

УДК 550.348.64

## О ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗЕМЛИ В ПЕРИОД 1965–2005 гг.

© 2007 г. В. И. Уломов

Представлено академиком А.О. Глико 14.09.2006 г.

Поступило 19.09.2006 г.

На основе новой методологии выявлены значительные изменения сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг., заключающиеся в уменьшении в три и более раз частоты возникновения крупных землетрясений в 11-летний интервал времени с 1982 по 1993 г. с их последующей интенсивной активизацией во всем диапазоне глубин расположения сейсмических очагов.

Сейсмический режим традиционно изображается в форме графиков повторяемости землетрясений различных магнитуд, а при изучении развития сейсмических процессов во времени обычно рассматривается общее число и суммарная энергия всех произошедших землетрясений. Такое интегральное представление о сейсмическом режиме нивелирует природные особенности его пространственно-временного развития и тем самым затрудняет их изучение [1, 2].

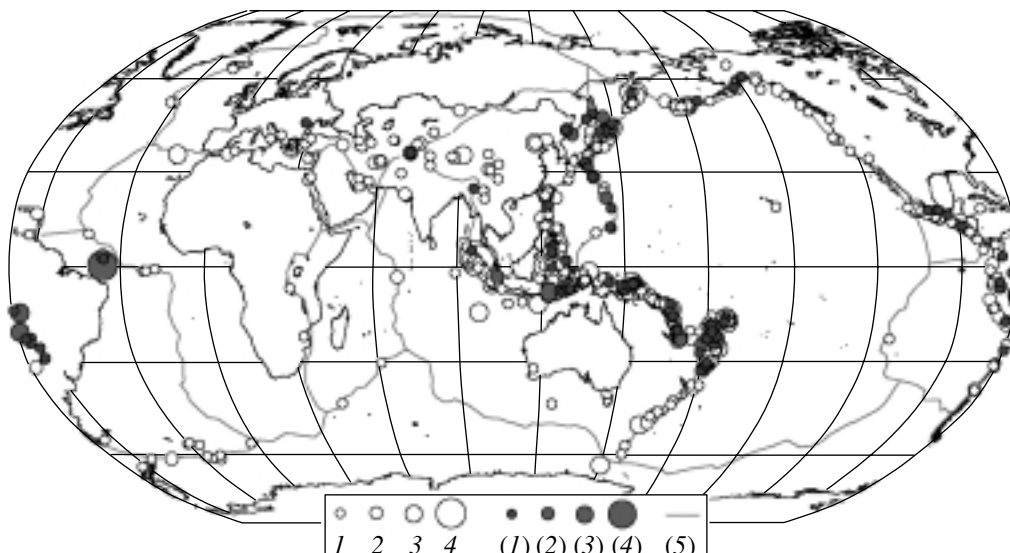
Полученные автором результаты основаны на принципиально новом методологическом подходе к изучению сейсмического режима, в котором поток сейсмических событий анализируется по интервалам магнитуд, отражающим иерархическую природу блоковой структуры геологической среды. Объектом исследований явились последовательности возникновения в период 1965–2005 гг. на всем земном шаре крупных землетрясений, дифференцированных по интервалам магнитуд  $M = 7.0 \pm 0.2$ ,  $7.5 \pm 0.2$ ,  $8.0 \pm 0.2$  и  $8.5 \pm 0.2$ , перекрывающим широкий энергетический диапазон – от  $M = 6.8$  по  $M = 8.7$  (рис. 1). В последний интервал вошли также два самых крупных землетрясения с  $M = 8.8$ . Общее число событий превысило 600. Интервалы шириной  $\pm 0.2$  единицы  $M$  включают в себя и погрешности в определении этой величины. Шаг в 0.5 единицы  $M$  также имеет физический смысл, поскольку обусловлен иерархическим строением разломно-блоковой среды [3–6]. Здесь и далее магнитуда  $M$  соответствует маг-

нитуде  $M_s$ , определенной по поверхностным сейсмическим волнам.

