

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

© 2011 г. В.Ю. Бурмин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Рассматриваются некоторые аспекты сейсмичности западной части Тихоокеанского сейсмического пояса на основе каталога NEIC за период с 1973 по 2010 гг. Выбор именно этих данных обусловлен тем, что, как показало сравнение, каталог NEIC за этот период является, по-видимому, наиболее полным и поэтому позволяет достаточно корректно делать выводы относительно различных аспектов сейсмичности земного шара, несмотря на то, что он охватывает только 38-летний период.

Из анализа сейсмичности западной части Тихоокеанского сейсмического пояса следует, что за эти 38 лет его сейсмичность не остается постоянной и ее характер существенно меняется. За последние 22 года произошло некоторое увеличение сейсмичности этого региона как по числу землетрясений, так и по высвобожденной сейсмической энергии.

Достаточно высокая сейсмическая активность связана с глубокими землетрясениями в зоне *C* на глубинах от 300 до 700 км. Последнее свидетельствует о том, что в зоне *C* мантии Земли на этих глубинах проходят интенсивные геодинамические процессы. При этом проявляется сезонная и годовая зависимость сейсмичности, что указывает на то, что на геодинамические процессы, по-видимому, существенное влияние оказывает Солнечная система.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмичность.

Введение

Анализ глобальной сейсмичности в значительной степени облегчает понимание геодинамических процессов, происходящих в недрах Земли. Опубликовано множество работ, посвященных различным аспектам сейсмичности как глобальной, так и региональной. К наиболее популярным аспектам этой темы относятся: связь сейсмичности с солнечной активностью [Сытинский, 1973, 1989]; зависимость глобальной сейсмичности от положения небесных тел, в частности Луны [Кнорфф, 1970; Хомутов, 1995]; годовая и сезонная периодичность глобальной и локальной сейсмичности [Дещеревская, Сидорин, 2004, 2005; Сидорин, 2005, 2009; Левин и др., 2005; Уломов, 2007а,б] и другие аспекты (см., например, [Левин и др., 2007]). В большей степени изучение сейсмичности в этих работах преследует прогностические цели и в меньшей геодинамические.

В данной статье рассмотрены три аспекта сейсмичности западной части Тихоокеанского региона – распределение землетрясений с глубиной, годовая зависимость и сезонная цикличность для трех диапазонов глубин: $H \leq 40$, $40 < H \leq 450$, $H > 450$ км. Вертикальные шкалы на всех рисунках даны в логарифмическом масштабе.

График повторяемости землетрясений

Для того чтобы оценить вклад слабых землетрясений ($M < 4.5$) в глобальную сейсмичность, был построен график повторяемости землетрясений (рис. 1). Закон повторяемости Гутенберга–Рихтера в прямолинейной форме записывается в виде [Магницкий, 2006]

$$\lg N = a - \gamma M, \quad (1)$$

где N – среднее число землетрясений, магнитуа которых лежит в интервале $[M - \Delta M, M + \Delta M]$; a и γ – параметры закона (графика) повторяемости.

