



Kinematic modeling of idealized system for early registration and warning in case of an earthquake

Ivan Parushev¹, Boyko Rangelov¹ Tihomir Iliev¹, Edelvays Spasov²

¹ Student, MGU, parushev92@gmail.com

¹ Professor, MGU, b.rangelov@gmail.com

¹ MSc, MGU, tihoiliev@gmail.com

² D-r, Kinemetrix, LA, espassov@yahoo.com

Keywords: Early Warning Systems, Earthquakes, Kinematic modeling

Abstract: Early warning systems (EWS) are the product of the last and the most improved achievements of the recent Earth Science engineering applications. All know Seismic EWS are based on the fundamental property of the seismic wave propagation: P-waves travel approximately 1.71 times faster than S-waves (which have significantly greater destructive potential). For the exploration of such systems seismic sources are selected and the wave propagation is modeled based on kinematic principles. The sphere of influence of each seismic source is then separated into 3 zones with decreasing destructive potential – red, orange and green. Finally, the seismic stations are optimized according to the seismic sources locations and common use (in some cases) of the same equipment.

Кинематично моделиране на идеализирана система за ранна регистрация и предупреждение при земетресение

Иван Парушев, Бойко Рангелов, Тихомир Илиев, Еделвайс Спасов

Резюме: Системите за ранно предупреждение (СРП) са продукт на последните и най-усъвършенствани достижения на инженерните приложения в областта на Науките за Земята. Всички познати сеизмични СРП са базирани на фундаментални свойства в разпространението на сеизмичните вълни: Р вълните са приблизително 1.71 пъти по-бързи от S вълните (които имат значително по-голям разрушителен потенциал). За проучването на такива системи се избират сеизмични огнища и се моделира разпространението на вълните в пространството на основата на кинематични принципи. Сферата на влияние на всеки сеизмичен източник се разделя на 3 зони с намаляващ капацитет за нанасяне на вреди – червена, оранжева и зелена. Накрая поставянето на сеизмичните станции за регистрация се оптимизира според местоположението на огнищата и съвместната употреба (където е възможно) на една и съща станция.

Избор на сеизмични източници (потенциални огнища на земетресения) за изследване на оптимално разполагане на сеизмологична регистрираща мрежа

Основната цел при избор на сеизмичните източници е максимално доближаване до реалната обстановка свързана със сеизмогенните огнища на територията на България (на този етап източници извън границите на България не са отчитани). За първоначално моделиране на полето на времето и определяне на регистриращите възможности на една потенциална система за ранна регистрация и предупреждение са избрани 5 сеизмични източника съвпадащи по място с основните сеизмогенни зони на страната (Rangelov et al, 2006). Те са представени в следната таблица:



№	Огнище	Координати		Дълбочина, [км]
		П [E°]	λ [N°]	
1	София	23°20'00.00''	42°40'00.00''	10
2	Кресна	23°10'00.00''	41°50'00.00''	10
3	Пловдив	25°00'00.00''	42°10'00.00''	10
4	Горна Оряховица	25°50'00.00''	43°10'00.00''	10
5	Шабла	28°30'00.00''	43°30'00.00''	10

Таблица 1. Таблица на моделните огнища

Данните в тази таблица съответстват на общоприетите имена на огнищните зони (Рангелов, Б. 2012.), координатите са взети от Google Earth, дълбочината на огнищата е приета на 10 км, а самите източници са представени като точки и са номерирани със съответната номерация. Нерегулярното разположение на сеизмичните източници е демонстрация, че използваната методология е универсална и може да бъде прилагана за произволна конфигурация на сеизмичните огнища.