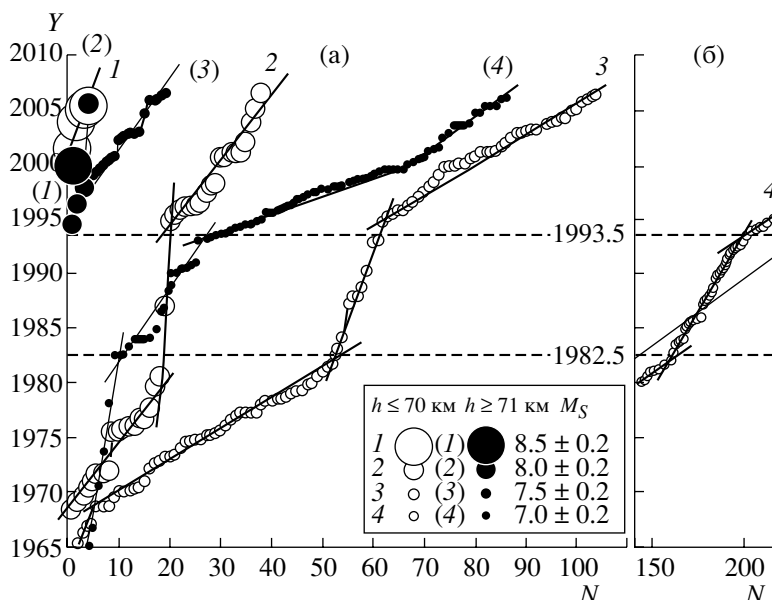
За 40-летний период времени, начиная с 1965 г., в мировых каталогах не пропущено ни одного сейсмического события во всем рассматриваемом диапазоне магнитуд и глубин расположения сейсмических очагов, а в использованном автором каталоге ANSS [7] все эти данные предельно упорядочены.

На рис. 2 приведены кумулятивные графики, характеризующие скорость накопления во времени сейсмических событий в рассматриваемых интервалах магнитуд. Вдоль оси абсцисс отложены порядковые номера  $N$  в последовательности очередных землетрясений, а по оси ординат – годы  $Y$  их возникновения. События с гипоцентрами не глубже  $h = 70$  км назовем для краткости мелкофокусными, а с  $h > 70$  км – глубокофокусными. Жирные отрезки аппроксимируют точечные данные о мелкофокусных, а тонкие – о глубокофокусных землетрясениях. При этом линейная аппроксимация характеризуется высоким коэффициентом корреляции (0.9 и более). Справа из-за очень большого числа мелкофокусных землетрясений с  $M = 7.0 \pm 0.2$  приведен лишь фрагмент такого графика. Его горизонтальный масштаб для удобства сравнения сжат примерно в 2.5 раза. Тонкая линия аппроксимирует всю совокупность этих событий за весь 40-летний период времени, а жирная построена аналогично остальным графикам.

Угол наклона отрезков прямых характеризует скорость накопления сейсмических событий соответствующих магнитуд. Чем выше прямая, тем выше скорость. Увеличение крутизны отражает уменьшение частоты возникновения землетрясений. Если бы землетрясения происходили с одинаковой частотой в каждой из последовательностей, то абсолютно все моменты времени их возникновения, в том числе и в течение всего рассматриваемого 40-летнего периода, располагались бы строго на прямых линиях. В реальности же наблюдаемые отклонения обусловлены нелинейным развитием геодинамических процессов, влияющим на напряженно-деформированное состояние среды и на проявление сейсмичности. В региональ-



**Рис. 1.** Эпицентры крупных землетрясений на земном шаре в период 1965–2005 гг. 1–4 – землетрясения с магнитудами  $7.0 \pm 0.2$ ,  $7.5 \pm 0.2$ ,  $8.0 \pm 0.2$  и  $8.5 \pm 0.2$  и с гипоцентрами не глубже  $h = 70$  км; (1)–(4) – землетрясения таких же магнитуд и с  $h > 70$  км; 5 – границы литосферных плит. Из государственных границ показана лишь граница России.



**Рис. 2.** Кумулятивные графики накопления планетарных сейсмических событий с магнитудами  $7.0 \pm 0.2$ ,  $7.5 \pm 0.2$ ,  $8.0 \pm 0.2$  и  $8.5 \pm 0.2$ , произошедших в период 1965–2005 гг. 1–4 – прямолинейная аппроксимация моментов возникновения землетрясений с гипоцентрами не глубже 70 км; (1)–(4) – то же для сейсмических событий с гипоцентрами глубже 70 км.