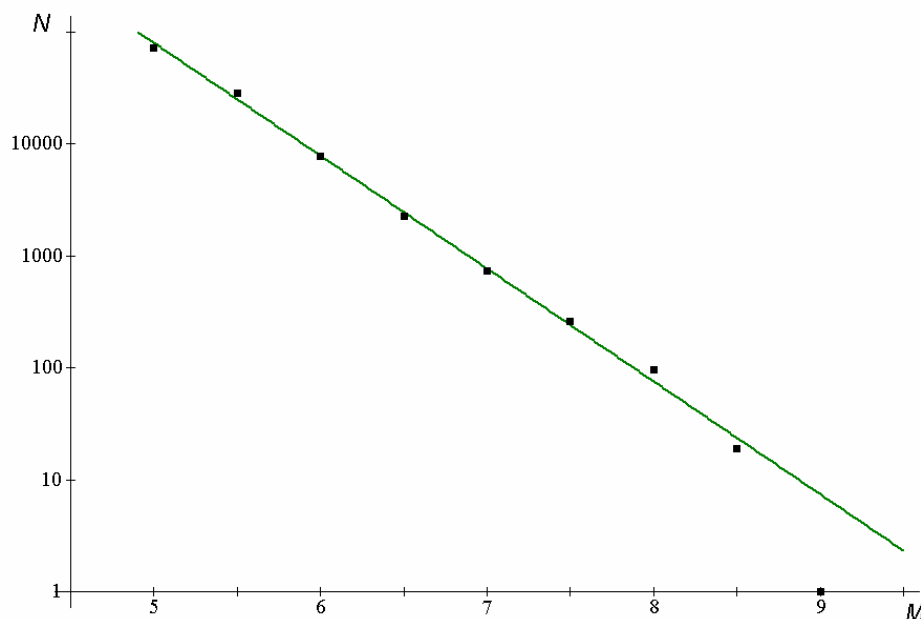


Рис. 1. График повторяемости землетрясений за период с 1973 по 2010 гг.

Как показывает анализ графика повторяемости землетрясений, построенного по данным каталога, представительны события магнитудой $M \geq 4.5$. Таким образом, мировая сеть регистрирует без пропусков события с $M \geq 4.5$. В связи с этим дальнейший анализ проводился для событий с $M \geq 4.5$, это около 101000 событий. Начиная с $M \geq 4.5$, график приобретает практически линейную форму, с небольшим заваливанием вниз начиная с магнитуды 8.0. Наклон графика повторяемости $\gamma = -1.12$, а свободный член $a = 6.66$.

Нетрудно убедиться в том, что энергетический вклад слабых землетрясений ($M \leq 4.5$) в сейсмичность весьма незначителен. Связь между магнитудой M и энергией E (в эргах), высвобождаемой при землетрясении, дается формулой Гутенберга–Рихтера [Магницкий, 2006]

$$\lg E = 9.4 + 2.14M - 0.054M^2. \quad (2)$$

Средняя энергия землетрясений в интервале магнитуд $[M_i + \Delta M]$ равна $N_i E_i$. Сложив выражения (1) и (2), получим

$$\lg N_i + \lg E_i = \lg(N_i E_i) = 19.25 + 1.1M_i - 0.054M_i^2$$

или

$$N_i E_i = 10^{19.25 + 1.1M_i - 0.054M_i^2}.$$

Просуммируем последнее выражение по всем интервалам магнитуд, тогда будем иметь

$$S = \sum_{i=n_{\min}}^{i=n_{\max}} 10^{19.25 + 1.1M_i - 0.054M_i^2}, \quad (3)$$

где n_{\min} и n_{\max} соответствуют минимальному и максимальному значениям магнитуды. Очевидно, $M_{\max} \leq 9.0$. В качестве M_{\min} можно взять произвольную малую величину. Опыт показывает, что линейный характер выражения (1) сохраняется для достаточно малых значений магнитуд (порядка -1.0) [Бурмин, 1998]. Вычисления по формуле (3) показали, что доля энергии слабых землетрясений не превосходит 0.333% от общей выделившейся сейсмической энергии за период с 1973 по 2010 гг., которая составила чуть больше 10^{25} эрг.

Распределение землетрясений по глубинам

Посмотрим, как распределяются очаги землетрясений по глубинам. На рис. 2 приведен график изменения числа землетрясений от глубины. На этом же рисунке дана кривая распределения скорости распространения продольных волн для верхней и средней мантии [Бурмин, 2004].