Моделиране за оптимално разполагане на регистриращите станции в системата за ранна регистрация и предупреждение

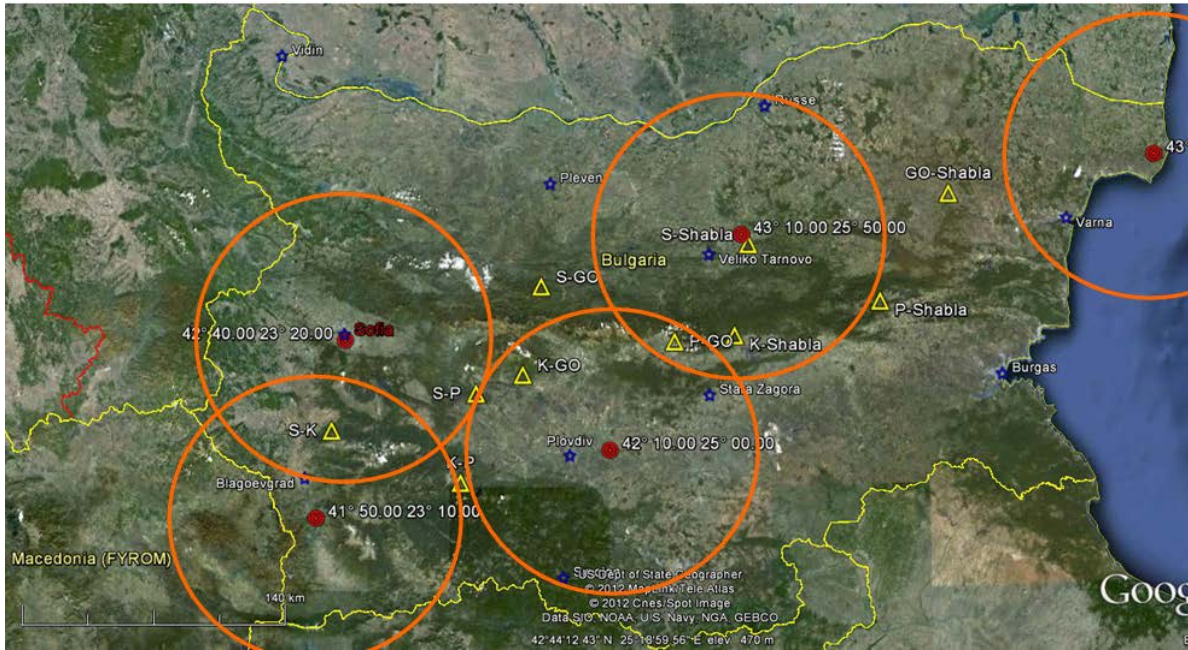
Изборът за оптимално разполагане на регистриращите станции се базира на няколко основни принципа:

- A. Минимално време за пускане на цялата система за регистрация. Това означава максимално близко разположение на най-близката станция до съответния сеизмичен източник
- B. Оптимална конфигурация на станциите за регистриране на следващите встъпления с цел локализиране на епицентъра на сеизмичния източник. Тук се прилага принципът на време за минимален пробег между две последователни регистриращи станции. За постигане на такава конфигурация е необходимо да се изследва разположението на симетралите на разстоянията между сеизмичните източници което се постига с намиране на точките равно отстоящи от всяка комбинация двойки сеизмични станции.
- C. Принципът на огледалния образ и на взаимната замеяемост източник-регистратор (и обратно) е приложен по отношение на всички избрани моделни източници и съответните им най-близко разположени регистратори (станции).
- D. Всички системи за ранно предупреждение се основават на разликата във встъпване на S и P вълните. Както е известно P вълните са надлъжни обемни вълни с 3-4 пъти по-малка амплитуда от напречните обемни вълни (S вълните). Това обстоятелство е наложило идеята, че P вълните могат да служат за тригер (индикатор) за настъпило сеизмично събитие, поради което основен параметър за ефективността на системата се явява разликата в пристигането на S и P вълните.

За построяване на полетата на времето за всеки от сеизмичните източници са използвани построените полета на времена на различните сеизмични вълнови фази и съответните им разлики. За повишаване на точността на построенията са привлечени данни от графичните и таблични представяния на ходографите (Ranguelov, B., T. Piev., 2013).