ных условиях это было показано нами в работах [3–6, 8], а в глобальном масштабе рассмотрено здесь впервые.

Анализ конфигурации графиков позволяет обнаружить особенности развития глобальных сейсмогеодинамических процессов во времени. Прежде всего это относится к существенному замедлению возникновения всех мелкофокусных

землетрясений в течение примерно 11-летнего промежутка времени – от середины 1982 до середины 1993 г., ограниченного на рис. 2 горизонтальными штриховыми линиями. Такое замедление отчетливо видно и на фрагменте графика для  $M = 7.0 \pm 0.2$ . Примечательно, что смена скорости накопления событий произошла довольно быстро, что выражается в резком изломе графиков на

концах этого аномального участка. Как до, так и после относительного сейсмического затишья частота возникновения мелкофокусных землетрясений не только значительно выше, но и сохраняется практически одну и ту же скорость накопления событий.

В табл. 1, с целью сравнения частоты возникновения землетрясений рассматриваемых магнитуд показано число событий за равные 11-летние интервалы времени – до, в период и после сейсмического затишья. При этом всюду отсчет ведется от середины года, как и в аномальный период сейсмического затишья. Видно, что в интервале 1982.5–1993.5 гг. землетрясения с  $M = 7.0 \pm 0.2$  и  $M = 7.5 \pm 0.2$  возникали в 3–4 раза, а с  $M = 8.0 \pm 0.2$  – в 10 и более раз реже по сравнению с предыдущими и последующими 11-летними интервалами. Самые крупные сейсмические события с  $M = 8.5 \pm 0.2$  и более, вообще отсутствовавшие в двух первых интервалах, с 2001 по 2005 г. стали происходить практически ежегодно. В их числе катастрофические землетрясения у берегов Суматры 26 декабря 2004 г. с  $M = 8.8$  и 28 марта 2005 г. с  $M = 8.5$ , сопровождавшиеся гигантскими цунами и многочисленными жертвами. До этого момента крупнейшим на земном шаре было землетрясение с  $M = 8.5$  на Аляске в 1964 г., после которого фактически и начался рассматриваемый нами 40-летний интервал времени.

Другим не менее важным обстоятельством является то, что глубокофокусная сейсмическая активность возникла практически сразу же после всеобщего затишья мелкофокусной сейсмичности. При этом землетрясения с магнитудой  $M = 7.5 \pm 0.2$  и выше до этого момента вообще не наблюдались, а в заключительный интервал времени возникло сразу 12 землетрясений с  $M = 7.5 \pm 0.2$ , четыре – с  $M = 8.0 \pm 0.2$  и одно с  $M = 8.8$ . Последнее было уникальным по величине магнитуды и случилось в Атлантическом океане на глубине около 90 км у восточных берегов Южной Америки. Землетрясения же с  $M = 7.0 \pm 0.2$  вплоть до своей заключительной активной стадии происходили очень и очень редко. Так, если с середины 1993 г. и позже они возникали почти по 5 событий ежегодно, то в период сейсмического затишья их частота была в 2.5 раза, а до этого даже в 26.5 раз меньше.

Средняя величина частоты возникновения мелкофокусных и глубокофокусных землетрясений в соответствующих интервалах магнитуд, приведенная в табл. 1, практически совпадает с аналогичными величинами, снятыми с интегральных графиков повторяемости землетрясений земного шара. Это обстоятельство так же, как и полнота анализируемого каталога землетрясений, подтверждает реалистичность полученных результатов.

