

УДК 550.34

ГЛУБИННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ШИРОТНЫМ ПОЯСАМ В ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ: ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ

© 2009 г. Член-корреспондент РАН Б. В. Левин, Е. В. Сасорова

Поступило 18.12.2008 г.

В последние годы в геологических науках наблюдается тенденция постепенного отхода от представления о Земле как о неподвижной системе и от попыток объяснить закономерности глобальных сейсмических процессов только внутренними эндогенными взаимодействиями. Теперь и среди геологов появились сторонники учета влияния внешних сил и неоднородностей орбитального движения Земли в системе Земля–Луна–Солнце при анализе сейсмического процесса [2].

Изучение глобальных закономерностей в широтном распределении землетрясений выявило отчетливую неоднородность распределения эпицентров землетрясений на Земле. Показано [3, 4, 6], что сейсмическая активность планеты практически отсутствует на полюсах и в приполярных широтах, стремительно возрастает в средних широтах, достигая максимумов в районе 40–50°N и 20–30°S, и образует устойчивый локальный минимум вблизи экватора. Попытка рассмотреть распределения количества сейсмических событий в разных широтах с учетом глубин гипоцентров для четырех интервалов глубин сделана в работе [7]. Однако анализ двумерных распределений для количества сейсмических событий (по глубине и широте) и двумерных распределений для выделенной энергии ранее не проводился.

Цель настоящей работы состоит в выделении статистически обоснованных закономерностей распределения сейсмических событий по глубине для различных широтных поясов и различных энергетических уровней.

В качестве объекта для изучения был выбран Тихоокеанский регион, в котором происходит свыше 80% всех мировых сейсмических событий. Тихоокеанский регион (далее ТО) определялся как акватория океана с островными дугами, внут-

ренними морями и участками суши над зонами субдукции. Для анализа использовались события из мирового каталога International Seismological Catalog (ISC) с 1964 по 2004 г. [8] с магнитудой M_b не менее 4.0. Выделенные из каталога данные подвергались предварительной обработке, включающей стандартизацию магнитуд и удаление афтершоков. Общее количество землетрясений после предварительной обработки составило около 200000 событий.

Так как события разных энергетических уровней могут различаться характером распределений по глубине, в данной работе распределения рассматривались независимо для шести магнитудных диапазонов (МД): $4.0 \leq M_b < 4.5$, $4.5 \leq M_b < 5.0$, $5.0 \leq M_b < 5.5$, $5.5 \leq M_b < 6.0$, $6.0 \leq M_b < 6.5$, $M_b \leq 6.5$. Весь ТО был разделен на 18 широтных интервалов с шириной каждого интервала 10°. Использовалась неравномерная шкала глубин: $H = \{0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 240, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800 \text{ км}\}$.

Все события в ТО были разделены на две части: на события в западной и восточной частях. Разделение проводили по меридиану (145°W). Для каждого широтного пояса рассматривали распределения количества событий по глубине для всех МД и распределения относительного количества событий по глубине. Нормирование проводили на общее количество событий в заданном широтном поясе.

На рисунке показаны распределения событий по глубине для восточной части ТО региона для широтных поясов с 60°S по 60°N. Черной линией показаны контуры материков. На девяти панелях, расположенных вертикально друг за другом, представлены распределения землетрясений по глубине для каждого широтного пояса, лежащего в представленном диапазоне широт. Стрели указывают, к какому широтному поясу относится данное распределение по глубине очагов. В правом верхнем углу каждой панели указано общее количество землетрясений в данном широтном поясе. Если распределения для рядом расположенных широтных поясов одинаковы, то на ри-

*Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Южно-Сахалинск
Институт океанологии им. П.П. Ширинова
Российской Академии наук, Москва*

