

10. Методите за дългосрочно прогнозиране на земетресенията (място и сила)

В настоящата лекция приносът на автора е минимален. Тя изцяло отговаря на материалите подготвени от акад. Л.Христосков за изготвяне на Концепцията за ново сеизмично райониране на България, чийто ръководител бе акад. Л.Христосков.

При традиционните сеизмотектонски изследвания, извършвани досега за територията на България, независимо от избрания подход за определяне на зоните, които са в състояние да генерират силни земетресения (Gorshkov et al., 1974; Karagjuleva, Grigorova, 1976; Рейснер, 1980; Boncev et al., 1982; Бунэ и др., 1982; Костадинов и др., 1992), винаги се завършва с представянето на дългосрочни прогнозни оценки за възможните максимални магнитуди, които биха могли да се генерират от дадена площ или тектонска структура (разлом, тектонски възел). При това, въпреки някои очевидни различия в прогнозите, се създават необходимите предпоставки за изчисляване на коефициентите K_c и b , които или стават задължителни норми за обикновеното строителство в страната (Норми за проектиране..., 1987) или се определят конкретно за отговорни съоръжения (язовирни стени, електроцентрали и др.).

Първоначално в България е използван така наречения сеизмо-статистически вариант на сеизмичното райониране, при който картата на максималните наблюдавани интензивности I_{max} е играла ролята и на карта на сеизмичното райониране. Картата I_{max} е използвана в ранните правилници за проектиране и строителство в земетръсните райони на страната (виж таблица 1). Този вариант се прилага в световната практика до към края на 60-те години, а в някои страни и понастоящем. С други думи, сеизмо-статистически вариант на сеизмичното райониране отразява реализираната до даден момент земетръсна активност. Естествено, колкото е по-дълъг периода на наблюдение назад в историческо време, толкова по-пълна ще бъде получената картина на земетръсните въздействия. За България картата I_{max} може да се отнесе към наблюдателен период от около 200 г. Сеизмо-статистическият вариант не предлага оценка за местоположението на зоните на земетръсните източници, нито за периода на повторемост на въздействията с определена интензивност.

Комплексно използване на геоложки и геофизични критерии

РЕЗЮМЕ НА ОБЯСНИТЕЛНАТА ЗАПИСКА КЪМ КАРТИТЕ ЗА СЕИЗМИЧНО РАЙОНИРАНЕ НА Р БЪЛГАРИЯ (по оригинала от 1979 г.)

Територията на България обхваща централната сеизмоактивна част на Балканския полуостров, който се явява и сравнително активен земетръсен район в Европа. През периода на организирани наблюдения у нас (около 80 години) в страната са станали 13 силни и разрушителни земетресения. Исторически сведения сочат за земетресения с разрушителни последици и в миналото.

С разпореждане № 14 от 05.03.1977 г. на МС бе възложено на БАН да изработи нова съвременна карта за сеизмично райониране на страната. При съставянето на новата карта бяха приложени следните основни принципи:

1. Картата да бъде прогнозна, да дава оценки за опасността от очакваните в бъдеще земетресения.

2. Методически изработването трябва да бъде осъществено по такъв начин, че да изключва завишаване на сеизмичната опасност, което не е обосновано от фактическия материал, но същевременно да се избегне пропускане на потенциално опасни зони.

3. Съставянето на картата трябва да се осъществи в два етапа: през първия да се създаде прогнозна карта на възможните огнища на земетресения (ВОЗ), като се прогнозира зоните, в които могат да се очакват бъдещи земетресения с определен максимален магнитуд; през втория етап на основата на картата на ВОЗ да се изчислят ефектите от тези земетресения по скалата МШК – 64 върху земната повърхност за преобладаващите геоложки условия, като се дава оценка за честотата (периода) на повтаряемост на сътресенията.

4. За съставянето на картата да се приложат най-съвременните методи за сеизмично райониране, известни в световната литература и практика и в частност методите, използвани по време на Балканския проект на ЮНЕСКО.

5. За изработването на картата да се използва цялата налична и допълнително необходима сеизмоложка, геоложка и геофизична информация с оглед пълно и комплексно изясняване сеизмогенността на страната.

6. Като базова територия за изследване да бъде взета освен територията на България, още и съседните области, от които биха могли да се очакват силни разрушителни въздействия върху нашата страна.

7. За условията на изученост на базовата територия мащабът на разработката не може да бъде по-едър от 1:1000000.

