



Space-temporal variations of seismicity in Sofia seismic zone during the period 1985-2014

D.Solakov¹, S.Simeonova¹, L.Hristoskov¹, P.Raykova¹, M.Popova¹

¹National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-BAS,

Acad. G .Bonchev str., bl.3, BG-1113 Sofia, Bulgaria

e-mails: dimos@geophys.bas.bg, stelas@geophys.bas.bg, plamena.raikova@gmail.com, m.popova022@gmail.com

Abstract: In seismically active regions of the planet, including Bulgaria, earthquakes and their consequences are the most catastrophic natural disasters. The human necessity of being protected and to respond to the earthquake disastrous consequences moves the seismological science forwards. The effects of earthquakes are function of a number of random factors ranging within broad limits, which should be adequately modelled on the basis of physical considerations, and the available seismic data. Modelling of space-temporal and energy distribution of earthquakes is a major problem of modern seismological research. In the present study the space-temporal variations of seismicity in Sofia seismic area for a time period of thirty years is analyzed.

Keywords: Seismicity, aftershock, Sofia seismic area

Пространствено-времени вариации на сеизмичността, реализирана в Софийска зона през периода 1985-2014 г.

Д. Солаков, С. Симеонова, Л. Христосков, П. Райкова, М. Попова

Въведение

В съвременен плейт-тектонски аспект територията на България принадлежи към южната крайнина на Евразийската плоча. Геодинамиката на региона се определя основно от субдукцията на Африканската плоча в зоната на Егейската арка и колизията на Арабската плоча с Евразийската. Територията на южна България попада в най-северната, гранична област на региона с преобладаващ екстензионен характер на коровите движения, дефиниран като "Южнобалканска екстензионна зона" (напр. Burchfiel et al., 2000). Скоростите на хоризонталните движения на земната кора за южна България по GPS данни не надминават 3-5 мм /год., като обикновено са от порядъка на 1-2 мм /год. Посоката на движение спрямо Евразия е юг-югоизток, което предизвиква екстензия в посока север-юг и образуването на структури с посока изток-запад, например Софийският грабен и др. (напр. Nakov et al., 2005).

От сеизмологична гледна точка, българските земи са част от Алпо-Хималайския сеизмичен пояс, характеризиращ се с високо ниво на сеизмичната активност. През изминалите векове България е била подложена на силни земетресения. Първите писмени сведения за земетресение на територията на страната се отнасят към I век преди новата ера. В началото на 20^{ти} век, по територията на България се реализира поредица от разрушителни сеизмични събития (5 земетресения с магнитуд по-голям или равен на 7). С висока и интензивна сеизмична активност в ЮЗ България през периода 1904-1906 г. Тази сеизмична поредица започва на 4 април 1904 г. с реализацията на две катастрофални земетресения (с магнитуд над 7.0) в интервал от 23 минути. През 1928 г., по долината на р. Марица (в централната част на южна България), се реализира поредица от три силни земетресения. След 1928 г., на територията на България, не са реализирани други катастрофални земетресения. Най-силното събитие през 20^{ти} век, след 1928 г., е земетресението от 1986 г., с магнитуд $M_S=5.7$, реализирано в централна северна България (близо до гр. Стражица).

В настоящото изследване е анализирано пространствено-времето разпределение на сеизмичността, реализирана в Софийска сеизмична зона през периода 1985-2014 г. Разглежданият период е съобразен с регистриращите възможности и развитието на националната сеизмологична мрежа (НОТССИ).

Сеизмична зона София

Сеизмична зона София е разположена в централната част на Западна България. Софийската котловина (грабен, разположен в централната част на зоната) е формирана на пресечницата на Задбалканския и Маришкия грабенови комплекси, и се характеризира със специфично развитие. Решаващи в тектонско отношение са разломните структури с преобладаващо СЗ-ЮИ направление. Най-съществени са тези, които ограничават Софийския грабен. Забележително е, че разломните

системи са маркирани с множеството минерални извори. За най-изявена в структурно-геоморфоложко отношение и наличие на тектонска и сеизмична активност в Софийската зона се счита района на юг от град София (Бончев, 1971).