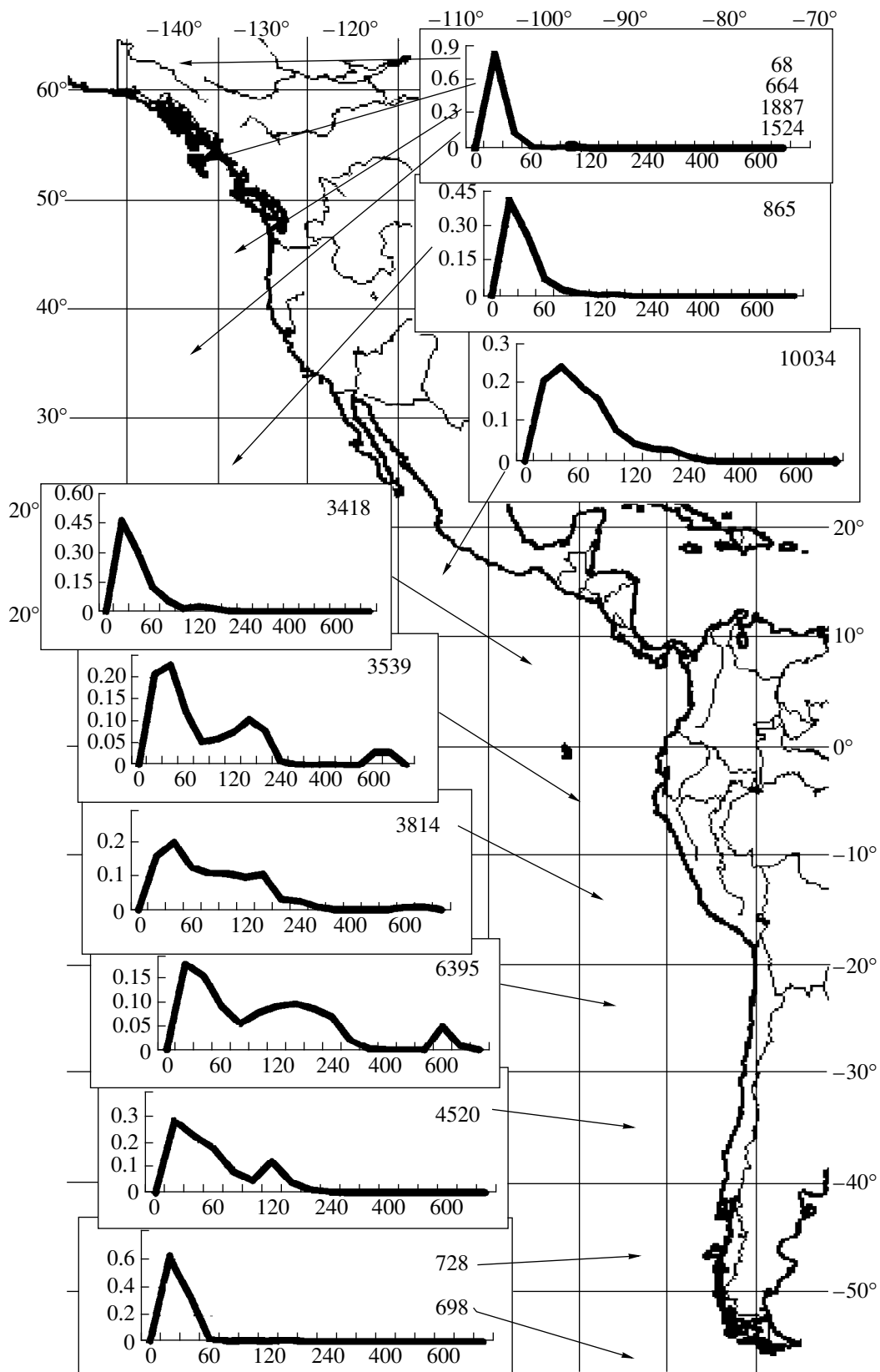


Рис. 1. Распределение относительного количества землетрясений по глубинам, для восточной части ТО для широтного диапазона от 70°N до 60°S. На девяти панелях, расположенных вертикально, представлены распределения землетрясений по глубине для каждого широтного пояса: по оси абсцисс – глубины очагов землетрясений (в км), а по оси ординат – относительное количество землетрясений (нормирование на общее количество землетрясений в данном широтном поясе). В правом верхнем углу каждой панели – общее количество землетрясений в данном широтном поясе.