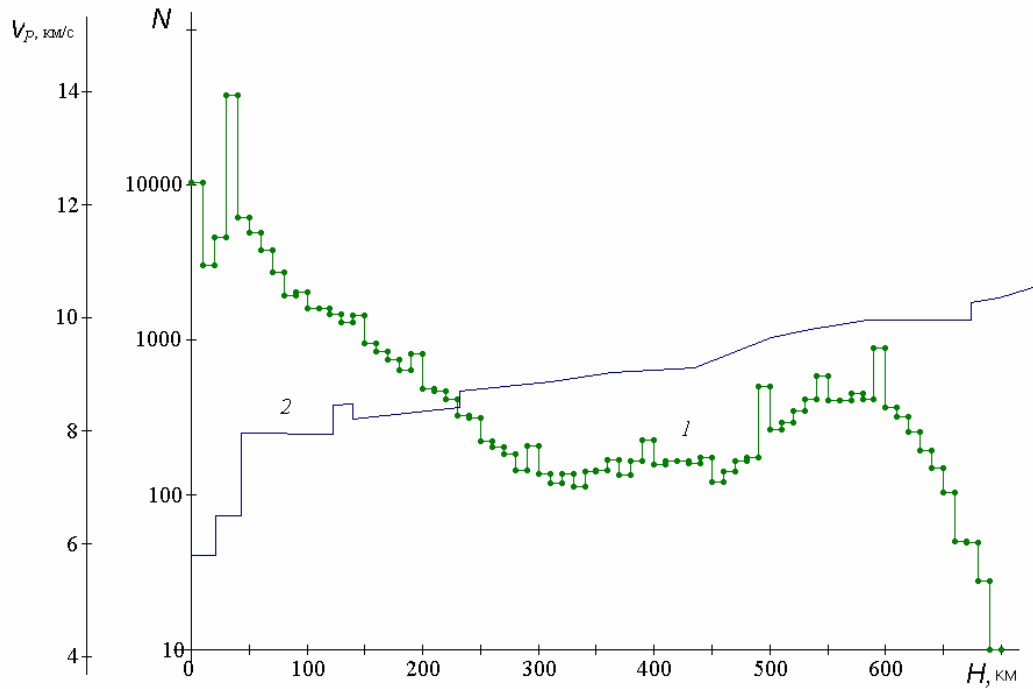


Рис. 2. Распределение числа землетрясений по глубинам (1) за период 1973–2010 гг. и скорости продольных волн в верхней и средней мантии (2)

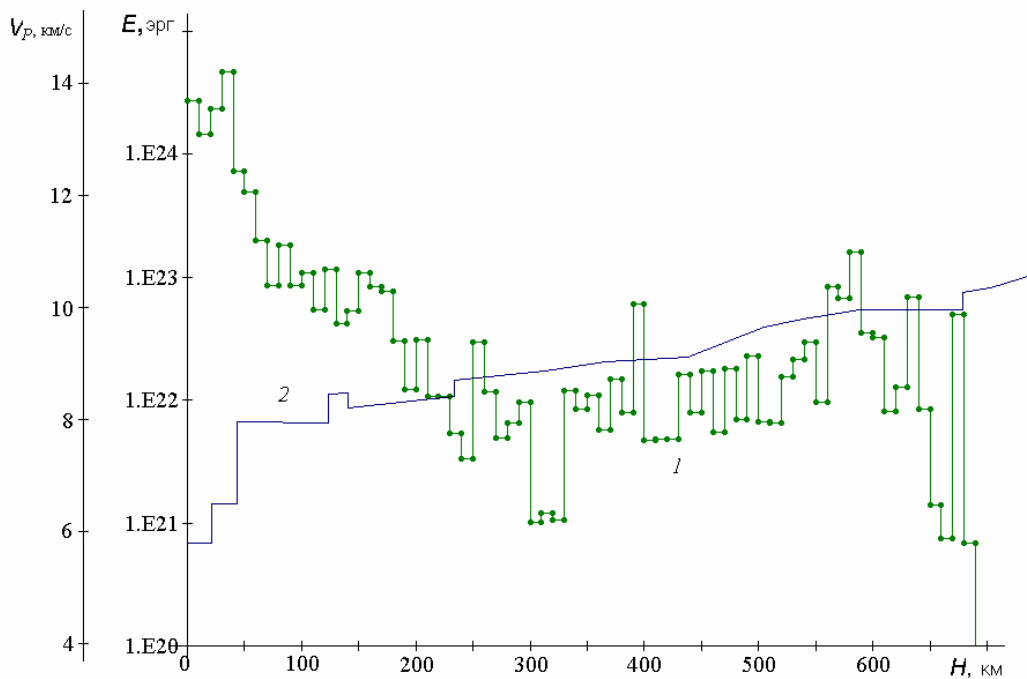


Рис. 3. Распределение сейсмической энергии землетрясений по глубинам (1) за период 1973–2010 гг. и скорости продольных волн в верхней и средней мантии (2)