Наличните исторически документи показват, че през периода 15^{ти} - 18^{ти} век в Софийска зона са ставали силни земетресения с разрушителен ефект върху град София (Вацов, 1902)., Сведенията за усетените в София земетресения, преди 19^{ти} век, са твърде оскъдни, защото по това време София е малък град, разположен дълбоко във вътрешността на Отоманската Империя. Има данни за разрушително земетресение (8^{ма} степен MSK-64) през 1450 г., при което са разрушени църквата Св. София, а също и малката църква Св. Марина, която се е намирала в двора на някогашната митрополия (днешният площад Независимост). Оскъдни данни има и за земетресение от 1557 г. с интензивност от около 7^{ма} степен MSK-64 (Вацов, 1902; Киров, 1952).

В началото на 19^{ти} век, през 1818 г., в близост до град София се реализират две силни събития. Първото с интензивност $I_0=8-9^{та}$ MSK-64 се е случило на 4 април 1818 г. в 12:30 ч. - „Настъпило голям страх, много здания и джамии попадали, жежки и студени води потекли". Земетресенията се повтаряли чак до Св. Илия (2 август). Второто земетресение, с интензивност $I_0=7^{ма}$ MSK-64, е от 19 септември 1818 г., най-вероятно е най-силният афтершок на земетресението от 4 април (Вацов 1902). За това събитие е написано „Насред Бянабаши извряла жежка вода“. Афтершокската серия (само усетени земетресения) е продължила повече от година (Вацов 1902; Киров, 1952). Земетресението от 1858 г. се счита за най-силното реализирано събитие в близост до град София. Интензивността му е оценена на 9^{та} степен MSK-64, а магнитудът 6.1. Въздействията от това земетресение върху град София са описани в писмо на Сава Филаретов, публикувано в „Цариградски вестник“ (Вацов, 1902): „На 18 септември по пладне се чу силен оглушителен гръм ... земята силно и страшно се залюля ... след 2-3 минути се видя, че от 24 джамии само 5 останали с минарета ... както на първите, така и на вторите стените и кубетата се разпукали.. На запад от града, на полето, където никога не е имало вода, в този час се показала гореща вода (днешният извор Овча купел).“ Според друг очевидец на джамията Башчешме металният конусообразен покрив на минарето е бил отхвърлен нагоре и падайки се забучил във викалото на същото минаре. След затишие от около 50 години, през 1904 г., в западната периферия на Софийска зона, в близост до гр. Трън става силно земетресение с $M_S=6.5$. Най-силното земетресение, реализирано в околностите на град София, през 20^{ти} век е събитието от 1917 г. с магнитуд $M_S=5.3$ ($I_0=7-8$ MSK). Земетресението е нанесло значителни повреди върху сградите в града, илюстрирани на Фиг. 1. Земетресението е усетено в област с площ около 50000 км² и афтершокова активност продължила повече от година (Иванов, 1931; Киров, 1952).



Фиг. 1. Щети в град София от причинени от земетресението през 1917 г.