Окончателните разработки бяха подложени на обсъждане на Националната конференция по антисеизмично строителство, състояла се в Пловдив на 28-29 юни 1979 г. В изпълнение решенията на конференцията на 25.10.1979 г. се състоя разширено заседание на работната група, Координационния съвет и представители на МССМ, КАБ, МЕ, ВИАС, на което след ново обсъждане се прие следното решение:

"За целите на подготвящите се "Норми и правила за строителство в земетръсни райони" да се използва прогнозната карта за период повторна сътресаемост 1000 (хиляда) години, тъй като тя носи най-богата обективна информация, съобразена е най-добре с периода на повтаряемост на силните земетресения и добре съответства на установените досега максимални интензивности на регистрираните земетресения.

Сеизмичните интензивности на картата 1:1000000 за период 1000 (хиляда) години се отнасят за преобладаващите инженерно-геоложки и хидрогеоложки условия в земетръсните зони, съответстващи на мащаба на картата.

Основните геоложки материали, съставени с малки изключения за цялата базова територия, включват (все в М 1:1000000):

1. Карта на съвременните движения на земната кора, с нанесени скоростите на съвременните вертикални движения на кората чрез изолинии през един мм/год.

2. Карта на неотектонските движения, отразяваща регионалните различия в интензитета и знака на вертикалните движения през неоген-кватернерния стадий.
3. Карта на фотолинеаментите, дешифрирани по космически снимки.
4. Карта на разломите, установени по геоложки данни.
5. Карта на линеаментите, установени по геоложки данни.
6. Карта на неотектонските линеаменти – съставена по експертна оценка на базата на изброените до тук материали.
7. Карта на линеаментните зони.
8. Схема на структурно-зоналното райониране.
9. Тектонска карта.
10. Историко-тектонска карта на вертикалните движения с акцент на ускорените движения през неотектонския етап и на областите с променлив знак на движение.
11. Карта на възможните огнищни зони по геоложки данни. Съставена на базата на изброените до тук материали по експертна оценка.
12. Инженерногеоложка карта на НРБ. Отражено е пространственото разпространение на разкриващите се на повърхността инженерно-геоложки типове скали и комплекси.
13. Инженерногеолошко райониране на България по типове скални масиви на дълбочина 1000 м.
14. Карта на нивото на подземните води.

Основните геофизични материали са:

15. Карта на геотермичните аномалии на НРБ. Показани са областите с повишени величини на геотермичния градиент и хидрогеотермичните аномалии на дълбочина 1 км.
16. Структурна схема на границата Мохоровичич.
17. Структурна схема на повърхността на фундамента. Обхваща областите със закрит фундамент: байкалския в Северна България и Влашко и ларамийския – в Южна България.
18. Карта на изостатичните аномалии.
19. Карта на хоризонталния градиент на изостазията.
20. Схема на геофизичните признаци на разломните структури. Използвани са данни от гравиметричната и магнетометричната карта на НРБ, сеизмични и сеизмоложки данни.
21. Схема на повърхността на базалтовия слой.
22. Схема на изобахитите на базалтовия слой.
23. Схема на изобахитите на гранитния слой.
24. Дълбочинни геолого-геофизични профили, показващи строежа на земната кора на територията на България във вертикален разрез. Съставена е по комплексни данни с използване и на 8 опорни разреза по данните на ДСС (дълбочинно сеизмично сондиране).

Сеизмоложките материали включват:

25. Каталог на земетресенията от 489 г. преди н.е. до 1977 г. (по инструментални данни за периода 1901-1977 г.). Включени са общо 1649 земетресения, от които 98 за периода след 1971 г. Общо 921 земетресения се разглеждат като основни, независими събития.

26. Изосеистни карти (550 на брой) – макросеизмичните степени са приведени към скалата МШК-64.

27. Оценка на параметрите на макросеизмичното поле.

28. Модели на изосеистите. Построени са въз основа на изосеистните карти с използване на параметрите на макросеизмичното поле на базата на осредняване на площите и радиусите за изосеистите от различните степени.

29. Карти на епицентрите – 6 карти: сборна, с диференциация по магнитуд и дълбочина; по периоди.

30. Графици за зависимостта между дълбочината и магнитуда на земетресенията.

31. Карти и графици на плътностите на епицентрите (5 броя)

32. Карта на сеизмичните линеаменти по разположението на епицентрите.

33. Карта на сеизмичните линеаменти по плътността на епицентрите.

34. Карта на сеизмичните линии.

35. Карта на направленията и размера на огнищата.

36. Карта на дълбочината на сеизмоактивния слой.

37. Графици на повтаряемостта по зони, по етажи и за целия район.

38. Карта на сеизмичната активност.

39. Карта на наблюдаваните огнищни зони на земетресенията.

