

УДК 550.34

## БИМОДАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ШИРОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

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

Поступило 27.08.2008 г.

Количественное представление сейсмичности как энергии, выделившейся на единице площади в единицу времени, было впервые введено М. Ботом в [1]. Использование такой характеристики, имеющей ясный физический смысл, позволяет не только сравнивать сейсмическую активность различных частей земного шара, но и формировать представления о природе сейсмического процесса. Влияние внешних, приливных сил на активизацию сейсмического процесса и магматизма в последнее время обращает на себя внимание геофизиков и геологов [2].

Поиск глобальных закономерностей в широтном распределении землетрясений даже в эпоху становления сейсмологической науки продемонстрировал отчетливую неоднородность распределения эпицентров землетрясений на Земле, несмотря на невысокую представительность наблюдательного материала в середине XX в. [3]. Было показано, что сейсмическая активность планеты, практически отсутствующая на полюсах и полярных шапках Земли, стремительно возрастает в средних широтах, достигая максимумов в районах  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$  с.ш. и  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$  ю.ш. и обнаруживая устойчивый локальный минимум вблизи экватора.

Количественные оценки распределения землетрясений по широтным поясам планеты с использованием электронных каталогов, полученные недавно в работе [4], продемонстрировали практически полное отсутствие сейсмических событий в полярных зонах и два отчетливых максимума сейсмической активности в средних широтах.

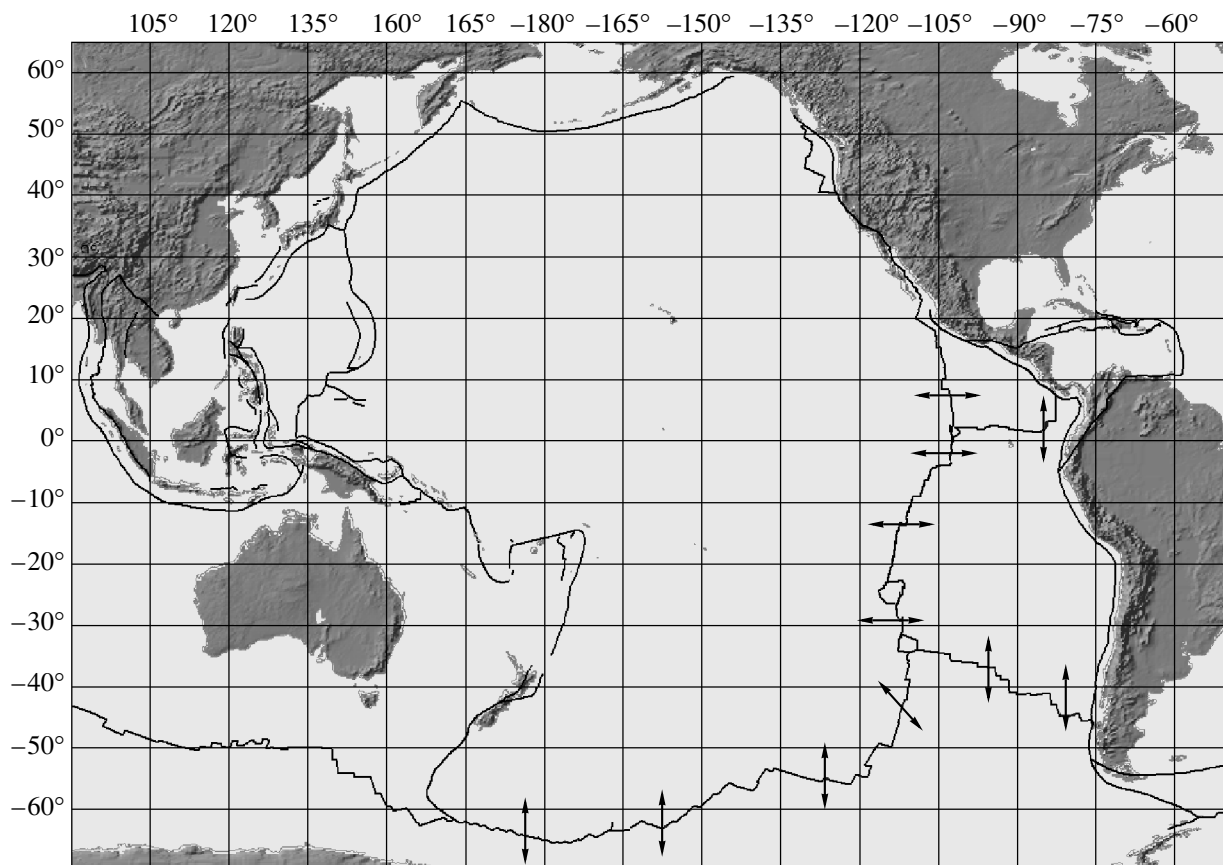
Цель настоящей работы состоит в обнаружении статистически обоснованных закономерностей в широтных распределениях землетрясений