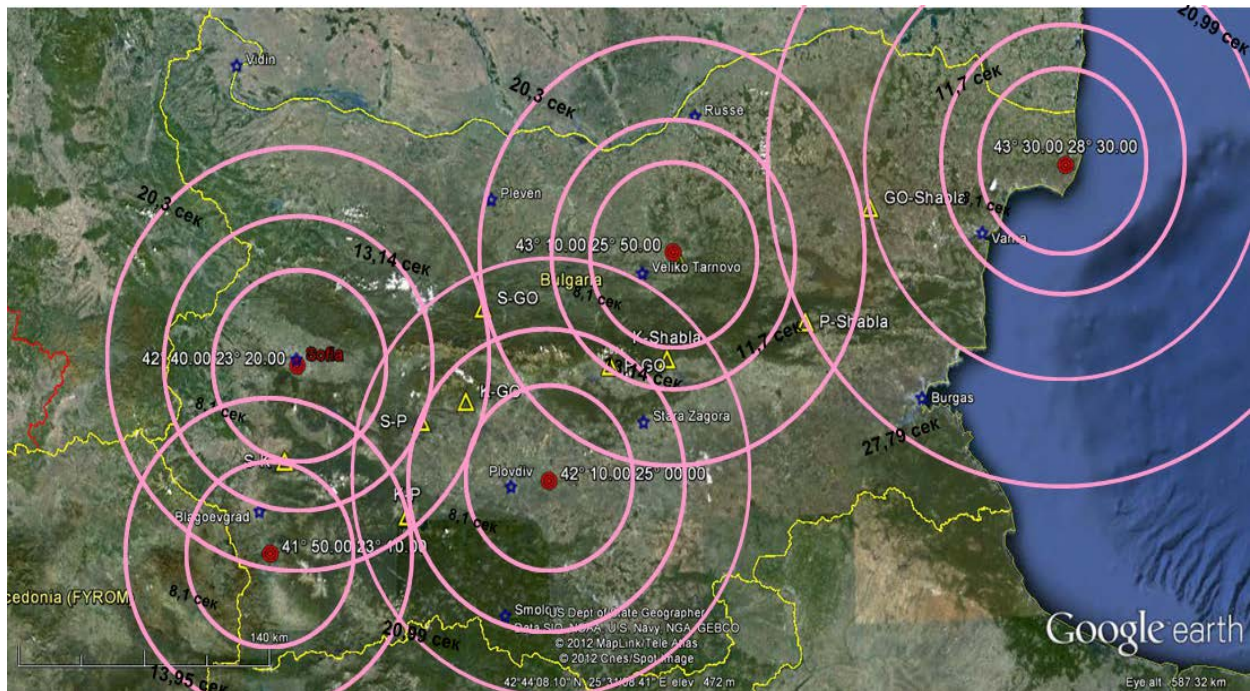
Приложена е следната процедура:

За определяне на симетралите между всички двойки огнища са построени съответните изохрони които имат допирателна за всяка двойка сеизмични източници. Тези допирателни точки се явяват оптимални по отношение на пробега на сеизмичните вълни за всяка двойка от изследваните огнища. Понеже разстоянията между източниците и тези симетрични регистратори се изменят за всяка комбинация от двойки източници, процедурата е повторена за всяка комбинация от двойките при нарастващо време.