40. Карта на сеизмичните линеаменти.

Изброените до тук материали бяха предназначени, за да послужат за основа, за да се изработи една серия междинни карти:

41. Карта на геоложките признаци за сеизмичната опасност.

42. Карта на възможните огнищни зони по сеизмоложки данни.

43. Комплексна карта на сеизмичните линеаменти.

44. Карта на комплексните линеаменти.

45. Карта на комплексните линеаментни възли.

46. Карта на сеизмотектонската активност.

47. Карта на максималните магнитуди в зоните на възможните огнища на земетресенията.

48. Комплексната карта на възможните огнища на земетресенията по геоложки, геофизични и сеизмоложки данни (ВОЗ) е построена за всяко магнитудно поле поотделно. При очертаването на отделните зони е съблюдавано следното:

а) При отсъствие на значително отклонение "надолу" на геоложката оценка, приета е сеизмоложката оценка по дължината на определящия линеамент до първия възел;

б) При отсъствие на значително отклонение "надолу" на сеизмоложката оценка, геоложката оценка се съпоставя със следващото надолу магнитудно ниво и при повторно съвпадение тя е приета като прогнозна. Очертани са площите за

магнитудните интервали: 8,1-8,5; 7,6-8,0; 7,1-7,5; 6,6-7,0; 6,1-6,5; 5,6-6,0; 5,2-5,5; 4,6-5,0; 4,1-5 и <4,0.

В последния етап на работата се построи набор от карти на сътресаемостта за различни периоди – 100, 1000 и 10000 години.

Основни работни хипотези се явяват:

1. Земетресенията в магнитудния интервал от 4.6 до 8.5 възникват с една и съща вероятност, в който и да е участък на зоните ВОЗ;

2. Зоните на ВОЗ равномерно могат да се запълват с огнища на земетресения, имащи магнитуд по-малък от и най-много равен на M_{\max} за дадена зона, като в една и съща точка не могат да възникнат две последователни земетресения с един и същи магнитуд преди да е запълнена цялата зона;

3. За изчисляване на повтараемостта на сътресенията е достатъчно да се използват модели на изосеистите на земетресения през половин магнитудна единица, т.е. за $M=5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5$;

4. Моделите на изосеистите за различните магнитудни нива отразяват най-вероятните контури на разпределение на интензивността върху земната повърхност в случай бъдеща реализация на земетресения с дадена стойност на магнитуда. Това означава, че ще са взети максималните наблюдавани контури, които и в бъдеще могат да бъдат реализирани. Следователно се занижава площта на сеизмичното въздействие.

5. Зоните на ВОЗ, в които до сега не е реализирано или не е документирано реализирането на земетресението с прогнозната стойност на M_{\max} , графика на повтараемостта се екстраполират до стойността на M_{\max} въз основа на данните за по-слабите, но вече станали в тази зона земетресения, при наклон на графика 0.8;

6. Зоните на възможни огнища на земетресения съгласно комплексната карта на ВОЗ непрекъснато се разклоняват, като се добавят нови участъци с по-ниска стойност на M_{\max} . Напр. неголеми площи на ВОЗ с $M_{\max}=7.5$ някои случаи се явяват естествено продължение на зони ВОЗ с $M_{\max}=8.0$. В тези допълнителни площи с $M_{\max}=7.5$ количеството на земетресенията най-често е недостатъчно за определяне на параметрите на графика на повтараемостта. В такъв случай се предполага, че огнищата на земетресения с $M=7.5$ с еднаква вероятност могат да станат в разширената площ на зоната на ВОЗ с $M_{\max}=8.0$ с включването ѝ на съседните участъци на зоните с $M_{\max}=7.5$. По аналогичен начин става нарастването на площите при добавянето на участъци с $M_{\max}=7.0$ и т.н. Този факт по принцип води до занижаване на сеизмичната опасност, т.е. до удължаване на периода на повтараемост на земетресенията, факт който при съвременния етап на методиката на работа не може да бъде избегнат;

7. Картата на сътресаемостта не отразява интензивности по-високи от 9 степен. Това не означава, че такива интензивности изобщо ще отсъстват в бъдеще. За зони с $M_{\max} \geq 7.0$ интензивности по-високи от 9 степен ще се наблюдават като отделни петна или изцяло могат да запълнят контурите на зоните на ВОЗ за $M \geq 7.0$, дадени на комплексната карта на ВОЗ;

8. Построяването на картата на сътресаемостта почива на чисто геометрически принцип. Следователно е необходимо геометричните форми на площите с интензивност от VII, VIII, IX степен върху окончателните карти да бъдат

съобразени с реалните релефни форми и структури, инженерно-геоложки и хидрогеоложки условия.

