



Statistical investigation of earthquake sequences on different regions in the world

Статистическо изследване на последователности от земетресения от различни региони по света

*Elisaveta Marekova¹, Boyko Rangelov², Dragomir Gospodinov²
Елисавета Маркова¹, Бойко Рангелов², Драгомил Господинов²*

¹ Plovdiv University "P. Hilendarsky", 24 Tzar Assen Str., 4000 Plovdiv; E-mail: eligeo@uni-plovdiv.bg

² Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia;
E-mail: boyko.rangelov@geophys.bas.bg; drago_pld@yahoo.com

Abstract. The ideas about the discrete seismic phenomena and processes and the attempts for their quantitative study during the last few years have established themselves as a modern tendency with developing methods for its investigation. On the other hand, the chosen regions are of a high seismic activity and have a good contemporary network for recording of the seismic events along them. The purpose of this investigation is to describe analytically the seismic process in space and time at some active regions in the world. We consider the statistical distributions of the distances and times between each two consecutive earthquakes (so called pair analysis). The main aim of this approach is to create formal criteria for recognition of the different sources and strong earthquakes in different tectonic active areas.

Key words: earthquakes, pair analysis, analytical approximation

Въведение

Изследването на пространственото и времевото разпределение на земетресенията е с фундаментална важност за тяхното предсказване, разбирането физиката на земетръсния източник, включително регионалните и локални тектонски процеси. Неслучайните пространствени картини на земетръсната поява позволяват да се определят подповърхностни разломни плоскости, да се описват размерите на земетръсното разрушение и да се характеризира разломната кинематика върху широки области. Земетръсната поява във времето има сложен характер, както се вижда при поява на рове от земетресения, последователности главен трус — афтершоци, сеизмично „затишие“, миграция на сеизмичната активност. Проведените изследвания по апроксимация на статистически разпределения на параметрите на последователни сеизмични събития (разстояния и времена между тях), показва наличието на характеристични функции, които ги описват най-добре. Разгледани са два случая — независими земетресения от някои сеизмогенни райони на Земята и афтершокови редици на някои силни съвременни земетресения.

Методика

За изследването са използвани различни каталози, публикувани или достъпни по Internet. Изходните данни за различните сеизмоактивни облас-

ти са подбрани така, че да съдържат съизмерим брой събития със съизмерима точност на определените параметри на земетресенията. В повечето случаи са използвани данните след 1900 година до наши дни. Изчислени са разстоянията между епицентрите и разликите във времето на реализация за всяка двойка последователни събития от изходния каталог със земетресения. С данните, получени от първичната обработка, са построяват съответните хистограми на разпределенията по разстояния и по време. Най-голямо внимание беше отделено на апроксимирането на получените емпирични разпределения с аналитични такива. При апроксимацията на разпределенията по разстояния за първия тип - независими събития — аналитичният вид се задава чрез $f(x) = c_x \cdot x^{p-1} \cdot (1-x)^{q-1}$. Параметрите на разпределението p, q са $p > 0, q > 0$, а променливата $x — 0 \leq x \leq 1$ (Мостеллер, Тьюки, 1982). Аналогична процедура е използвана и при апроксимирането на хистограмите за времевите интервали между двойките земетресения. Аналитичният вид на използваната крива е: $f(x) = c_t \cdot \theta \cdot \exp(-\theta \cdot t)$, което представлява експоненциално разпределение с параметър θ (Кокс, Льюис, 1969). Ролята на c_t и c_x е на „нормиращи множители“. За установяване статистическа независимост между изследваните двойки събития е приложена предварителна филтрация на афтершоковите събития с използване на про-

Таблица 1. Параметри на апроксимиращите функции за разпределенията по последователни разстояния и интервали време