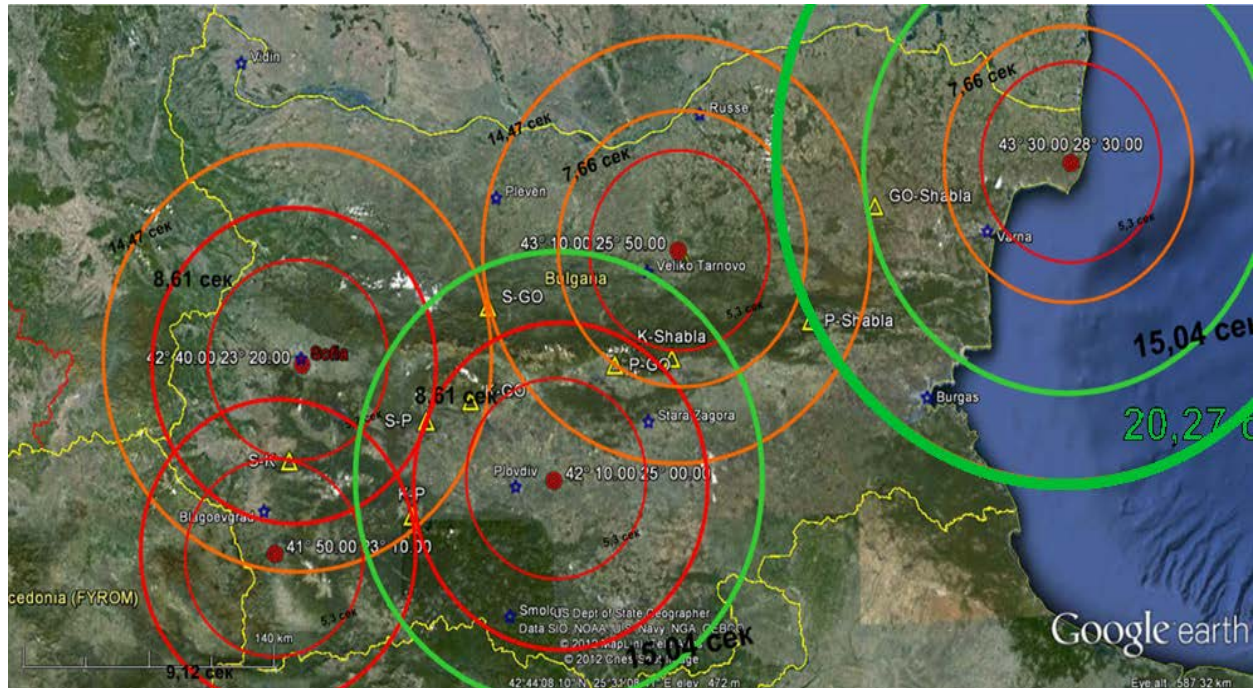


Фиг.1. Карта на изохроните на Sg-Pg , S-P от всички огнища с време 8,61 сек

Моделите са построени по следния начин: построени са изохроните от всеки източник като са съобразени местата на допирането им. Там са поставени виртуални регистриратори които си разполагат на всяка симетрала респективно. Това е направено за сеизмични източници от 1 до 4 понеже те се разполагат в сравнително централна област на страната. Включването на сеизмичен източник 5 (Шабла) е изследвано най-накрая, поради най-голямата отдалеченост на този източник от сравнително близко разположените един спрямо друг източници 1-4. Целта на тези построения е да се види какви са минималните времена за реакция на системата при стартирането ѝ от даден източник спрямо останалите сеизмични източници – фиг.1.



Фиг.2. Схема на комбинираните изохрони P,Pg за всички моделни огнища, с начално припокриване и съответно с предишните построения



Фиг.3. Схема на комбинираните изохрони Sg-Pg ; S-P за всички моделни огнища, с начално припокриване и съответно с предишните построения

Последователните встъпвания (това означава разширяващо се покритие на цялата система върху територията на страната) са представени на карти (фиг.2 и фиг. 3). За да се определи ефективността на системата е извършено подобно изследване и на разликите S-P. Този параметър дава представа за възможностите за бързо реагиране при настъпване на силно земетресение. От фигурите се вижда, че малките времена на встъпване и малките разлики S-P се разполагат близко до източниците което означава, че там системата е ниско ефективна („червени зони“) (Rangelov et al, 2013). Времената извън червените зони принадлежат по време към оранжевите зони, които оформят т.н. зони „второ ниво“. Извън тях са най-надежните участници на системата т.н. зелени зони – разлики S-P по-големи от 15 сек.