Построяването на картата на сътресаемостта е извършено в съответствие със съвременната методика и принципи на изчисление в следната последователност:

а) Определя се площ s_m на всяка зона с възможно земетресение $M_{max}=M$ от комплексната карта на ВОЗ. Изчисляват се площите nm на огнищата със съответни стойности на магнитуда M . Намира се коефициента $n_m = s_m/nm$, който показва колко земетресения с магнитуд M могат да запълнят равномерно площта на възможната огнищна зона;

б) По параметрите на графика на повтаряемостта се определя периода T_M между две последователни земетресения с магнитуд M за дадена зона на ВОЗ. Изчислява се периода (интервала) на повтаряемостта на земетресенията P_M за модел на изосейстите за земетресение с магнитуд M , като произведение от T_M и n_m ; $P_M = T_M \cdot n_m$;

в) Контурът на площта s_m на ВОЗ с магнитуд M се обхожда (графически) с модела на изосейстите за земетресения с магнитуд M , в чийто геометрически център е нанесен размерът на огнището на това земетресение. В същото време се очертават контурите на зоните с интензивност от 9, 8, 7 степен, които се получават когато в пределите на s_m се реализират равномерно по площта n_m земетресения с магнитуд M . Контурите с интензивност 9, 8, 7 се означават със съответния интервал на повтаряемост на сътресенията P_M ;

г) Описаната процедура се повтаря последователно за всички модели на изосейсти за земетресение с магнитуд $M < M_{max}$ като се изчертават съответните контури на интензивността и нанасят стойностите на периодите за повтаряемостта на сътресенията P_M . Периодът на сумарната повтаряемост на сътресенията T_I за интензивност $I=9, 8$ и 7 степен се определят за всеки контур на конкретна зона на ВОЗ от съотношенията:

$$\frac{I}{T_9} = \frac{I}{P_{8.5}} + \frac{I}{P_{8.0}} + \frac{I}{P_{7.5}} + \frac{I}{P_{7.0}} + \frac{I}{P_{6.5}}$$

$$\frac{I}{T_8} = \frac{I}{T_9} + \frac{I}{P_{6.5}} + \frac{I}{P_{5.5}}$$

$$\frac{I}{T_7} = \frac{I}{T_8} + \frac{I}{P_{5.0}} + \frac{I}{P_{4.5}}$$

Съотношенията са написани за $M_{max}=8.5$. За зоните с по-малка стойност на M_{max} съответно се махат членовете за по-високите стойности на магнитуда.

Когато от две или повече зони на ВОЗ контурите се припокриват, окончателният период на сътресаемост се пресмята за общите площи с дадена интензивност по формули, подобни на дадените по-горе;

д) Картите за различните периоди на повтаряемост на сътресенията (сътресаемост) обхващат контурите за T_9, T_8 и T_7 за означения на картата период в следните граници: за $T=100$ между 30 и 300 години; за $T=1000$ между 300 и 3000 години и за $T=1000000$ между 3000 и 30000 години. За междинните карти с $T=550$ и

$T=250$ години интервалите са съответно 190-1650 и 80-750 години. Тези интервали съответстват на реалната точност, с която могат да се определят диапазоните между две земетресения с еднакъв магнитуд на графика на повтаряемостта. Използването на междинни карти не е желателно поради това, че те застъпват интервали от основните карти за 100, 1000 и 10000 години, което може да доведе до неоценка на реалната сеизмична опасност.

Подготовката на картите на ВОЗ и сътресяемостта е пряко свързана с качеството на каталога на земетресенията, интервала от време, който каталогът покрива и реалната възможност за получаване на физически правдоподобен закон за повтаряемостта на земетресенията не само за цялата територия, но и за отделни сеизмични зони в нея. Каталогът на земетресенията обхваща период от около 2500, но наред с това плътността на данните за историческия период до 1900 г. е неравномерна. В интервала до 3-9 век са отразени само най-силните събития ($M 7.5$), при това част от тях могат да бъдат пропуснати. От 900-1000 год. до 1900 плътността на данните е значително по-добра, тяхната представителност в смисъл на датировка, точност в координатите и сила на източника значително нараства. Тази част от каталога за последните 1000 г. удовлетворява основните изисквания за точност в статистическото оценяване на графика на повтаряемостта на земетресенията. Резервата от още 1000 до 1500 г., особено за най-силните земетресения, дава сериозни основания да се смята, че точността на построяване на графика на повтаряемостта удовлетворява изискванията за построяване на основната редица карти за 100 и 1000 г. и с екстраполация в големите магнитуди над 8 и за картата в 10000 г., като доверителни интервали за тези карти съответстват на по-горе споменатите цифри за всяка от разглежданите сеизмични области.