На графике (рис. 2) хорошо видно, что подавляющее число землетрясений происходит в земной коре на глубинах 0–10 и 30–40 км. Затем происходит монотонное спадание числа землетрясений с глубиной, вплоть до глубин 300 км. В интервале глубин 300–450 км число землетрясений остается примерно постоянным, затем наблюдается увеличение числа землетрясений до глубин 600 км. После 600 км число землетрясений резко уменьшается.

Схожую картину можно увидеть на рис. 3, где представлено распределение высвободившейся сейсмической энергии на разных глубинах. На этом рисунке кривая распределения не такая плавная, как на рис. 2. Особенно заметны всплески сейсмической энергии на глубинах 220, 260, 400, 580, 640 и 670 км. Это свидетельствует, в частности, о том, что в зоне *C* мантии Земли на этих глубинах происходят интенсивные геодинамические процессы.

Годовая зависимость глобальной сейсмичности

Для изучения годовой зависимости сейсмичности западной части Тихоокеанского сейсмического пояса были построены графики высвобожденной сейсмической энергии от года к году.

На рис. 4 кривая 1 представляет собой кумулятивный график высвобожденной сейсмической энергии за период 1973–2010 гг., а кривая 2 показывает распределение сейсмической энергии по годам за тот же период.

На графике, представленном на рис. 4, хорошо прослеживается увеличение высвобожденной сейсмической энергии начиная с 1990 года. При этом аномальными по числу высвобожденной энергии являются 1994–1996, 1998, 2000, 2004 и 2007 годы. Заметим, что в работе [Уломов, 2007а] также отмечается увеличение сейсмичности начиная с 1994 г.

