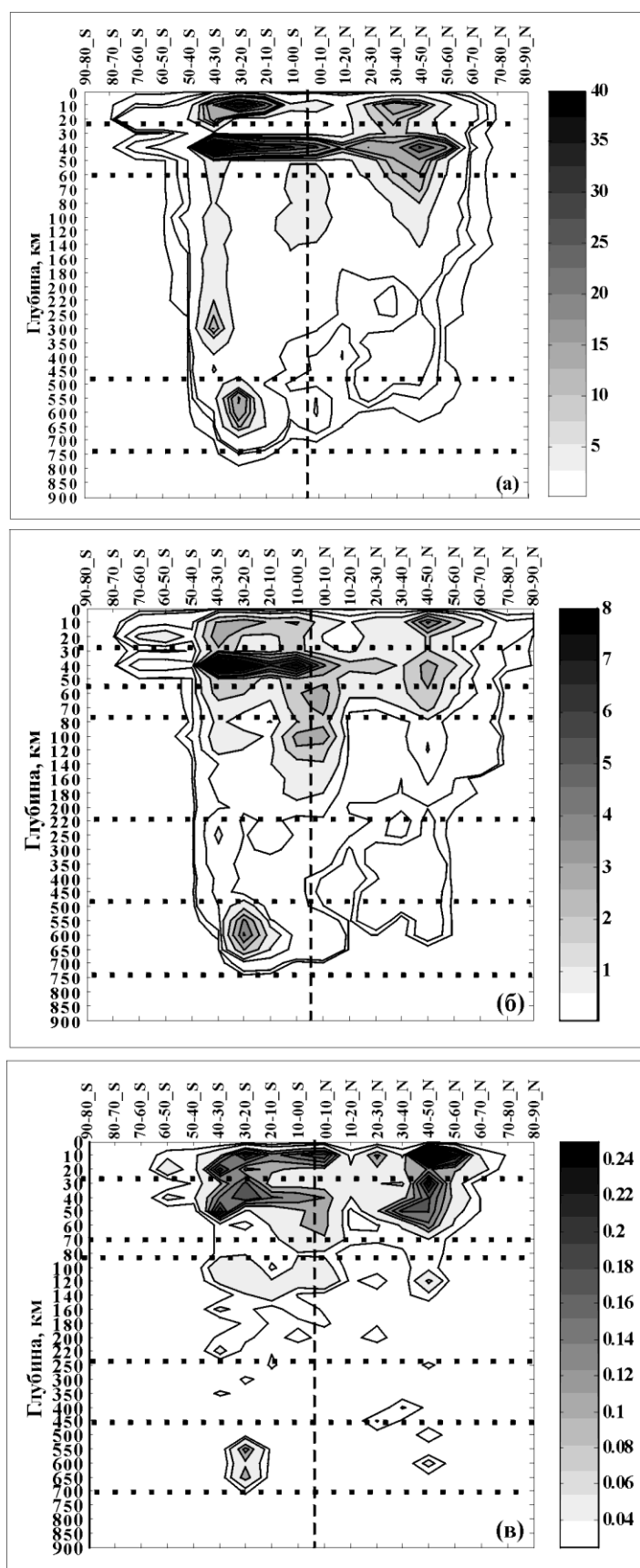


Рис. 2. Двумерные распределения нормированного количества сейсмических событий на Земле; вертикальные оси – глубина в км, горизонтальные оси – широтные пояса. Фрагмент (а) - для магнитудного диапазона: $4.0 \leq M < 5.0$; фрагмент (б) - для $5.0 \leq M < 6.0$, фрагмент (в) - для $M \geq 6.0$. Полутоновая шкала для нормированного количества событий – справа от каждого фрагмента.

На рис. 2 приведены двумерные распределения для трех МД: $4 \leq M < 5$, $5 \leq M < 6$ и $M \geq 6$. На всех трех фрагментах рисунка просматривается ярко выраженная пространственная кластеризация событий (как по широтам, так и по глубинам). Выделяются очаги сгущения

событий на широтах 30° – 40° S и 40° – 50° N и на глубинах: 0–60 км., 100–250 км., и 500–700 км. Отмечается резкое уменьшение количества событий около экватора (10° – 20° N) и практически полное отсутствие на высоких широтах. Наиболее ярко выраженные сгущения сохраняются на всех фрагментах рис. 2.

