



## Deterministic earthquake scenarios based on macro seismic information

*I. Aleksanova,<sup>1</sup> P. Raykova<sup>1</sup> D. Solakov<sup>1</sup>, S. Simeonova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography-BAS,  
Acad. G .Bonchev str., bl.3, BG-1113 Sofia, Bulgaria  
e-mails: i.alex@abv.bg, plamena.raikova@gmail.com, dimos@geophys.bas.bg, stelas@geophys.bas.bg

**Keywords:** earthquakes, seismic activity, deterministic scenario, macroseismic intensity, observed effects

**Abstract:** Earthquakes are the most deadly of the natural disasters affecting the human environment. Global seismic risk is increasing steadily as urbanization and development occupy more areas that are prone to effects of strong earthquakes. The assessment of seismic hazard and generation of earthquake scenarios is the first link in the prevention chain and the first step in the evaluation of the seismic risk. The territory of Bulgaria (situated in the eastern part of the Balkan Peninsula) represents a typical example of high seismic risk area. In the present study deterministic scenarios (expressed in seismic intensity) for the cities Plovdiv and Rouse are presented. The work on scenarios was guided by the perception that usable and realistic (also in the sense of being compatible with seismic histories of cities that are often several centuries long) ground motion maps had in the end to be produced for urban areas.

## Детерминистични земетръсни сценарии, базирани на макросейзична информация

*И. Александрова, Пл. Райкова, Д. Солаков и Ст. Симеонова*

### 1. Въведение

Противоземетръсната защита в градските райони, характеризиращи се със значителен ръст на населението и строителството, наличие на важни административни, търговски, индустриални и жилищни сгради, обширни и взаимно свързани инфраструктурни мрежи, налага провеждане на надеждна стратегия за намаляване на природните рискове. Стратегията за намаляване на сеизмичния риск включва, като основни, първи стъпки: създаването на съвременни карти за сеизмичната опасност; строителство, съобразено със сеизмичната опасност – антисейзично строителство; разработка на сценарии за последствията от силни земетресения за всички урбанизирани територии – установяване на най-уязвимите места и допълнителни мерки при необходимост.

Детерминистичният сценарий постулира появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение. Детерминистичната оценка е нивото на сеизмични земни движения, предизвикани от най-силните, разрушителни земетресения, реализирани в най-близките до селището точки от съответните сеизмични източници. При по-ниско ниво на сеизмичната активност и голям период на повторемост на силните земетресения детерминистично се оценят и очакваните сеизмични въздействия от по-слаби (увреждащи) земетресения с по-голяма вероятност за случване. Земетръсните сценарии са съобразени със сеизмичната история на градовете, инженерно-геоложките условия в тях и регионалните сеизмотектонски характеристики. Използването на такива оценки и съвременни методи на сеизмичното инженерство могат да намалят в много голяма степен щетите и жертвите при земетресение. Разработените земетръсни сценарии могат да се прилагат при оценка на риска за съответния град, създаване на градоустройствени планове, както и в дейността и плановете на Гражданска защита и в застраховането.

За градовете Русе и Пловдив са разработени земетръсни сценарии в макросейзична интензивност, използвайки детайлна макросейзична информация (налична в публикации и фондови материали) за ефектите от минали силни земетресения върху тези градове.

Методика за създаването на сеизмични сценарии за градовете на Европа (съобразена с особеностите и сеизмичната история на европейските градове) е разработена по Европейски проект Risk EU (EVK4-ST-2000-00014, 2001-2004), финансиран от European Economic Commission по 5<sup>та</sup> Рамкова програма (детайлно, представена в Solakov et al., 2009).