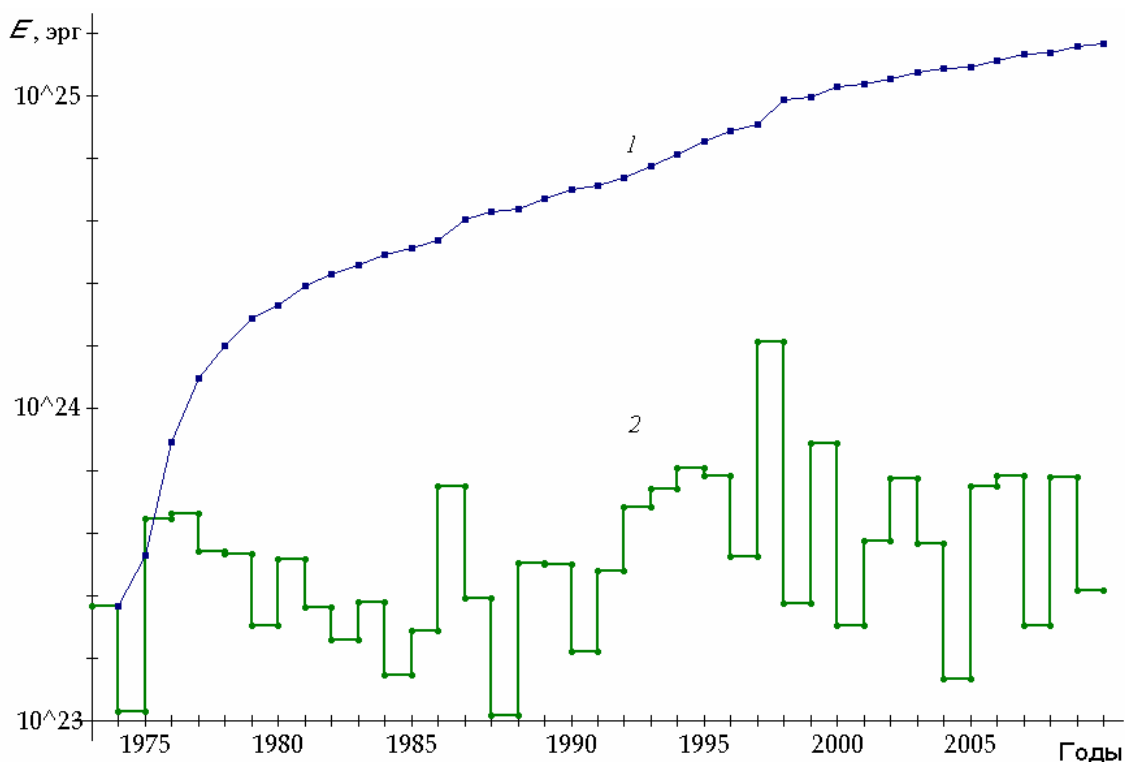


Рис. 4. Распределение сейсмической энергии землетрясений в зависимости от года (см. текст)

Сезонная зависимость глобальной сейсмичности

Интересна также зависимость сейсмической активности от времени года. Для ее рассмотрения все землетрясения были разбиты на три группы в зависимости от глубины очагов.

В первую группу вошли коровые землетрясения с глубиной очагов до 40 км. Из графика распределения числа коровых землетрясений в зависимости от месяца года за период с 1973 по 2010 гг. хорошо видно (рис. 5), что заметное увеличение числа землетрясений приходится на декабрь. В январе и феврале число землетрясений резко уменьшается. В марте число землетрясений на всех глубинах увеличивается, а в апреле резко увеличивается только число коровых ($H < 40$) землетрясений.

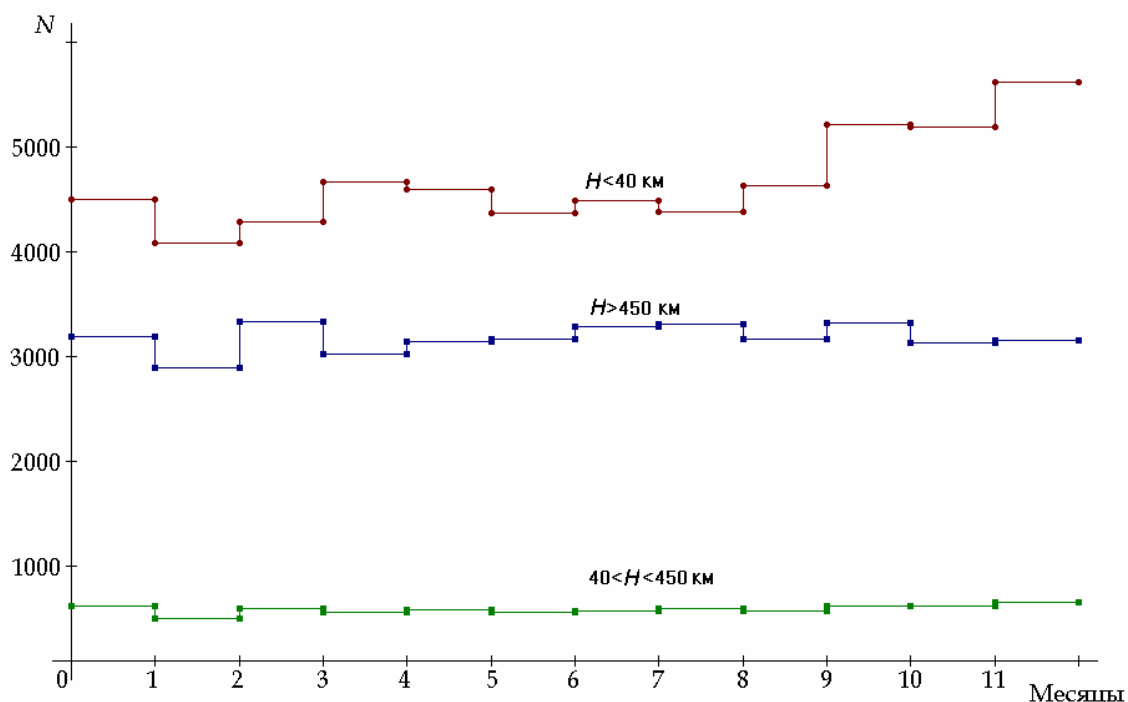


Рис. 5. Распределение числа землетрясений по месяцам за период 1973–2010 гг.