Нами были обработаны также данные по лунотрясениям, взятые из работы [Lammlein, 1977] и получены широтные распределения лунотрясений (рис. 3). Размер широтного пояса для этих распределений был выбран таким же, как и для Земли (10°). Таким образом, сейсмическая активность на Луне, практически отсутствует на высоких широтах, обнаруживает ярко выраженные максимумы в средних широтах обоих полушарий и устойчивый локальный минимум вблизи лунного экватора. Несмотря на некоторые различия, глобальный характер широтных распределений остается идентичным для обоих небесных тел. В работе [Frohlich, Nakamura, 2009] была отмечена ярко выраженная кластеризация лунотрясений по двум глубинным уровням 100–300 км и 800–1200 км. Показано, что значения давления на глубинах $800 \leq H < 1200$ км. для Луны соответствуют значениям давления во внутренних слоях Земли на глубинах 120–240 км.

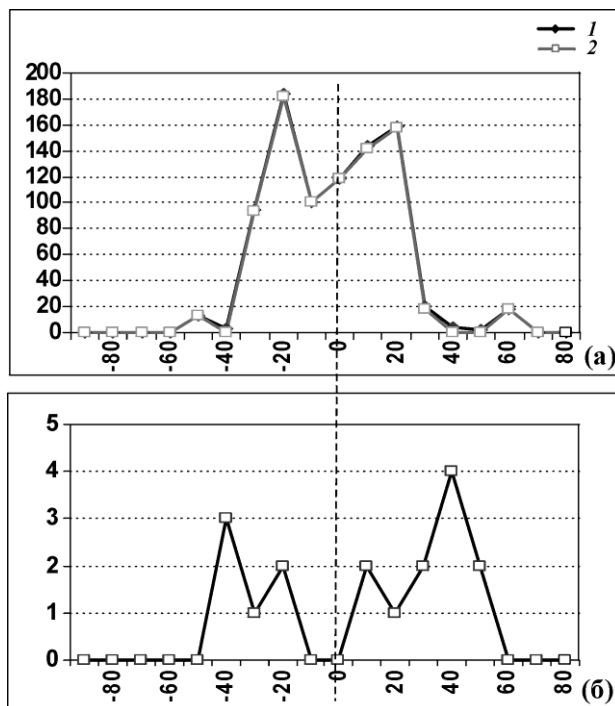


Рис. 3. Широтные распределения сейсмических событий для Луны. Фрагмент (а): кривая 1 – по всем событиям (861), кривая 2 – по глубоким событиям (844); фрагмент (б) – для неглубоких событий (17). Горизонтальные оси на всех фрагментах – широты (отрицательные широты для Южного полушария). Вертикальные оси: для фрагмента (а) и (б) – количество сейсмических событий. Пунктирная линия – лунный экватор.

Объяснить приведенные особенности распределения событий для двух разных небесных тел только с позиции теории тектоники плит не представляется возможным. Обсуждается возможная связь сейсмического процесса с приливными силами и особенностями вращения планет.

Литература

1. Gutenberg B., Richter C.F. Bull. // Seism. Soc. Amer. 1942. V. 32. №3. P. 163–170
2. Mogi K. Earthquake Prediction. Academic Press, Tokyo, 1985.
3. Sun W. // Phys. Earth Planet. Inter. 1992. V. 71, P. 205–216.
4. Е.В. Сасорова, Б.В. Левин. Особенности широтных распределений землетрясений в Тихоокеанском регионе с учетом протяженности границ литосферных плит // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 277–283.
5. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Бимодальный характер широтных распределений землетрясений в Тихоокеанском регионе как проявление глобальной сейсмичности. 2009(а). ДАН. Т.424, № 4. С 538–542.
6. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Глубинные распределения землетрясений по широтным поясам в Тихоокеанском регионе: общие тенденции. 2009(б). ДАН. Т.426, № 4. С 537–542.
7. Lammlein D.R.. Lunar seismisity and tectonics// Phys. Earth Planet. Inter. 1977. V. 14. P. 224–273.
8. Frohlich C., Nakamura Y. The physical mechanisms of deep moonquakes and intermediate-depth earthquakes: How similar and how different? // Phys. Earth Planet. Inter. 2009. V. 173 P 365–374.