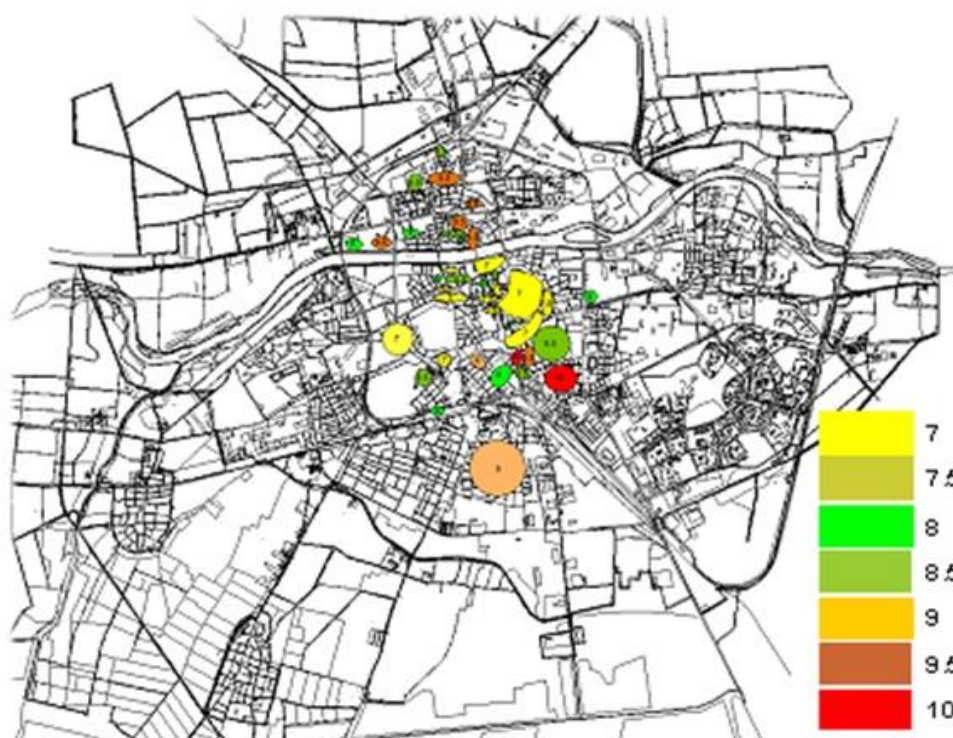
## 2. Земетръсен сценарий за град Пловдив

Град Пловдив (вторият по големина град в България) е разположен в западната част на Горнотракийската низина, на двата бряга на река Марица. Застроен е в подножието на седем сиенитни хълма, поради което той често е наричан “Градът на седемте хълма”. Животът в Пловдив не е прекъсвал в продължение на почти осем хилядолетия, което прави неговата история изключително богата и интересна. Счита се, че Пловдив е най-старият град в Европа по непрекъснатост на обитаването и е сред шестте най-стари градове в света по същия признак.

### *Наблюдавани сеизмични въздействия в град Пловдив от земетресението, реализирано на 18 април 1928г.*

Представените по-долу детайлни описания се базират на наблюденията и документираните щети, представени в отчета “ДИПОЗЕ”(1931), Киров (1945) и в архивни материали от Държавен архив и Народна библиотеката “Иван Вазов”, град Пловдив.

Оцененото разпределение на макросеизмичните въздействия (в интензивност) по протежението на града, генерирани от земетресението на 18.04.1928 г. с  $M_S 7.0$  и  $I_0=10^{ra}$  MSK, е представено на Фиг. 1.



Фиг. 1. Наблюдавани макросеизмични ефекти, причинени от земетресението, реализирано на 18.04.1928 г.

( $M_W=M_S=7.0$ ,  $I_0=10^{ra}$  MSK) в град Пловдив

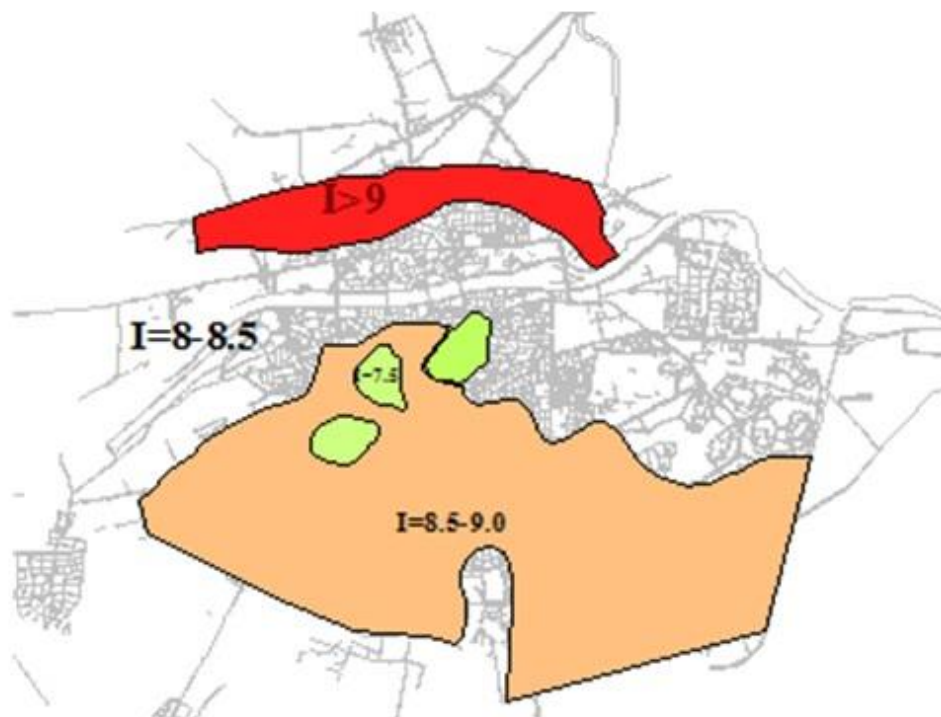
Киров (1945) пише: “На 14 и 18 април 1928 г. България преживя две катастрофални събития. При първото събитие земята се разтrese с интензивност десета степен по скалата FM (което е 9.5 MSK) в епицентъра, който се намира при град Чирпан. Второто земетресение е най-голямата сеизмична катастрофа в България. Интензивността на труса в епицентъра при село Поповица е единадесета степен по FM (11 MSK). Записано е от всички сеизмографи по света. Разрушени са десетки хиляди сгради, образувани са множество пукнатини и разломи. Земетресенията са засегнали силно пловдивска, старозагорска и хасковска област. Отнет е живота на 107 души а 700 са леко или тежко ранени.”