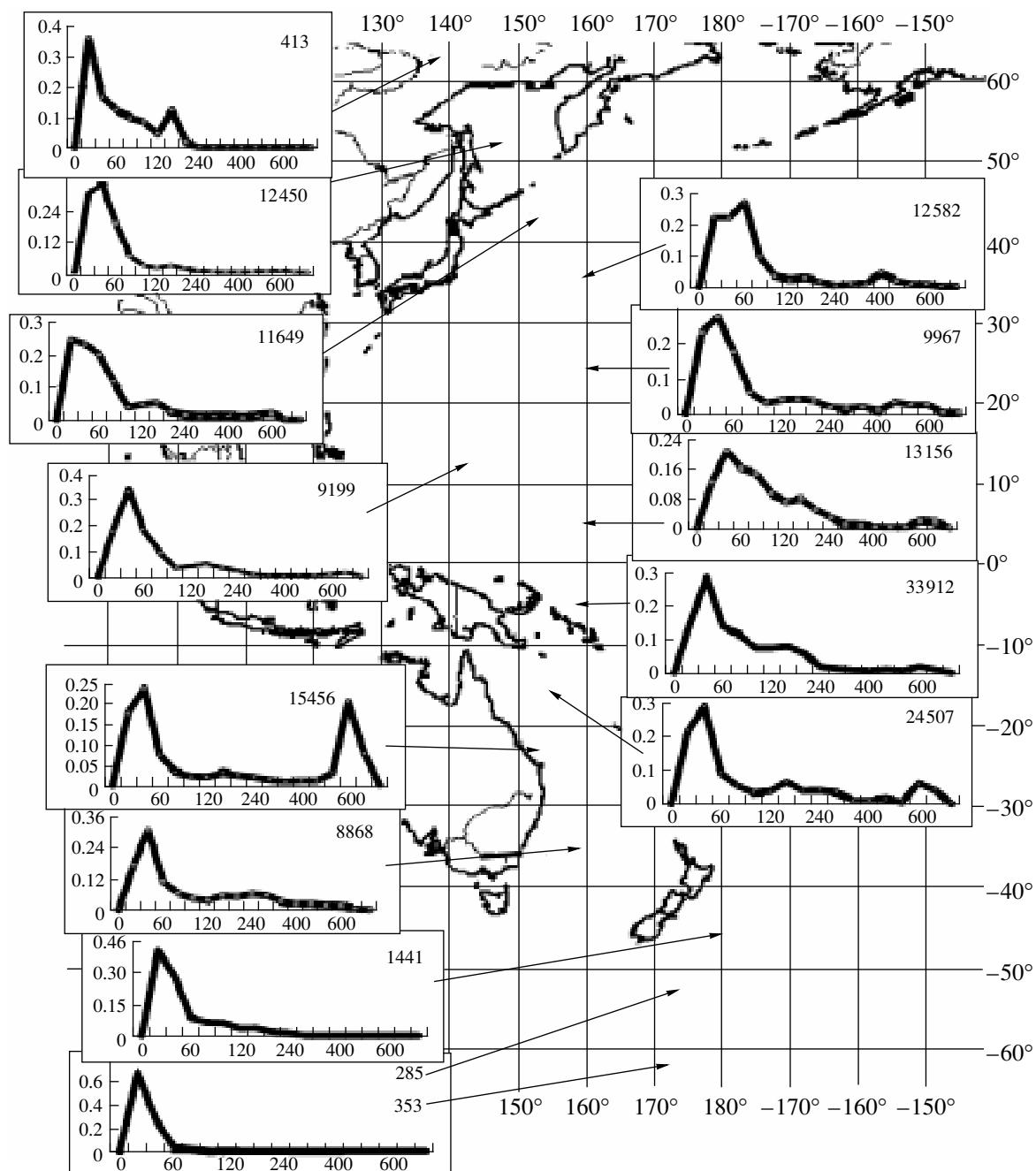


Рис. 2. Распределение относительного количества землетрясений по глубинам, для западной части ТО для широтного диапазона от 70°N до 70°S. Показаны контуры материков и островных дуг. Панели, на которых представлены распределения землетрясений, оформлены так же, как на рис. 1.