Сеизмичните регистрирани съгласно описаният алгоритъм са разположени в съответствие със следните съоръжения:

- Максимална близост до избраните сеизмични източници – 5 бр.
- Симетрично разполагане спрямо комбинациите от всички сеизмични източници-8 бр. локализирани предимно в централната част на стараната(означени с жълти триъгълници).
- Случайно разполагане основно по периферията на страната на относително произволен брой регистрирани (за илюстрация са показани 36 бр.-триъгълници в зелено), които биха могли да бъдат използвани при възникване на земетресения от случайни произволно разположени по място сеизмични източници, както и в случай на източници разположени извън територията на страната. Такива хипотетични сценарии не са изследвани в настоящата работа.

Разполагането на сеизмичните регистрирани (означени на всички фигури с триъгълници) показва, че подобна конфигурация на сеизмичната мрежа е гаранция за ефективност на системата за ранна регистрация и предупреждение. Системата търпи силно ограничение поради малки времена (недостиг на време) в близост до сеизмичните източници. Конфигурацията на изохроните S-P показва, че най-опасни за населението и инфраструктурата се явяват близко разположените огнища. За да се оценят възможностите на системата за ранно предупреждение е направено изследване на зависимостта между разстоянията от съответните огнища до няколко произволно избрани големи селища (градове) на страната.



P,Pg						
Селища		огнища				
		1	2	3	4	5
София	Време (s)	0,59	19,24	26,05	34,10	62,18
	Разстояние d (km)	3,3	96,70	149,60	212,35	430,60
Пловдив	Време (s)	23,50	24,16	3,76	25,37	50,73
	Разстояние d (km)	129,95	135,13	20,88	144,43	341,78
Варна	Време (s)	55,41	60,51	40,95	28,54	10,40
	Разстояние d (km)	378,43	417,82	265	168,8	57,79
Бургас	Време (s)	50,51	53,43	33,40	26,48	24,71
	Разстояние d (km)	340,10	362,49	206,65	152,89	139,24
Стара Загора	Време (s)	31,34	34,24	10,53	15,07	40,90
	Разстояние d (km)	190,27	213,43	58,36	83,72	264,60
Велико Търново	Време (s)	31,65	48,44	21,34	3,48	37,45
	Разстояние d (km)	192,67	245,67	113,43	19,93	238,14
Русе	Време (s)	38,77	47,45	31,95	12,15	33,15
	Разстояние d (km)	248,19	315,75	194,96	67,45	204,61
Благоевград	Време (s)	13,27	3,83	27,19	40,12	67,48
	Разстояние d (km)	73,68	21,32	158,43	258,65	472,30
Видин	Време (s)	26,26	37,78	41,20	39,78	65,34
	Разстояние d (km)	151,21	240,58	266,87	255,95	455,74
Смолян	Време (s)	28,15	23,62	12,92	32,57	55,18
	Разстояние d (km)	165,76	130,87	69,38	199,79	376,52

Таблица 2. Зависимост на разстоянията и времената на първите встъпления на P и Pg вълните използвани в системата за ранно оповестяване от моделните сеизмични източници и някои застрашени градове на територията на страната

Sg-Pg ; S-P						
Селища		Огнища				
		1	2	3	4	5
София	Време (s)	0,40	13,57	18,86	24,94	46,96
	Разстояние d (km)	3,3	96,7	149,6	212,35	430,6
Пловдив	Време (s)	16,9	17,41	2,49	18,34	38,08
	Разстояние d (km)	129,95	135,13	20,88	144,43	341,78
Варна	Време (s)	41,74	45,68	20,40	20,78	6,78
	Разстояние d (km)	378,43	417,82	265	168,8	57,79
Бургас	Време (s)	39,71	40,15	24,57	19,19	17,82
	Разстояние d (km)	340,1	362,49	206,65	152,89	139,24
Стара Загора	Време (s)	22,93	25,24	6,84	9,84	30,36
	Разстояние d (km)	190,27	213,43	58,36	83,72	264,6
Велико Търново	Време (s)	23,17	28,47	15,24	2,39	27,71