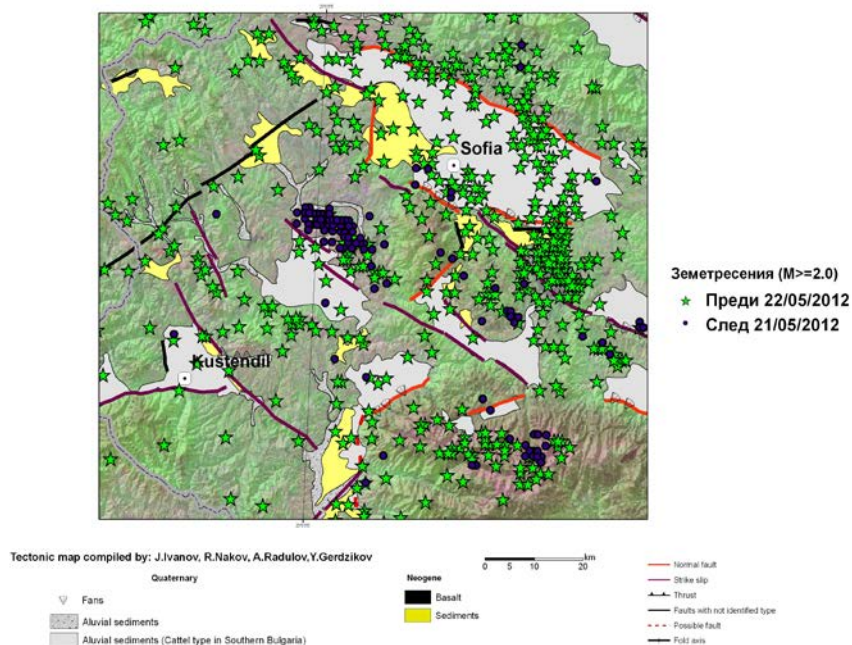
Почти век (95 години) по-късно след земетресението от 1917 г., на 22 май 2012 г. между градовете Перник и Радомир се реализира земетресение с $M_W=5.6$ и епицентър, отстоящ на 25 км в югозападно от центъра на София,. В град София и околностите са наблюдавани умерени до тежки щети. На Фиг. 2 са илюстрирани едни от най-сериозните щети нанесени от земетресението.



Фиг. 2. Щети, причинени от земетресението край град Перник.

Пространствено-разпределение на сеизмичността

В настоящото изследване е разгледан 30 годишен времеви интервал, за който регистриращите възможности на НОТССИ осигуряват надеждна оценка на основните кинематични и динамични параметри на земетресенията с магнитуд над 2.0 ($M \geq 2.0$), реализирани в Софийска сеизмична зона. На Фиг. 3 е илюстрирано пространственото разпределение на епицентрите на земетресенията, генерирани в зоната за разглеждания период.



Фиг. 3. Пространствено разпределение на земетресенията с $M \geq 2.0$, реализирани в Софийска сеизмична зона през периода 1985-2014 г. (Основата е фрагмент от неотектонската карта, съставена от Ж.Иванов и др., представена в Отчет ГФИ, 2008 г.).

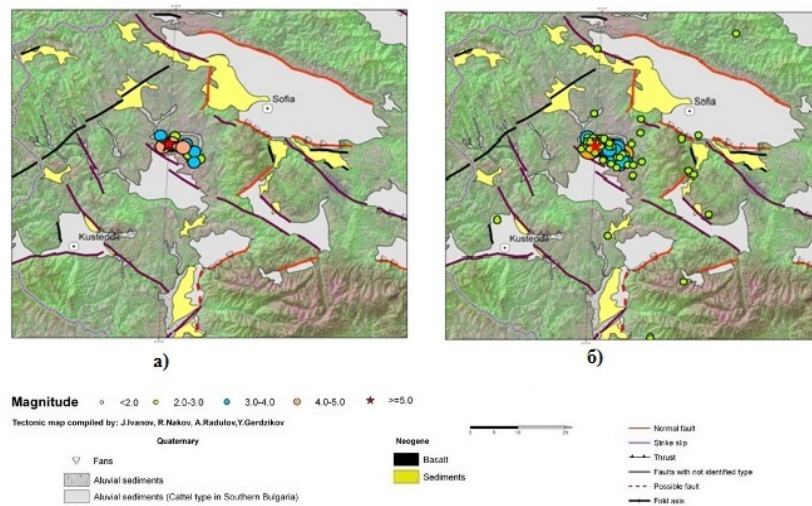
За проследяване пространствено-времето разпределение на сеизмичността, разглежданият времеви интервал е разделен на два периода: 1^{ви} от 1985 г. до 22.05.2012 г. (когато е реализирано най-силното събитие с $M_w=5.6$); 2^{ри} период от 22.05.2012 г до края на 2014 г. Събитията от двата периода за означени с различен растер и цвят на фигурата. От фигурата се вижда, че събитията, реализирани след 22.05.2012 г.(означени с черни точки) частично запълват добре очертаното асейсмично пространство, югозападно от град София.