сунке представлена одна панель и несколько стрелок с указанием на широтные пояса, а в левой части панели расположены вертикально друг за другом несколько значений, указывающих на количество событий в соответствующих широтных поясах. На панелях приведены распределения для средних значений нормированного количества событий по всем МД для данного широтного пояса.

На рисунке 2 приведены результаты анализа глубинных распределений для тех же широтных поясов для западной части ТО. На рис. 1 и рис. 2 не представлены распределения событий для приполярных широт (60°–70°; 70°–80°; и 80°–90° для северного и южного полушариев). Для этих широтных поясов очаги всех событий расположены на глубинах $H \leq 10$ км, число событий незначительно (не более 25 в широтном поясе).

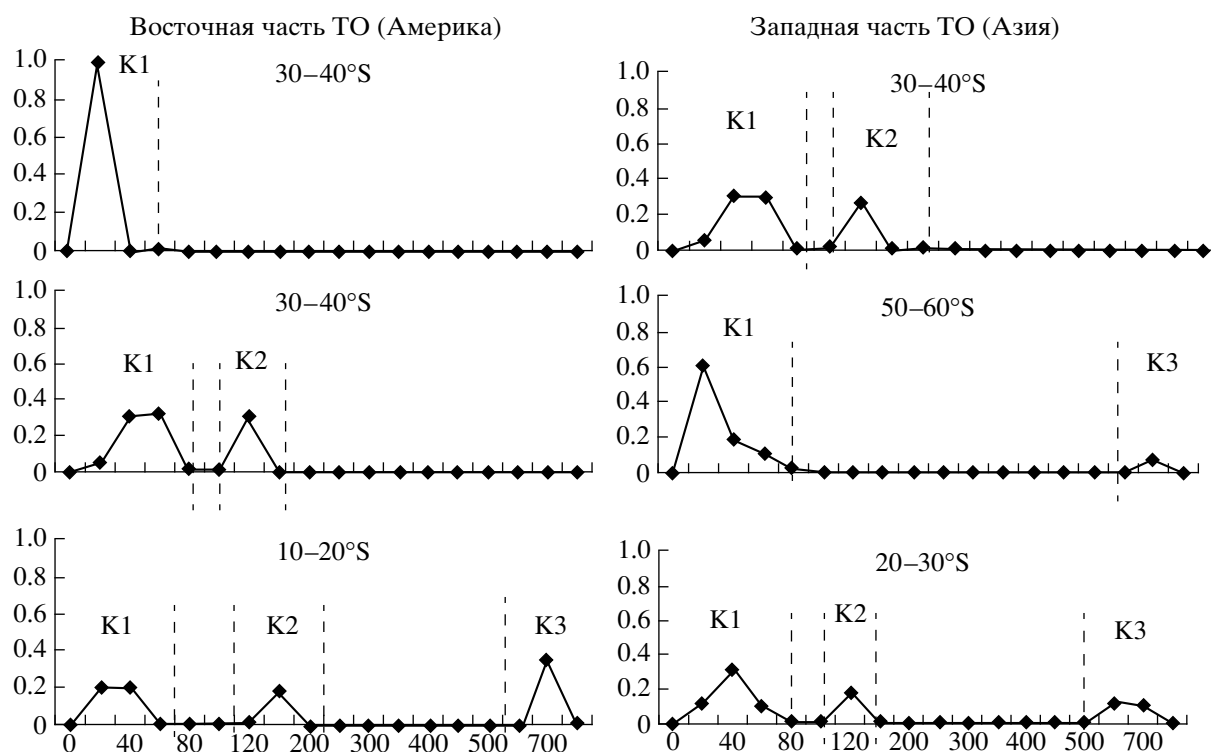


Рис. 3. Распределения энергии, выделенной от землетрясений, по глубинам для шести широтных поясов. По оси абсцисс – глубина (в км), а по оси ординат – нормированное значение энергии. В каждом распределении выделены кластеры и обозначены их границы.