Едни от най-масовите разрушения са наблюдавани в кварталите на Север от река Марица, където почвените условия са подчертано лоши – тресавищен терен с високи подпочвени води. На Юг от реката пораженията върху сградите са значително по-малки. Най-слабо засегнати в целия град састройките, изградени на и в близост до сиенитовите тепета. Един от най-тежко пострадалите е Съдийският квартал в ЮИ част на града (през 1928 г.), изграден на насип върху мочурлив терен. Значително пострадали са и сградите в най-южната част от територията (през 1928 г.) на град Пловдив - беден квартал с некачествено строителство.

Очевидно е, че наблюдаваните разрушения могат да се разглеждат като комбиниран ефект от силата на сеизмичните въздействия, инженерногеоложките условия и типа и качеството на строителството.

### **Сеизмичен сценарий за град Пловдив (в макросеизмична интензивност)**

За създаване на земетръсен сценарий са използвани оценките на въздействията от земетресението на 18.04.1928 г. ( $M_w = M_s = 7.0$ ,  $I_0 = 10^{та}$  MSK), генерирано на 20 км ИЮИ от града, описани в предния абзац. Генерираният сеизмичен сценарий (в MSK интензивност) е представен на Фиг. 2. За дефиниране на областите с различна интензивност са включени инженерно-геоложките условия в района на града, чрез използване на схематична инженерно-геоложка карта.



Фиг. 2. Сеизмичен сценарий за град Пловдив (в интензивност по MSK), базиран на наблюдавани въздействия от земетресението 1928 г. 18.04.1928 г. ( $M_w = M_s = 7.0$ ,  $I_0 = 10^{та}$  MSK) генерирано на 20 км ИЮИ от града

### **3. Земетръсен сценарий за град Русе**

Русе е най-големият български пристанищен град по поречието на река Дунав, разположен в Североизточна България. Русе е град с 20-вековна история, която започва с изграждането на тракийско селище. Централната част на града е известна с уникалната си архитектура от края на 19<sup>ти</sup> и началото на 20<sup>ти</sup> век. Стилът на много от сградите е повлиян от виенската архитектура, поради което градът често е наричан „Малката Виена“. Град Русе е сред най-важните икономически, административни и стопански центрове на България.

#### **Наблюдавани сеизмични въздействия в град Русе от междиннофокусни земетресения**

Най-силните, документиран сеизмични въздействия (с интензивност по MSK  $\geq$  VI) върху територията на гр. Русе, са генерирани в огнище Вранча, Румъния (събитията от 10.11.1940 г. и 04.03.1977 г.).

Настоящото изследване се основава на представеното в Киров (1941) и богат документален материал, събран от Главно Управление на архивите при МС, Териториална дирекция “Държавен Архив”, Русе и Регионална библиотека “Л.Каравелов”, град Русе.

Разгледани са две междинно-фокусни земетресения: 1940 ( $M_w 7.7$ ) и 1977 г. ( $M_w 7.4$ ). Магнитудните оценки на тези събития са по сеизмичен момент ( $M_w$ ) - съответно 7.7 и 7.4 (съгласно ROMPLUS, 2007).