различной энергии в представительных регионах, характеризующих глобальную сейсмичность Земли с учетом вклада современной кинематики границ литосферных плит.

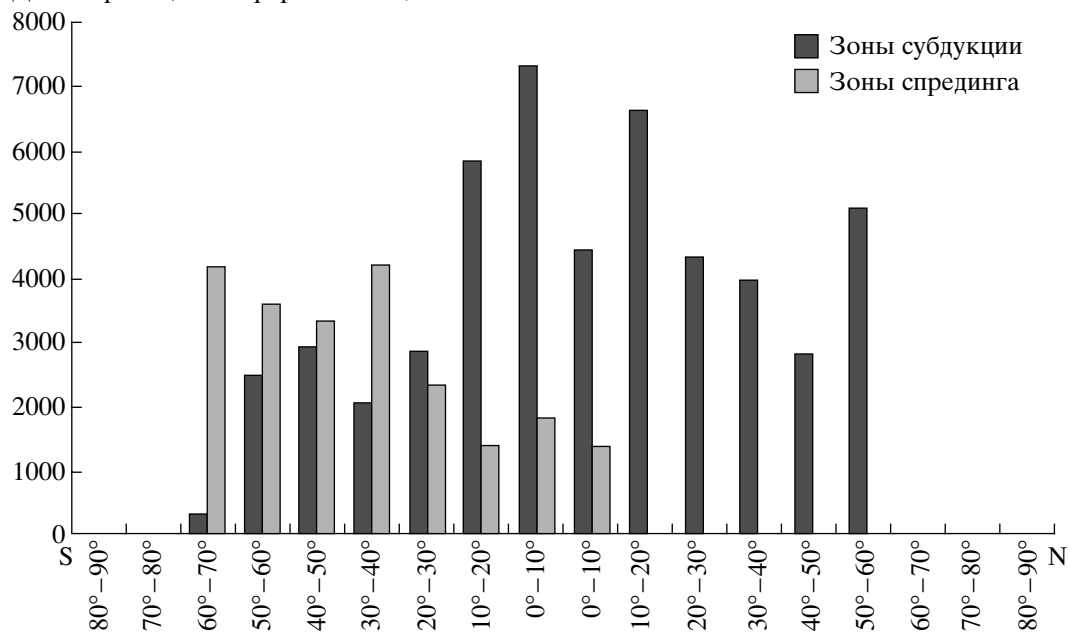
В качестве объекта изучения широтных распределений землетрясений выбран Тихоокеанский регион (далее ТО), в котором происходит свыше 80% всех мировых сейсмических событий. Тихоокеанский регион определялся как акватория океана с островными дугами, внутренними морями и участками суши над зонами субдукции. Для работы использовались данные из мирового каталога International Seismological Catalog (ISC) с предварительной стандартизацией магнитуд и удалением афтершоков. Обработке подвергались землетрясения с магнитудой  $M_b = 4.0$ , происшедшие между 1964 и 2004 гг. (всего более 200000 событий). Поскольку события разных энергетических уровней могут отличаться по характеру широтных распределений, в данной работе распределения рассматривались независимо для шести магнитудных диапазонов:  $4.0 \leq M_b < 4.5$ ,  $4.5 \leq M_b < 5.0$ ,  $5.0 \leq M_b < 5.5$ ,  $5.5 \leq M_b < 6.0$ ,  $6.0 \leq M_b < 6.5$ ,  $M_b \geq 6.5$ . Весь ТО был разделен на 18 широтных интервалов с шириной каждого интервала  $10^{\circ}$ .