Распределения очагов землетрясений по глубине для всех широтных поясов были построены для шести МД. Для высоких и средних широт распределения по всем МД практически совпадали, а для диапазона широт от 30°S до 30°N характер распределений для разных МД сохранялся, но отмечалась незначительная вариабельность распределений для отдельных диапазонов магнитуд.

Анализ представленных данных показывает, 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, а для некоторых широт этого диапазона на глубинах $H \geq 500$ км. Максимальное количество событий с $H \geq 500$ км как для западной, так и для восточной части ТО приходится на широтный пояс 30° – 20°S .

Далее в каждом широтном поясе была определена энергия, выделяемая при землетрясениях, и проанализировано, как распределяется выделенная энергия по глубинам для всех исследуемых широтных поясов. Распределение энергии по глубинам в каждом поясе нормировалось на суммар-

ную энергию, выделенную в данном широтном поясе.

Оказалось, что в полученных распределениях полный интервал глубин распадается 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. Примеры распределения энергии по глубине с выделенными и обозначенными кластерами приведены на рис. 3.

В табл. 1 приведены результаты анализа распределения энергии по глубинам последовательно для всех широтных поясов для западной и восточной частей ТО. В 5-м и 9-м столбцах приведена пороговая глубина, ниже которой располагается не более 5% от землетрясений в данном широтном поясе. В высоких и средних широтах (от 90° до 50°) практически вся энергия и в северном и в южном полушариях выделяется в кластере K1. Начиная с широт 30° – 40° проявляются события более глубокие, принадлежащие к кластеру K2. На этих широтах относительная часть энергии, выделяемой событиями из кластера K1, снижается, а в кластере K2 на некоторых широтах выделяется до 30% энергии данного пояса. На широтах от 20° до 30° появляются события, принадлежащие кла-

Таблица 1. Распределение выделяемой энергии в ТО (относительно общей энергии, выделяемой в данном широтном поясе) для 18 широтных поясов по глубине (К1: 10–80 км, К2: 120–240 км и К3: 500–700 км)

Широтный пояс	Западная часть ТО (Азия)				Восточная часть ТО (Америка)			
	Распределение энергии, %			Пороговая глубина, км	Распределение энергии, %			Пороговая глубина, км
	К1	К2	К3		К1	К2	К3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
80°–90° S	–	–	–	20	–	–	–	–
70°–80° S	100	–	–	40	99.63***	–	–	40
60°–70° S	99.7	–	–	40	99.96***	–	–	40
50°–60° S	99.9	–	–	40	99.99	–	–	40
40°–50° S	99	–	–	160	99.29	–	–	60
30°–40° S	67	30.8*	–	450	68.6	31.0	–	160
20°–30° S	55	19.0*	22.6	700	56.2	27.4	14	240
10°–20° S	67	21.2	10	700	42.9	21	35.9	200
0°–10° S	79.8	15.0	1	300	11.0	47.3	41.4	200
0°–10° N	68	27.7*	0.8	300	99.2	–	–	120
10°–20° N	96	2.8	1	240	34.6	64.8	–	160
20°–30° N	84	13.4	–	450	98.7	–	–	80
30°–40° N	85	–	12.4**	400	99.9***	–	–	40
40°–50° N	82.7	6.25*	10.5	300	53.1	46.2	–	40
50°–60° N	91	–	7.6	160	99.9***	–	–	40
60°–70° N	97.8	–	–	160	99.9***	–	–	40
70°–80° N	100	–	–	40	–	–	–	–
80°–90° N	100	–	–	20	–	–	–	–

Примечания. Прочерк указывает на отсутствие данного кластера. В 5-м и 9-м столбцах дана граница по глубине для каждого широтного пояса, ниже которой расположено не более 5% от общего количества событий в данном широтном поясе. Одна звездочка означает, что кластер К2 для данного широтного пояса имеет интервал глубин от 120 до 160 км, две – этот кластер для данного широтного пояса имеет интервал глубин от 400 до 500 км, три – кластер К1 для данного широтного пояса имеет интервал глубин от 0 до 40 км.