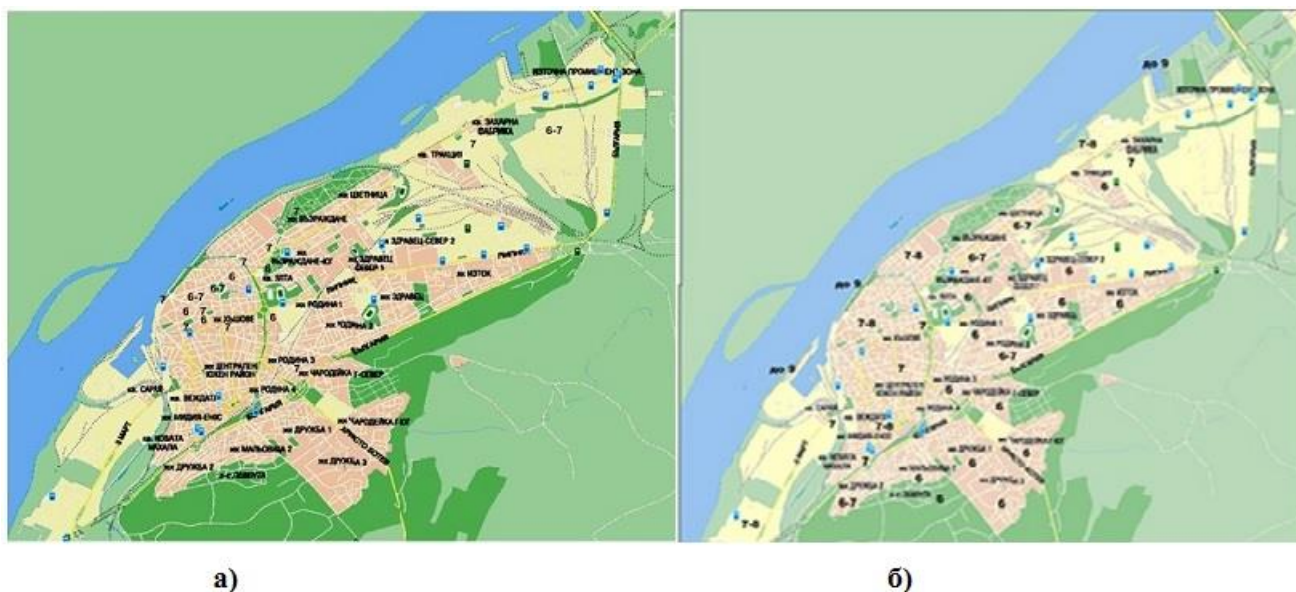
*Ефекти от земетресението на 10.11.1940 с  $M_w 7.7$  ( $M_s 7.3$ )*

При земетресението най-силно пострадали са централната и крайдунавската част на град Русе. Установени са въздействия от VI до VII степен по скалата МШК. Разпределението на сеизмичните въздействия върху град Русе от земетресението са илюстрирани на Фиг. 3а). Високите интензивности (VII степен МШК 64) са основно в крайбрежните части на града.

*Ефекти от земетресението на 04.03.1977 с  $M_w7.4$  ( $M_S7.2$ )*

Разпределението на сеизмичните въздействия от земетресението през 1977 г. върху град Русе са илюстрирани на Фиг.3 б).

Високите интензивности (VII-VIII по МШК) се наблюдават в запад-югозападната част на града, застроен върху речната тераса на р. Русенски Лом и крайдунавската част, където интензивността достига до девета степен (МШК).