Сезонная зависимость сейсмичности для отдельных районов Тихоокеанского региона изучалась в работе [Левин и др., 2007]. В ней для большинства районов также отмечается увеличение числа землетрясений в декабре.

Распределения высвободившейся сейсмической энергии коровых землетрясений в зависимости от месяца года за период с 1973 по 2010 годы представлено на рис. 6. На этом рисунке обращает на себя внимание то, что заметное увеличение высвободившейся энергии приходится на март и ноябрь. Сравнивая графики на рис. 5 и 6, видим, что максимумы высвобожденной энергии и числа землетрясений сдвинуты друг относительно друга на один месяц. В связи с этим напрашивается вывод о том, что максимумы числа землетрясений обусловлены афтершоковыми последовательностями событий после значительных землетрясений в предыдущие месяцы. Минимум сейсмичности коровых землетрясений приходится на летние месяцы.

Для землетрясений в интервале глубин 40–450 км заметно выделяются максимумы высвободившейся сейсмической энергии в марте, ноябре и в летние месяцы (рис. 6). На рис. 6 представлен также график распределения высвободившейся сейсмической энергии для самых глубоких землетрясений с глубинами от 450 до 700 км. Минимумы сейсмичности для этих глубин приходятся на февраль, апрель, сентябрь и ноябрь.

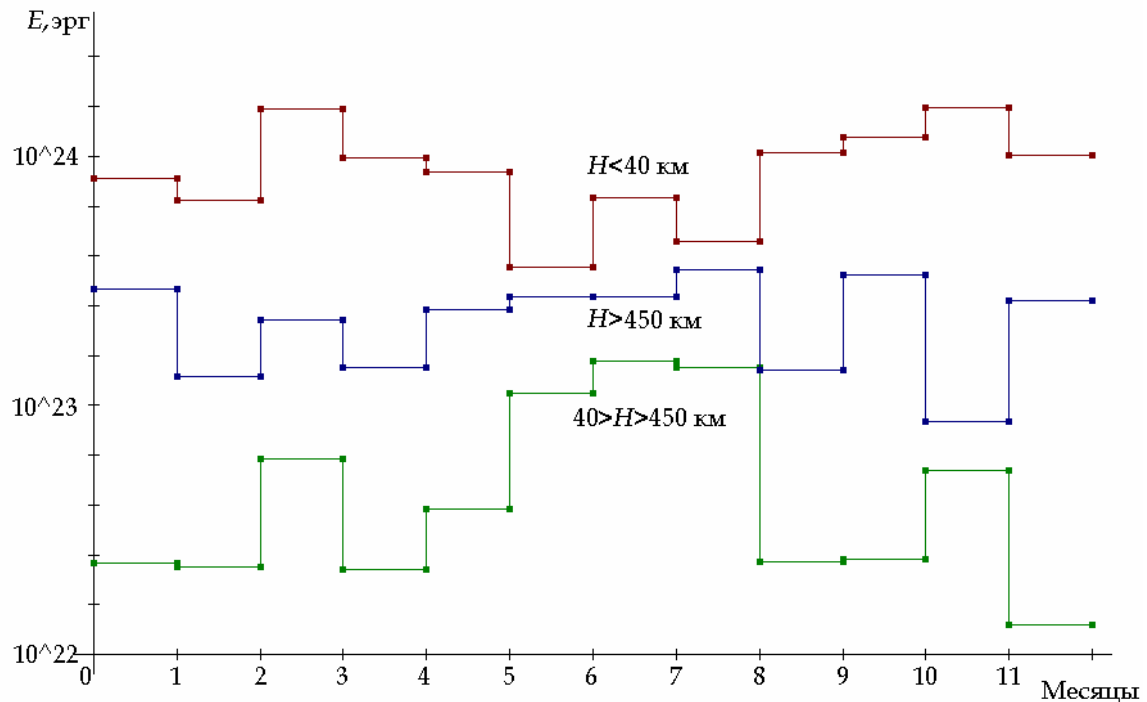


Рис. 6. Распределение сейсмической энергии землетрясений по месяцам за 1973–2010 гг.