стеру К3. Как правило, от глубоких событий (кластер К3) выделяется не более 10–12% энергии по данному поясу, но в широтных поясах 10°–30° S и 10°–30° N возникает резкий скачок относительного количества энергии до 41%. Характерно, что кластер К1 в высоких широтах сжимается до интервала глубин 0–20 км. В сумме в выделенных кластерах выделяется более 95% энергии данного пояса (в среднем 98.6%), а на остальную часть глубинной шкалы приходится незначительное количество энергии (в среднем 1.4%).

Следует напомнить, однако, что указанные в таблицах процентные данные относятся к конкретному широтному поясу. Глобальное распределение энергии по широтным поясам (так же как и нормированное распределение количества сейсмических событий) имеет ярко выраженную бимодальную форму с близкими к нулю значениями в приполярных широтах, максимумами в районе 30°–50° и локальным минимумом в районе экватора. Поэтому общее количество энергии, вы-

деляемое даже в широтах 60°–70°, на 3–4 порядка меньше, чем для широт 10°–20°.

Таким образом, проведенный в работе анализ распределения количества землетрясений и энергии по глубине для 18 широтных поясов Тихоокеанского региона выявил глобальную закономерность в глубинно-широтном распределении очагов землетрясений.

Представляет интерес обсуждение геофизического аспекта установленной эмпирической закономерности – широтной зависимости количества землетрясений, их суммарной энергии и пороговой глубины гипоцентров. Эпицентры землетрясений, как известно, в основном располагаются вдоль границ литосферных плит. Эти границы в некоторых работах отождествляются с поверхностными границами соседних конвективных ячеек. Наряду с конвективными процессами в формировании таких границ, очевидно, сказывается также роль приливных процессов. Максимум проявления энергии приливных воздействий рас-

полагается в средних широтах ($\pm 45^\circ$). Эти области согласуются с обнаруженными областями расположения локальных максимумов сейсмической активности для неглубоких (коровых) землетрясений. С другой стороны, в теории фигуры Земли известны зоны максимальных значений градиента момента инерции по широте, которые располагаются в каждом полушарии в области $30\text{--}35^\circ$. Эти зоны хорошо согласуются с зонами сейсмической активности на больших глубинах. Отсюда можно сделать предварительное заключение о важной роли конвективных и приливных процессов в формировании механизма коровых землетрясений, а также о возможной роли процесса вращения Земли в формировании глубинной сейсмичности.

Обнаруженная тенденция изменения глубинного распределения количества событий и их энергии в зависимости от широты может служить основой для будущего поиска объяснения механизма генерации землетрясений. Очевидно, что нелинейные эффекты, связанные с механикой вращения планеты как вязкоупругого тела [1], и детальный анализ приливных процессов [5] могут дать новые результаты для понимания обнаруженных закономерностей.

Авторы благодарят Ю.Н. Авсюка, Ю.Г. Леонова, В.Е. Фортова и В.П. Павлова за плодотворные обсуждения.

Работа выполнена при частичной поддержке грантами РФФИ (08–05–99098, 07–05–00142).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Родионов В.Н. // Физика Земли. 2005. № 2. С. 88–91.
2. Короновский Н.В. // Фундаментальные проблемы геотектоники. Материалы XL Тектонического совещания. М.: Геос, 2007. Т. 1. 424 с.
3. Левин Б.В., Чирков Е.Б. // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С. 155–159.
4. Левин Б.В., Сасорова Е.В. // ДАН. 2009. Т. 424. № 4. С. 538–542.
5. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.
6. Сасорова Е.В., Левин Б.В. Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 277–283.
7. Фридман А.М., Клименко А.В. // Физика Земли. 2002. № 12. С. 50–55.
8. *International Seismological Catalog (ISC)* <http://www.isc.ac.uk>