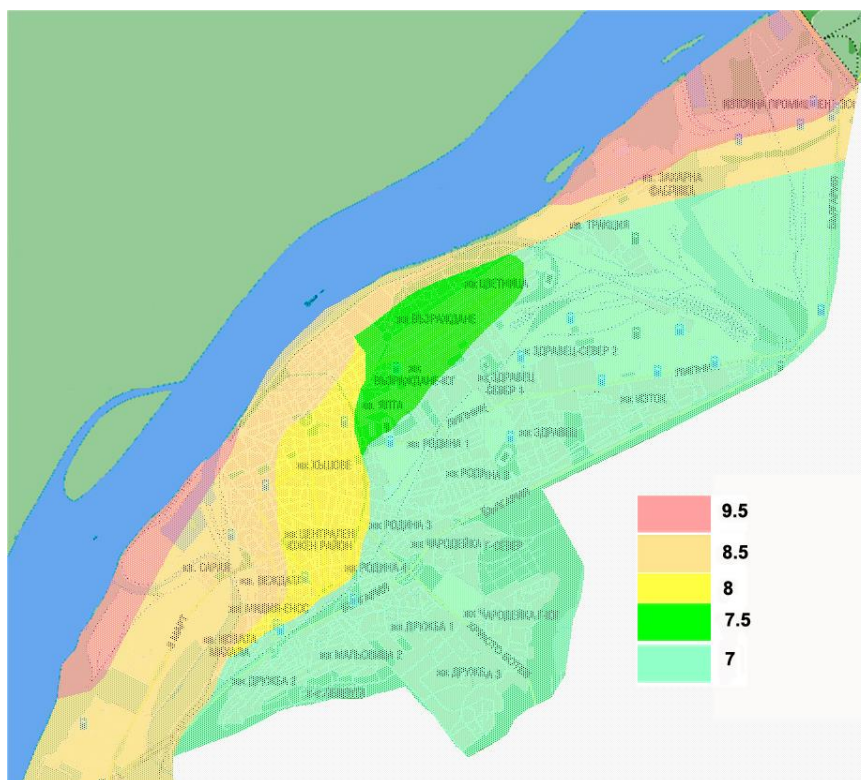
Фиг. 3. Сеизмични въздействия върху град Русе: а) от земетресението през 1940 г. ( $I_0=IX$  МШК,  $M_S7.3$  и  $M_w7.7$ ); б) от земетресението през 1977 г. ( $I_0=VIII$  МШК,  $M_S7.2$  и  $M_w7.4$ )

Наблюдаваното разпределение на интензивностната функция по територията на град Русе и в двата анализирани случая е идентично (въпреки много по-оскъдната информация за земетресението от октомври 1940 г.). Макросеизмичните ефекти и при двете събития са с най-висока интензивност по крайбрежните части на града. Силни ефекти са наблюдавани, както в западната, така и в централната част на града. В централната и западната части от територията на града сградите и съоръженията са построени върху пропадъчни льосови почви. Водното съдържание на тези почви се увеличава от близостта на реките Русенски Лом и Дунав, и образува водоносни хоризонти в основата на льоса, което води изменение на якостно-деформационните му характеристики.

#### ***Сеизмичен сценарий за град Русе(в макросеизмична интензивност)***

Сеизмичният сценарий за град Русе (представен на Фиг.4) се основа на сеизмичната история на града. Като базисно събитие се приемат две земетресения от 1940 г. ( $I_0=9$  MSK,  $M_S7.4$  и  $M_w7.7$ ) и от 1977 г. ( $I_0=8$  MSK,  $M_S7.2$  и  $M_w7.4$ ). Сценарият е генериран чрез съпоставяне на наблюдаваното разпределение на интензивностната функция по територията на града с конфигурацията на речните тераси. Установена е добра корелация на ефектите от двете земетресения със заливните тераси на р. Дунав и р. Русенски Лом. Карта на тези заливни тераси е използвана като основа за микрорайонирането на града.





Фиг. 4. Сеизмичен сценарий за град Русе , базиран на наблюдавани въздействия от междиннофокусни земетресения ( $I_0= 8-9^{та}$  МШК,  $M_S7.2-7.3$ ;  $M_W =7.4- 7.7$ ), генерирани в огнище Вранча, Румъния

## Литература

ROMPLUS, 2007. Romanian Earthquake Catalogue (computer file), first published as: Oncescu, M.C., Marza, V.I, Rizescu, M., Popa, M. (1999), The Romanian Earthquake Catalogue between 984-1997, in Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation, F. Wenzel, D. Lungu (eds.) & O. Novak (co-ed), pp. 43-47, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Solakov D., S. Simeonova, L. Christoskov, I. Aleksandrova, I. Popova, and G. Georgieva, 2009. Earthquake scenarios for the cities of Sofia, Rousse and Vratsa. INFORMATION & SECURITY. An International Journal, Vol.24, 51-64.

Дипозе, 1931 . Отчет за извършеното от 25 април 1928 г. до 1 ноември 1931 г. на Дирекцията за подпомагане и възстановяване земетръсната област 1928 г., София, 421 с.

Киров, К., 1941. Земетресенията в България. Отчет на усетените земетресения през годините 1931-1940. Центр.Мет.Инст., С., 112 с., 32-41.

Киров, К., 1945. Земетресенията в България. Отчет на усетените земетресения през годините 1928-1930. С., 149с., 29-31.

## Архивни материали от:

Главно Управление на архивите при МС, Териториална дирекция “Държавен Архив”, Русе. Регионална библиотека “Л. Каравелов”, град Русе.

Държавния архив, град Пловдив

Народна библиотеката “Иван Вазов”, град Пловдив.