През първия период (до 22.05.2012 г.) са реализирани 736 земетресения (с $M \geq 2.0$) със средна годишна активност 27.3 събития/година. Не се наблюдава закономерност във вариациите на годишната активност. Най-висока е активността през 2010 г, реализирани са 59 земетресения, но през 2011 г. активността спада под средната – генерирани са само 18 събития. Подобни вариации в сеизмичната активност се наблюдават и след 2012 г. През 2013 г. и 2014 г. са реализирани, съответно 14 и 45 земетресения с $M \geq 2.0$ (от сеизмичните изяви са изключени афтершоковите събития). Основна част от тези земетресения са реализирани в периферията на Софийска сеизмична зона.

Сеизмичната активност, реализирана през целия 30 годишен период е концентрирана, основно, в горните 15–20 км на земната кора.

Пространствено-времево разпределение на афтершоковата активност след земетресението от 22.05.2012 г.

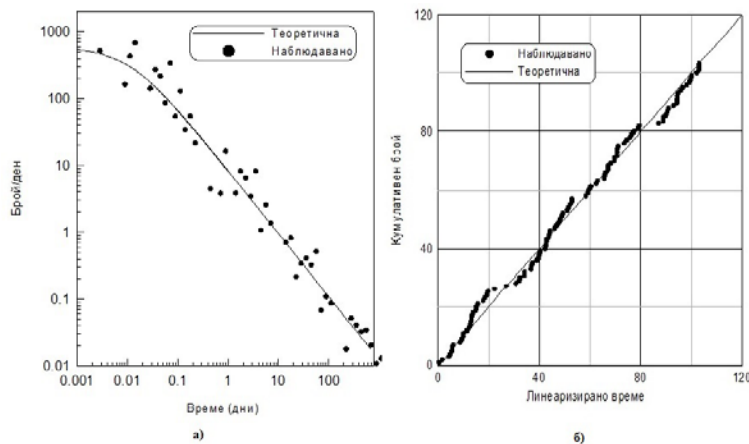
Афтершоковата активност е израз на вискозоеластична релаксация на напреженията в средата, натрупани като резултат от процесите на разрушение в огнищната зона на главното земетресение. Изследване пространствено-времето разпределение на афтершоковите събития е от съществено значение за разбирането физиката на процеса на сеизмогенезиса. Пространствено-времето групиране на вторичните трусове е доминиращата не-случайна компонента на сеизмичността. На Фиг. 4 е представена пространствена картина на афтершоковата активност за два времеви интервала: 3 часа и 1 година след земетресението от 22.05.2012 г. Включени са афтершоковите събития с $M \geq 2.0$.



Фиг. 4. Пространствено разпределение на афтершоковите събития с $M \geq 2.0$, реализирани след земетресението от 22.05.2012 г.: а) 3 часа след главното събитие; б) 1 година след главното събитие (основа както при Фиг.3).

Фигурата, като цяло, илюстрира някои особености в пространствено-времето разпределение на афтершоковата активност: главното земетресение и последвалите го, в първите 3 часа (Фиг. 4 а)), афтершокови събития се групират по разломна структура в СЗ-ЮИ направление; най-силните афтершокови събития са реализирани в сравнително малка област, която нараства с времето и намаляване на магнитуда (Фиг. 4 а) и б)).

Една от феноменалните характеристики на афтершоковия процес е затихването му във времето по обратен степенен закон. Честотно-времето разпределение на афтершоковите събития, представено на Фиг. 5 а), се моделира чрез модифицираната формула на Omori $n(t) = K/(t+c)^p$ (Utsu, 1961).



Фиг. 5. Разпределение на афтершоковите събития във времето; а) честотно; б) честотно-линеаризирано.