	Разстояние d (km)	192,67	245,67	113,43	19,93	238,14
Русе	Време (s)	28,72	35,48	23,40	7,95	24,36
	Разстояние d (km)	248,19	315,75	194,96	67,45	204,61
Благоевград	Време (s)	8,64	2,53	20,74	29,77	51,13
	Разстояние d (km)	73,68	21,32	158,43	258,65	472,3
Видин	Време (s)	19,02	27,96	30,59	29,50	49,47
	Разстояние d (km)	151,21	240,58	266,87	255,95	455,74
Смолян	Време (s)	20,48	16,99	8,14	23,88	41,55
	Разстояние d (km)	165,76	130,87	69,38	199,79	376,52

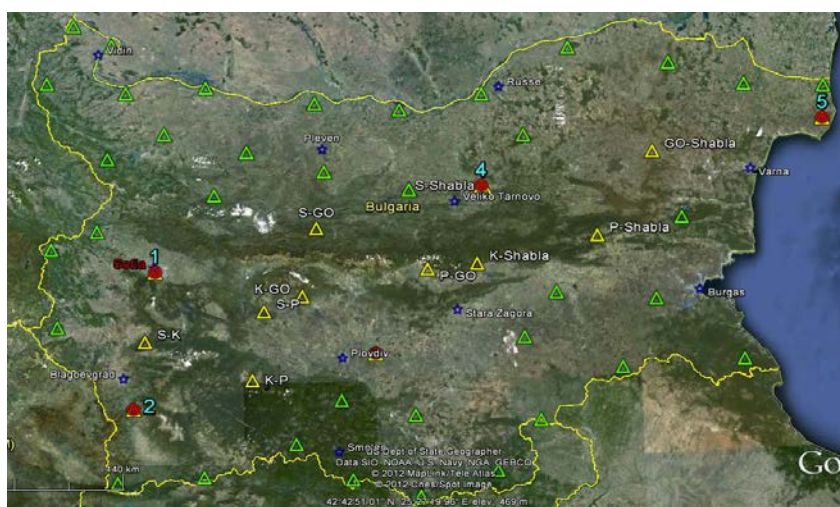
Таблица 3. Таблица показваща зависимост на разстоянията и времената на разликите между S и P вълните използвани в системата за ранно оповестяване от моделните сеизмични източници и някои застрашени градове на територията на страната

След като от таблицата се вижда, че различните селища имат различно време за реакция спрямо различните огнища, концепцията е:

- Разполагане на регистриращи станции максимално близо до сеизмичните източници с цел пускане на системата възможно най-рано след реализиране на земетресението
- Проследяване на разпространението на полето на времето с цел издаване (пускане) на предупреждение чрез някаква форма на съобщение.
- Задействане на модула за действие който е отговорен за прилагане на съответните мерки, които са предварително разписани в даден протокол и се изпълняват автоматично.

Конфигурацията на сеизмичните източници и застрашените обекти (градове) за този идеализиран модел показват, че обикновено някои от селищата са разположени сравнително близко до сеизмичните източници, поради което ефективността на системата за тях е сравнително ниска. Най-добра ефективност на така изследваната моделна система се очертава за източник №5 (огнище Шабла). За този източник най-уязвими се явяват най-близко разположените селища до него - села и градове в Североизточна България (включително Варна).

Доколкото външни източници не са включени в изследването това изисква допълнителни проучвания. Целесъобразно е зонироването на страната по няколко нива на надежност за работата на системата за ранно предупреждение- „червени“, „оранжеви“ и „зелени“ зони.



Фиг.4. Схема на разположението на потенциалните сеизмични източници 1-5 (означени в червено). Върху тях са нанесени най-близките сеизмични регистриращи станции. С жълтите триъгълници са означени сеизмичните регистриращи станции попадащи на симетралите от всяка комбинация на сеизмичните източници. В зелено са означени



произволно разположените сеизмични регистратори, които биха могли да бъдат използвани при произволно разполагане на сеизмичния източник или ако е извън територията на страната.

Цялостното моделиране извършено в тази разработка се базира само на кинематични принципи. Тук не са включвани никакви данни за евентуална сила (магнитуд) на потенциално по-силно или по-слабо сеизмично събитие.