Помимо распределений общего количества событий рассматривались распределения нормированных величин (отнесенных к общему числу событий в данном магнитудном диапазоне). Выполнявшиеся ранее попытки нормирования количества событий на площадь широтного пояса оказались неэффективными и физически неправомерными из-за резкой неравномерности распределения землетрясений внутри широтных поясов ТО. Принимая во внимание, что землетрясения в основном происходят вдоль границ литосферных плит, а современная кинематика границ плит достаточно хорошо изучена [5, 6], мы использовали нормирование количества событий в широтном поясе на суммарную длину границ плит в данном поясе. Такой параметр характеризует сейсмическую активность на границах литосферных плит в данном широтном поясе.

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



Длина границ литосферных плит, км



**Рис. 1.** Карта ТО с границами литосферных плит (зоны спрединга помечены отрезками со стрелками) и распределение протяженности границ литосферных плит по широтным поясам для зон спрединга и субдукции.

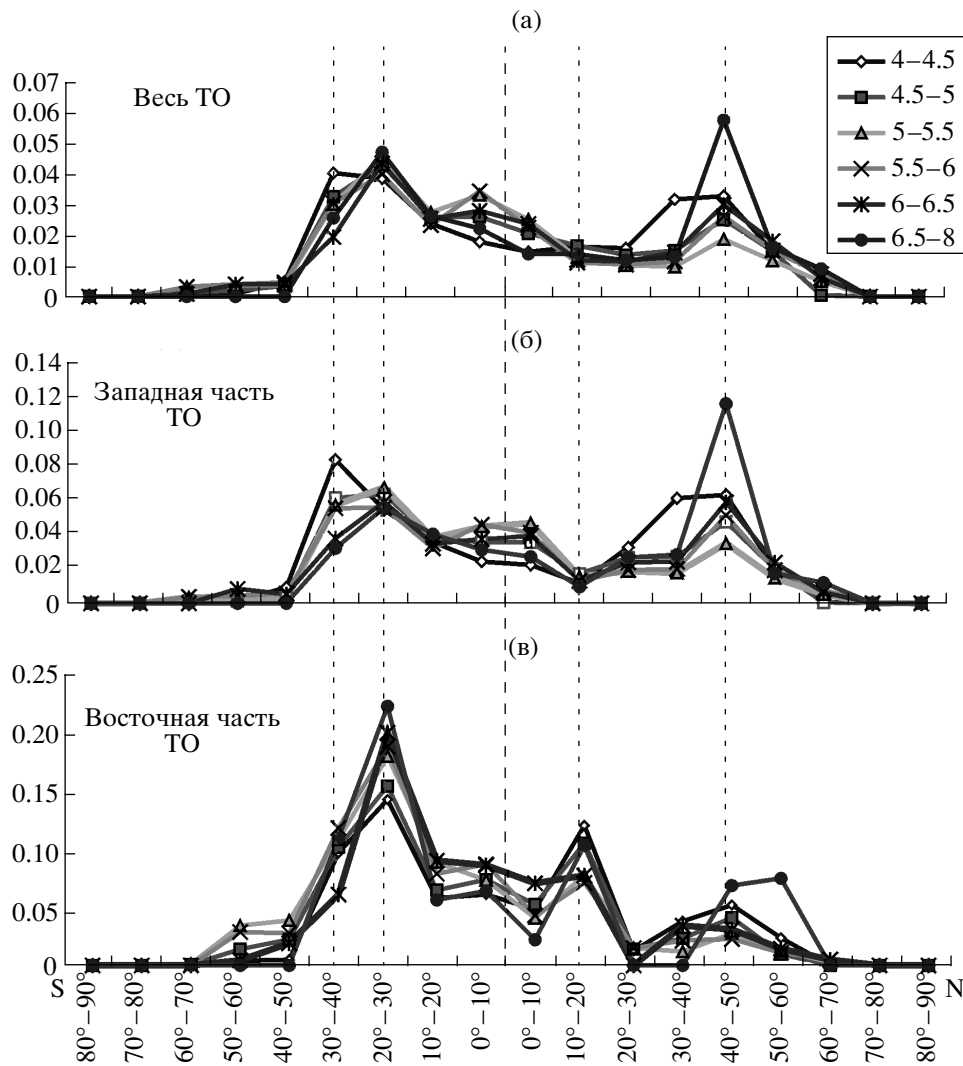


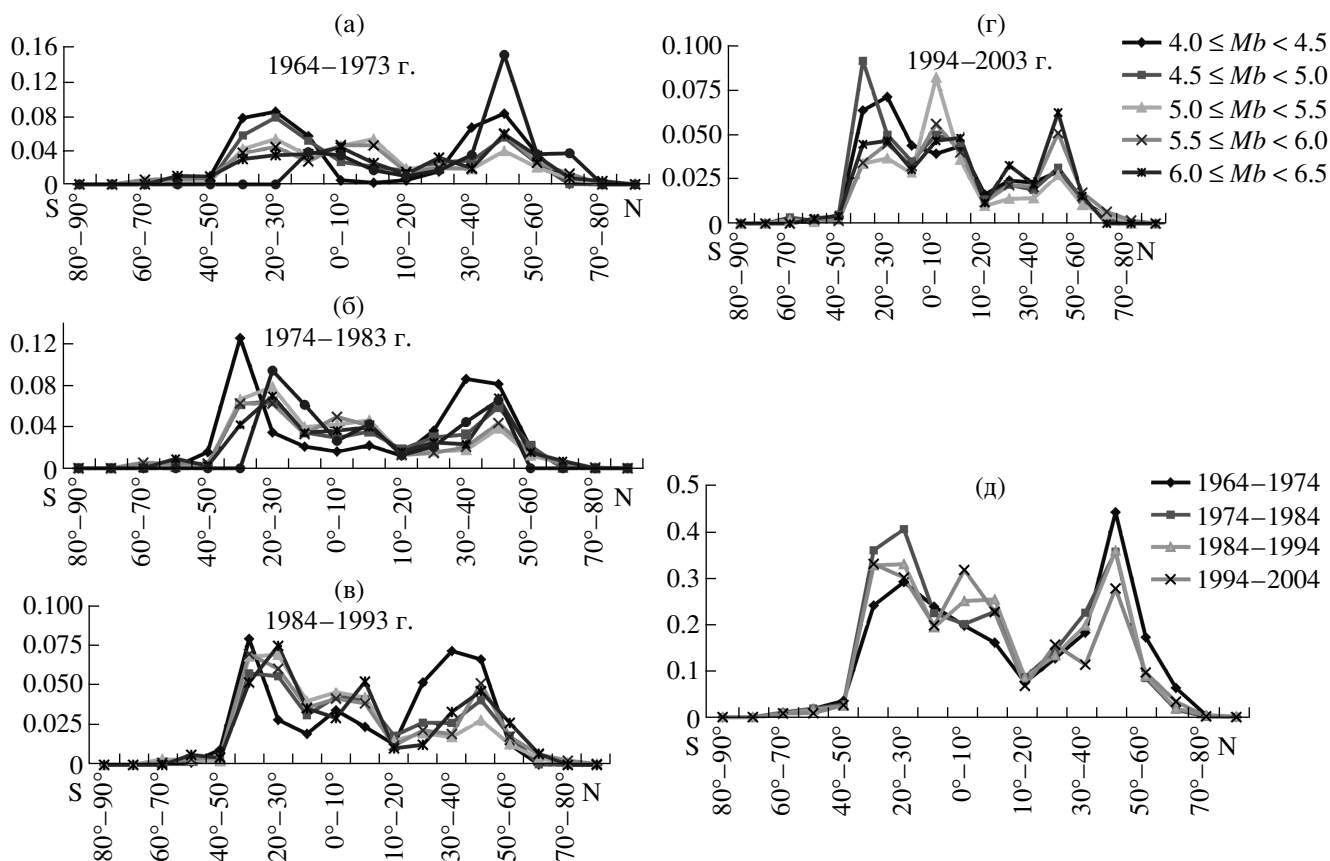
Рис. 2. Дважды нормированные широтные распределения землетрясений для ТО.