**Таблица 1.** Количество землетрясений разных магнитуд  $M$  в 11-летние интервалы времени до, в период и после сейсмического затишья

У, годы	$M = 7.0 \pm 0.2$	$M = 7.5 \pm 0.2$	$M = 8.0 \pm 0.2$	$M = 8.5 \pm 0.2$
Глубина гипоцентров $h \leq 70$ км				
1993.5–2005.5	141	39	17	4
1982.5–1993.5	40	9	1	0
1971.5–1982.5	111	36	12	0
Среднее	97	28	10	~1
Глубина гипоцентров $h > 70$ км				
1993.5–2005.5	53	12	4	1
1982.5–1993.5	22	0	0	0
1971.5–1982.5	2	0	0	0
Среднее	26	4	~1	~0

Природа наблюдаемого явления планетарных изменений сейсмического режима может быть объяснена с позиций современных представлений о глобальной геодинамике литосферных плит, наиболее ярким проявлением которой и является сейсмичность. Так, события с  $h > 70$  км (черные кружки на рис. 1 и 2) связаны с погружением литосферных плит в верхнюю мантию Земли в зонах субдукции, в островных дугах на периферии океанов, а также в реликтах таких зон на континентах [3, 5]. Мелкофокусные очаги (белые кружки) распространены в основном на континентах и в океанических рифтовых зонах. Вместе с тем возникновение тех и других, несомненно, обусловлено единым сейсмогеодинамическим процессом, охватывающим всю планету в целом.

Для объяснения наблюдаемой картины глобальной сейсмогеодинамики в рассматриваемый 40-летний период времени не исключены, по меньшей мере, два следующие сценария. Так, можно полагать, что всеобщее сейсмическое затишье в этот период было обусловлено медленным (криповым) и практически асейсмичным погружением литосферы в зонах субдукции, ослабляющим общую напряженность в литосферной оболочке Земли и уменьшающим в ней число сейсмических подвижек. Вследствие временного отсутствия значительных зацепов на плоскостях скольжения не возникают крупные землетрясения и в зонах субдукции.

По другому сценарию наблюдаемое всеобщее сейсмическое затишье, наоборот, связано с накоплением геодинамических напряжений в литосфере континентов и океанов, в том числе и в результате замедления процессов погружения литосферы в зонах субдукции. После же возобновления активной субдукции наступает всеобщая разрядка литосферных напряжений и активизируется весь диа-

пазон глубин. Возможны и иные объяснения. Тем не менее наблюдаемое ярко выраженное затишье и другие изменения сейсмического режима во всем диапазоне глубин расположения сейсмических очагов является неопровержимым фактом, и природа этого явления кроется в особенностях геодинамического развития планеты.

Земле, развивающейся в сильно неравновесных условиях, свойственны явления самоорганизации [9, 10]. Глобальные колебательные режимы литосферы обусловлены процессами приспособления объемов геологической среды к длительным силовым воздействиям планетарного масштаба. С этих позиций чередование роста упругих напряжений с их последующей разрядкой в виде медленных деформаций и быстрого сброса напряжений в очагах землетрясений оказывается самым экономным самоорганизующимся режимом геодинамики, поскольку он складывается из последовательного повторения однотипного явления. И хотя геодинамическая система изменяет свое состояние непрерывно, Земля в целом находится в динамическом равновесии, которому и способствует наблюдаемая периодичность.

Процессы накопления и разрядки геодинамических напряжений сменяют друг друга, отражая тем самым дискретно-континуальную природу динамики земной коры и всей литосферы. Эти процессы и явления могут найти отражение и в региональной сейсмогеодинамике. Они должны учитываться и в исследованиях по долгосрочному прогнозу сильных землетрясений.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН “Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы” (направление 1 “Сейсмические процессы и катастрофы”), а также Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04–05–64912).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сытинский А.Д.* // ДАН. 1987. Т. 295. № 2. С. 339–342.
2. *Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П.* // Физика Земли. 1998. № 7. С. 85–90.
3. *Уломов В.И.* Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН, 1974. 218 с.
4. *Уломов В.И.* // Физика Земли. 1993. № 4. С. 43–53.
5. *Уломов В.И.* В кн.: Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН, 1993. В. 1. С. 24–44.
6. *Уломов В.И.* // Вулканология и сейсмология. 1999, № 4/5. С. 6–22.
7. The Advanced National Seismic System catalog – ANSS. <http://www.ncedc.org/anss/>.
8. *Уломов В.И., Данилова Т.П., Медведева Н.С., Полякова Т.П.* // Физика Земли. 2006. № 7. С. 17–33.
9. *Уломов В.И.* В кн.: Сейсмичность территории Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1990. С. 184–199.
10. *Гольдин С.В.* // Физ. мезомеханика. 2002. Т. 5. № 5. С. 5–22.