Заклучение

Тази разработка е посветена на един теоретичен модел на виртуална система за ранно предупреждение от земетресение, като са разгледани само кинематичните възможности и то в доста ограничен обем. Все пак получените резултати дават основание да се смята, че подобна система има място и за територията на страната.

Използваните данни, методика и получаваните резултати дават възможност да се направят следните основни изводи:

- Използуването на ходографите на Джефрис-Булен са надеждна основа за моделирането
- Една основна теоретична постановка се основава на разликите $S - P$, която се използва във всички съвременни системи за ранно оповестяване (Ranguelov et al, 2011)
- Изборът на сеизмични източници съпадащи с основните сеизмогенни зони доближава модела до реална възможна ситуация (Ranguelov B., 2013).
- Едновременното отчитане на първите встъпления и разликите във встъпванията на S и P вълните дава някой предимства спестяващи време за стартиране на системата
- Показано е че ефективността на подобен модел е добра по отношение на отчитането на кинематиката на системата. Системата не включва модели свързани с динамиката на сеизмичните вълни и източници (магнитуд, спектрален състав и др.)
- Отделени са 3 зони на ефективност – червена – с ниска ефективност – до около 5 сек. Второ ниво – оражжева – между 5 и 15 сек. И зелена – къдато се предполага висока ефективност – над 15 сек.

Ранното оповестяване няма нищо общо със системите за прогнозиране на земетресения. Системите за ранно оповестяване работят в реално време и са включват веднага след реализираното на земен трус. Тяхната основна цел е изключването на различни жизненоважни системи от бита и/или производството на обществото и подпомага избягването и/или елиминирането на пожари, взривове, опасни прозидводства, катастрофи от дерайлиране, прекъсване на енерго и комуникационни мрежи и други подобни.

Литература:

- [1] Рангелов, Б. 2012. Разгневената Земя – природните бедствия, Изд.БАН, С., 294 с.
- [2] Ranguelov, B. 2011. Natural Hazards – nonlinearities and assessment, Acad. Publ. House (BAS), С., 327
- [3] Ranguelov, B., 2013. Initial steps to the early warning systems in Bulgaria – earthquakes, tsunamis, marine hazards, Geophysical Res. Abst., Vol. 15, EGU2013-8239.
- [4] Ranguelov, B., T. Iliev., 2013. Geography aspects of the monitoring and early warning seismic system in Bulgaria., 3rd Intl. Geography Symp., 10-13 June, Kemer, Turkey, 287.
- [5] Ranguelov B., Radichev R., Dimovsky S., Oaie G., Dimitriu R., Diaconescu M., Palazov A., Dimitrov O., Shanov S., Dobrev N., 2011. MARINEGEOHAZARDS Project – key core elements of the early warning system in the Black Sea., Ann. of M&G University, Vol. 54, Part I, Geology and Geophysics, p. 177-182.
- [6] Ranguelov B., G. Mardirossian, N. Marinova, E. Spassov, 2012. Early warning systems – EWS (earthquakes and tsunamis) and their effectiveness., Seventh Scientific Conference, - S E S 2 0 1 1 , 29th November – 1st December 2011, Sofia, Bulgaria, p. 307-312.



- [7] Rangelov B., Paskaleva I, Radichev R, Dimovsky S, Tzankov Ch, Kisiov A, Yankova M, Iliev T, Margarita V., 2013. Complex geophysical investigation for development of seismic monitoring and quasi EWS around Pernik city., Proc. 7th Balkan Geophysical Congress., Tirana, 7-10th October, 2013 (on CD).
- [8] Rangelov B., Georgiev A., Spassov E., 2006, Natural hazards and early warning systems. Ann. M&G University, vol.49, part I, Geology and Geophysics, p. 209-212.
- [9] Rangelov, B., 2013. Initial steps to the early warning systems in Bulgaria – earthquakes, tsunamis, marine hazards, Geophysical Res. Abst., Vol. 15, EGU2013-8239.