На рисунке представлена карта ТО с границами литосферных плит и широтное распределение протяженности границ плит. Распределения количества землетрясений по широтным поясам ТО, нормированного на общее количество событий в магнитудном диапазоне и на суммарную протяженность границ плит внутри интервала, а также дважды нормированные распределения событий в западной и восточной частях ТО, представлены на рис. 2. Количество землетрясений в зонах спрединга составляет не более 2% от общего количества землетрясений в каждом широтном поясе (в большинстве поясов менее 1%). Поэтому при нормировании на длину границ литосферных плит зоны спрединга не учитывались.

Вопрос об устойчивости полученных распределений во времени является одним из дискуссионных вопросов в работах по глобальной сейсмичности. Поэтому специально были проанализированы широтные распределения за 10-летние интервалы времени.

Результаты анализа для четырех 10-летних интервалов для западной части ТО приведены на рис. 3. В основном бимодальный характер распределений сохраняется на всех рассматриваемых интервалах. Наиболее выраженная устойчивость получается для широтных распределений средних значений по всем магнитудным диапазонам для четырех 10-летних временных интервалов (рис. 3д). Использование более коротких временных интервалов нецелесообразно (для сильных событий выборки будут заполнены очень слабо).

Детальный анализ полученных результатов показывает, что широтные распределения землетрясений для средних значений по всем магнитудным диапазонам и для каждого из выделенных энергетических диапазонов практически демонстрируют сохранение бимодальной формы рас-