Заключение

Несмотря на различный характер проявления сейсмичности для разных интервалов глубин, видно, что за последние 38 лет сейсмичность не только не остается постоянной, но ее характер несколько меняется. Анализ сейсмичности западной части Тихоокеанского региона показал, что за последние 20 лет произошло увеличение сейсмической активности, причем не столько по числу землетрясений, сколько по высвобожденной сейсмической энергии. Это свидетельствует о том, что в верхних оболочках Земли происходят нарастающие геодинамические процессы, которые захватывают зоны *A*, *B* и *C* и достаточно интенсивно проявляются в земной коре и на глубинах от 450 до 700 км. При этом сезонная зависимость сейсмичности указывает на то, что существенным фактором, влияющим на геодинамические процессы, является положение Земли относительно планет Солнечной системы и самого Солнца в то или иное время года.

Литература

- Бурмин В.Ю. Местные и близкие землетрясения Большого Сочи // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4/5. С.127–137.
- Бурмин В.Ю. Скорость распространения продольных сейсмических волн в мантии Земли // Физика Земли. 2004. № 8. С.34–40.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Особенности сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона с разными энергетическими и пространственными характеристиками // Сейсмические приборы. 2004. Вып.40. С.45–56.
- Децеровская Е.В., Сидорин А.Я. Ложная годовая периодичность землетрясений, обусловленная сезонными изменениями помех // Докл. РАН. 2005. Т. 400, № 6. С.798–802.
- Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А. Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса для Тихоокеанского региона // Докл. РАН. 2005. Т. 403, № 4. С.534–540.
- Левин Б.В., Родкин М.В., Сасорова Е.В. О возможной природе сейсмической границы на глубине 70 км // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 1. С.101–104.

- Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
- Сидорин А.Я. Годовая и суточная периодичность землетрясений Нурекского района // Геофизические исследования. 2005. Вып. 4. С.99–114.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 4. С. 69–84.
- Сытинский А.Д. О связи сейсмичности Земли с солнечной активностью // Успехи физ. наук. 1973. Т. 3, вып. 2. С.367–369.
- Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С.13–30.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // Докл. РАН. 2007а. Т. 414, № 3. С.398–401.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли. 2007б. № 9. С.3–17.
- Хомутов С.Ю. Исследование зависимости глобальной сейсмичности от положения луны // Геология геофизика. 1995. Т. 36, № 4. С.88–102.
- Knopoff L. Correlation of earthquakes with lunar orbital motions // Moon. 1970. V. 2. P.140–143.

Сведения об авторе

БУРМИН Валерий Юрьевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: (499) 254-68-95. E-mail: burmin@ifz.ru

SOME REGULARITIES OF SEISMICITY IN WESTERN PART OF THE PACIFIC OCEAN

V.Yu. Burmin

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Some aspects of seismicity in a western part of the Pacific seismic belt are considered on the basis of the catalog NEIC for the period 1973–2010. The selection just of these data is conditioned by that, as a comparison of various data has shown, the catalog NEIC for this period is, apparently, the fullest one and therefore allows making conclusions on rather different aspects of global seismicity correctly, in spite of the fact that it encompasses only 38 years. We revealed that the characteristics of seismicity in a western part of the Pacific seismic belt essentially varied and seismicity increased, both in number of earthquakes and in releases of seismic energy, for the last 22 years. Rather high seismic activity is connected to deep earthquakes in zone *C* on depths from 300 up to 700 km. These facts testify of intensive geodynamic processes in this zone of the Earth's mantle. The observed seasonal and annual seismicity changes can be explained by geodynamic processes apparently related to essential influence of the solar system.

Keywords: earthquakes, seismicity.