За получаване на разпределението са включени афтершоковите събития с $M \geq 2.0$, реализирани до края на 2014 г.

Основен параметър в модифицираната формула на Omori е параметърът p , характеризиращ затихването на афтершоковия процес във времето. Параметърът p е високо информативен както за механизма на релаксация на напреженията, така и за физико-механичните свойства на средата в дадена сеизмогенна зона. Приема се, че стойността му се определя от хетерогенността на средата и разпределението на напреженията в нея.

В настоящото изследване за оценка параметрите на модифицираната формула на Omori, характеризиращи разпределението на афтершоковите събития във времето, е приложен ММП, съгласно представеното в Ogata (1983). Получените стойности са $K = 8.32$; $p = 0.94$ и $c = 0.011$.

Оценките на параметрите K , p , c , са приложени за трансформиране на афтершоковия процес в стандартен Поасонов процес по честотно-линеаризираната времева ос τ . Времевата ос τ може да се използва за установяване на отклонения в сеизмичната активност от теоретичния тренд $N(\tau) = \tau$, където $N(\tau)$ е кумулативният брой събития до момента τ . Увеличение на активността, в сравнение с теоретично очакваната, може да се разглежда като изява на вторична афтершокова активност и/или като преминаване към фонова сеизмичност (Ogata and Shimazaki, 1984).

Честотно линеаризираното разпределение на афтершоковата активност е представено на Фиг. 5 б). На фигурата няма изяви отклонения от теоретичния тренд - няма индикации за вторична афтершокова активност и за преминаване на афтершоковата активност към фонова сеизмичност (около 2.5 години след реализация на главното събитие).

Получените резултати показват, че времевото разпределение на афтершоковите събития добре се описва с модифицираната формула на Omori, без изявена вторична активност. Афтершоковият процес затихва сравнително бавно със стойност на $p < 1.0$ и може да се предположи, че процесът протича в бавно релаксираща среда с не висока хетерогенност.

Литература

- Burchfiel, B.C., R. Nakov, Tz. Tzankov and L. Royden, 2000. Cenozoic extension in Bulgaria and northern Greece: the northern part of the Aegean extensional regime. – In: Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area, Geological Society London, Special Publication 173, eds. Bozkurt et al., 325-352.
- Nakov, R., V. Kotzev, C. Burchfiel, R. King, 2005. Ten years of GPS Studies on the Active Tectonics of Bulgaria: an Overview and basic results. In: Proc.of B.G.S. Int.Conf., eds., Y. Yanev, R. Nedialkov, 46-49.
- Ogata, Y., 1983. Estimation of the parameters in the modified Omori formula for aftershock sequences by the maximum likelihood procedure, J.Phys. Earth, **31**, 115-124.
- Ogata, Y. and K.Shimazaki, 1984. Transition from aftershock to normal activity: the Rat Islandsearthquake aftershock sequence. Bull. Seism. Soc. Am. 74, 1757-1765.
- Utsu, T., 1969. Aftershocks and earthquake statistics (I)- Some parameters which characterize an aftershock sequence and their interaction, J. Fac. Sc., Hokaido Univ., Ser. VII (Geophys.), **3**, 129-195
- Бончев Ек., 1971. Проблеми на българската готектоника. С.Т., стр.203.
- Вацов С., 1902. Земетресенията в България през XIX век, Д. П., С., стр.94 .
- Иванов, Р., 1931. Принос към изучаването на земетресението в София на 18.10.1917 г., Д.М., С., 1-33.
- Киров, К., 1931. Земетресенията в България. Отчет на усетените земетресения през годините 1917-1927. Д.М., С., стр. 163.
- Отчет ГФИ, 2008. Сеизмично райониране на Република България, съобразено с изискванията на Еврокод 8 “Сеизмично осигуряване на строителни конструкции” и изработване на карти за сеизмичното райониране с отчитане на сеизмичния хазарт върху територията на страната, Част II, стр.150.