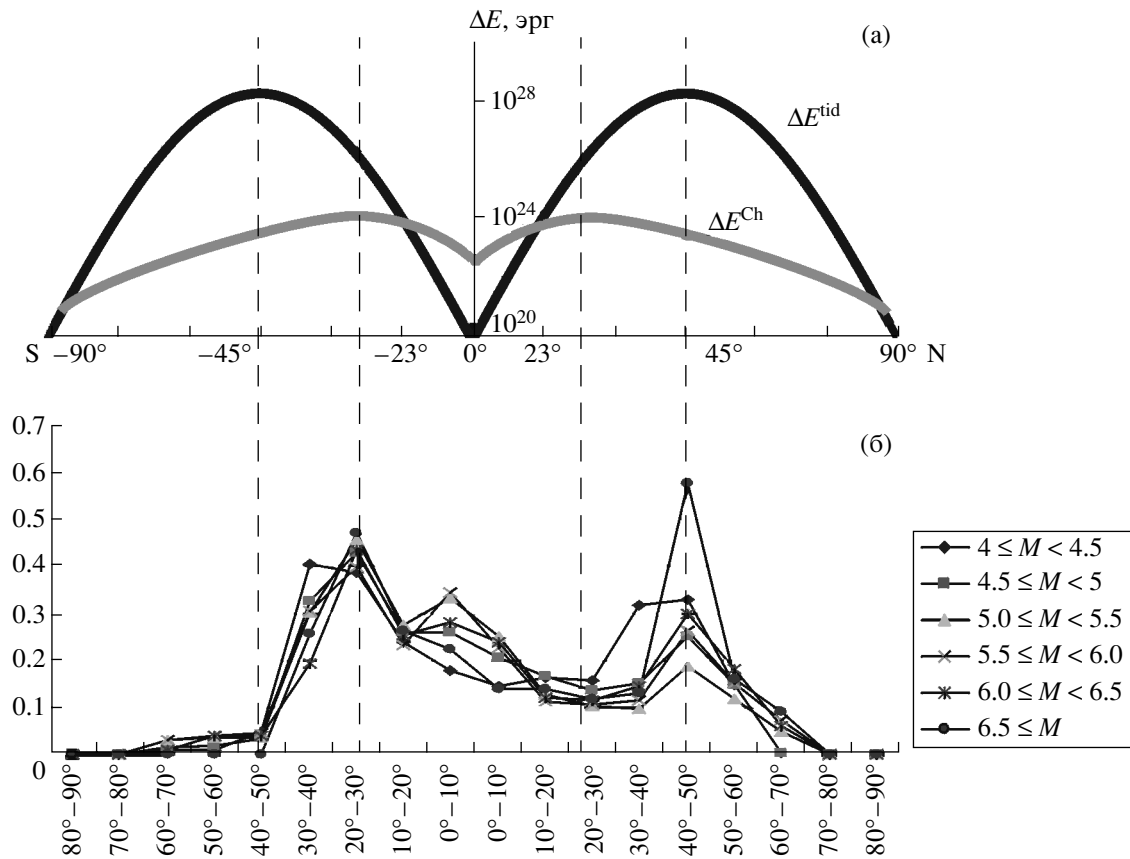


**Рис. 3.** Широтные распределения землетрясений для западной части ТО для различных интервалов времени. По горизонтальным осям – широтные интервалы; по вертикальным – относительное количество событий (после двойного нормирования). а – г – дважды нормированные распределения событий по широтным интервалам для различных магнитудных диапазонов за 10-летние периоды; кривые распределений среднего значения, вычисленного по всем магнитудным диапазонам, за четыре периода по 10 лет.

пределения. Выделяются два характерных максимума в районе средних широт, локальный минимум в районе экватора и практически нулевые значения в области полярных шапок планеты. Аналогичная картина наблюдается при раздельном анализе западной и восточной частей ТО. Интересно отметить, что амплитуды приливов и вычисленное теоретическое распределение суммарной энергии приливных воздействий на Землю со стороны Солнца и Луны [7] демонстрируют максимальные значения в районе  $45^\circ$  в северном и южном полушариях и минимальные – на экваторе и полюсах.

Такое совпадение формы распределений зарегистрированных событий и вычисленных значений приливной энергии (рис. 4) дает дополнительный аргумент в пользу давно существующей гипотезы о связи сейсмичности с приливными воздействиями [8] и вряд ли может иметь случайный характер. Статистический анализ показал, что с вероятностью большей 0.999 ни одно из приведенных широтных распределений не может быть признано равномерным.

Здесь же следует отметить, что распространенное представление о преобладающем влиянии энергии геотермического потока и конвективно-го движения масс в недрах Земли на генерацию сейсмического процесса становится уязвимым в свете представленных натуральных наблюдений. Попытки объяснить выявленную неравномерность в распределении землетрясений на планете, используя только эффекты эндогенного действия теплового потока, представляются неубедительными. Очевидно, некоторая часть сейсмических событий (преимущественно глубоких) возникает благодаря воздействию равномерно распределенной по геосферам энергии, генерированной тепловым потоком, а другая часть сейсмических событий, в основном коровых землетрясений, инициируется в значительной степени приливными процессами с их типичным распределением энергии, имеющим бимодальный характер. Устойчивость приведенных распределений землетрясений во времени (рис. 3) является также дополнительным аргументом в пользу представлений о при-



**Рис. 4.** Вверху – широтная зависимость вариаций плотности свободной энергии для приливных и чандлеровских возмущений согласно модельным представлениям [7]; внизу – распределения сейсмических событий по широтным поясам для шести магнитудных диапазонов, нормированные по длине границ литосферных плит в каждом широтном поясе и количеству событий в каждом магнитудном диапазоне.

ливном характере происхождения глобальной сейсмичности.

Авторы приносят искреннюю благодарность В.В. Адушкину, Г.С. Голицыну и Ю.И. Зецеру за полезные обсуждения и ценные рекомендации.

Работа выполнялась при частичной поддержке РФФИ (гранты 07-05-00142, 07-05-00363, 08-05-99098).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бот М. Об оценке сейсмичности. В Сб. Слабые землетрясения. М. Изд-во. иностр. лит., 1961. С. 526–528.
2. Авсюк Ю.Н., Салтыковский А.Я., Гениафт Ю.С. // ДАН. 2007. Т. 413. №1. С. 66–67.
3. Моги, К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
4. Levin B.W., Chirkov Ye.B. // Phys. and Chem. Earth. 2001. Pt C. V. 26. № 10/12. P. 781–786.
5. Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Науч. мир, 2004. 610 с.
6. Kogan M., Steblou G. // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. B04416. doi:10.1029/2007/JB005353.
7. Левин Б.В., Павлов В.П. //Физика Земли. 2003. № 3. С. 71–76.
8. Кант И. О причинах землетрясений. 1756. Сочинения в шести томах. М.: Изд. Мысль, 1964. Т. 1. С. 337–348.