No	Район, прозорец	N _{зем}	Период	M _c	c _x	p _x	q _x	θ _{ср} (бр./ден)	θ (бр./ден)	c _t
1.	Charlevoix, Canada (47.2-48 °N, 69.6-70.5 °W)	101	1907-1992	3.0	0.42 (±0.09)	1.37 (±0.10)	2.08 (±0.19)	0.0033	0.0039 (±0.0002)	310 (±6)
2.	Imperial Valley, CA,USA (32.5-33.2 °N, 115-115.7 °W)	134	1906-1974	3.5	0.28 (±0.14)	1.14 (±0.23)	1.85 (±0.46)	0.0062	0.0072 (±0.0009)	1018 (±150)
3.	West Quebec, Canada (44-47.5 °N, 72.0-77.5 °W)	218	1903-1992	3.0	1.00 (±0.76)	1.59 (±0.31)	3.27 (±0.87)	0.0069	0.0095 (±0.0008)	127 (±5)
4.	Lower St.Lawrence, Canada (46-50.2 °N, 65-69 °W)	150	1938-1992	3.0	0.10 (±0.04)	0.68 (±0.13)	1.63 (±0.38)	0.0075	0.0128 (±0.0082)	149 (±5)
5.	Garm, Asia (38.5-39.5 °N, 70-71.6 °E)	716	1924-1989	3.0	0.40 (±0.09)	1.51 (±0.09)	2.87 (±0.24)	0.0298	0.0782 (±0.0007)	28.0 (±0.1)
6.	Toktogul, Asia (39.2-43.5 °N, 69.2-77 °E)	1215	1929-1991	3.3	0.54 (±0.25)	1.24 (±0.16)	3.54 (±0.65)	0.0529	0.0750 (±0.0056)	106 (±8)

Таблица 2. Параметри на апроксимиращите функции за разпределенията по последователни разстояния и интервали време на изследваните афтершокови серии

No	Земетресение, период	M _{гл.} трус	M _c	броя събития	a _x	b _x	c _x	a _t	b _t	c _t
1.	St.Elias, Canada (28.02-30.03.79)	7.1	3.0	174	0.17 (±0.09)	0.29 (±0.30)	0.04 (±0.02)	0.081 (±0.26)	0.707 (±0.111)	-
2.	Landers, California (28.06.92-31.12.93)	7.3	3.0	802	0.45 (±0.13)	-0.25 (±0.17)	0.01 (±0.01)	2.40 (±0.15)	4.21 (±0.29)	0.007 (±0.002)
3.	Andreanof Island '96, Alaska (10.06.96-23.12.98)	7.7	4.5	179	0.20 (±0.07)	0.13 (±0.16)	0.014 (±0.004)	0.37 (±0.02)	0.71 (±0.06)	-
4.	Aegean '82 (18.01.82-05.04.83)	6.9	3.5	77	0.08 (±0.03)	1.27 (±0.30)	0.13 (±0.02)	0.28 (±0.02)	1.27 (±0.08)	0.060 (±0.006)
5.	Albania (15.04.79-10.10.79)	7.2	3.0	461	0.24 (±0.08)	0.37 (±0.14)	0.03 (±0.01)	0.12 (±0.01)	2.84 (±0.12)	0.011 (±0.003)
6.	Strazica, BG (07.12.86-11.05.87)	5.7	2.0	123	0.06 (±0.02)	2.06 (±0.28)	0.31 (±0.04)	0.14 (±0.03)	0.40 (±0.08)	-

странствено — временния прозорец на Reasenber (1985), реализиран в програмата Zmap (Wiemer, 2001). Анализът на двойките последователни земетресения е приложен и за няколко добре документирани афтершокови серии, описани в таблица 2. За изследване са поставени също статистическите разпределения на разстоянията и времето между всеки две последователни събития от афтершоковите редици. Техните емпирични хистограми са апроксимирани с аналитични разпределения. Такива се оказаха за разстоянията между двойките събития от афтершоковите серии: $f(x) = a_x \cdot x^{c_x} \cdot \exp(-b_x \cdot x)$, а за интервалите от време: $f(t) = a_t \cdot t^{-b_t} + c_t$.

Резултати

В таблица 1 са описани избраните зони, периода, който обхваща всеки каталог, броя на съби-

Литература

Кокс, Д., П. Льюис. 1969. *Статистически анализ последователности събитий*. М., Мир, 312 с.
Мостеллер, Ф., Дж. Тьюки. 1982. *Анализ данных и регрессия*. М., Финансы и статистика, вып. 1, 2.

тията в него, както и минималния магнитуд на използваните събития. В таблица 2 са описани изследваните афтершокови серии — магнитуд на главния трус, продължителност, брой на земетресенията в редицата и минималния използван магнитуд за серията.

Съществува реална перспектива, получена в резултат от проведените изследвания, предлаганата методика да намери приложение за формално разграничаване на земетресения от различни сеизмогенни зони и/или на афтершокови редици на различни земетресения, както и за количествена оценка на надеждността на това разграничаване.

Благодарности: Част от изследванията са проведени с финансовата подкрепа на Фонд „Научни изследвания и мобилни проекти“ на Пловдивския университет — договор 07-Ф-18.

Reasenber, P. 1985. Second-order moment of Central California siesmicity, 1969—1982. — *J. Geophys. Res.*, 90, 5479—5495.

Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: Zmap. — *Seism. Res. Let.*, 72 (2), 373—382.