От тази гледна точка картата за 1000 г. носи най-пълна информация за миналия опит, като отразява достоверно и ефектите от земетресения с магнитуд до 8, без да е допусната екстраполация. От приложената табл. 1 се вижда, че максималните земетресения на картата на ВОЗ за отделните зони са почти без изключение с периоди на повтаряемост в интервала 300-3000 г., т.е. достоверността на максималното въздействие на картата 1000 години е безспорно. Изключение правят само данните в Дулово и Казанлък, чиито максимални земетресения могат да се реализират в периоди между 6000 и 10000 г. При това болшинството най-активни зони като Струма, Места, Одрин са на долната граница на интервала, което значи, че за тези зони няма да има съществена разлика на картите за 500 години. От тази гледна точка преход към по-къс период на повтаряемост ще направи несравними от гледна точка на точността отделните сеизмични зони в страната, т.е. има опасност да бъде недооценена възможната максимална интензивност, която вече е била наблюдавана.

Таблица 10.1

Район	$\Delta M =$	Периоди на повтаряемост в години за				
		8.0-8.5	7.7-8.0	7.1-7.5	6.6-7.0	6.1-6.5
М. море		1260	501	200	80	32
Шабла	-	-	4200	1600	660	263
Кресна	-	-	1000	390	155	62
Дулово	-	-	-	6250	2500	1000
Казанлък	-	-	-	10000	3980	1580
Пловдив	-	-	-	390	155	62
Вардар	-	-	-	1000	400	158
Кавала	-	-	-	1050	420	166
Г.Оряховица	-	-	-	-	2190	871
Одрин	-	-	-	-	420	166
София	-	-	-	-	1000	398

Таблица 10.2

Карти	Територията на страната в %, заети от различните степени					
	Степени (интензивности) по МШК-64					
	VI	VII	VIII	IX	X	VII-X
Правилник *	78(60)	17(34)	4(5)	0.5	0.5	22(40)
Максим. интенз.	36	49	11	3.5	0.5	64
T=1000 (Балкански проект 1977 г.)	23	20	19	22	16	77
Нова T=1000	2	51	28	19	-	98
Нова T=500	2	58	23	17	-	98

* цифрите в скоби са за допълнителната карта от м. май 1977 г.

Ако се направи едно сравнение на площите в проценти, заети от различните степени на територията на страната (табл. 2) ще се види, че картата за 1000 г. (нова) е действително прогнозна карта по отношение на картата на наблюдаваните интензивности. При тях има съвпадение на площите със VII степен (49 и 51) и по отношение на VIII и IX (X степен е премахната на картата за 1000 год.) площите са нараснали съответно 2.5 и 4 пъти, но като са добавени нови зони, в които такава интензивност реално може да се очаква. Съотношението между площите за T=1000 на Балканския проект и новата карта е в полза на последната. За Балканския проект VIII степен покрива 57% от територията на страната, а на новата 47%.

Тук следва да се имат предвид обстоятелствата, изброени в т.4, 6 и 7, от където се вижда, че използването на картата за 1000 години е най-обосновано.

* * *

Картата за сеизмичното райониране на прогнозната интензивност (сътресаемост) на територията на НР България в мярка 1:1000000 е начертана въз основа на формализирано геометрично изображение на площи с IX, VIII, VII и VI степен с частични корекции на границите им. Направените корекции повторно отчитат комплекса от геоложки фактори, съобразени още при самото формализирано очертаване на границите на отделните райони с очакваната сътресаемост.

Геоложките фактори включват:

- Главните особености на геоложкия и тектонския строеж на районите;
- Генерализираните инженерногеоложки и хидрогеоложки условия;
- Основните геоморфоложки структури.

Сеизмичните интензивности (степени по МШК-64) от картата за районирането се отнасят главно за геоложки условия, характерни и преобладаващи за населени места, в чиито територии е набрана съществуващата макросеизмична информация и използвана самата карта.

Геоложките условия, срещащи се най-често в сеизмоактивните зони на страната представляват:

- Равнинни или слабо наклонени терени – речни тераси и междупланински котловини; комплекси от речни и езерни наноси – несвързани (чакъли, пясъци) и свързани (глини, пясъчливи глини и глинести пясъци), с променлив състав, физикомеханични и сеизмоакустични свойства в хоризонтално и вертикално направление; водоносни хоризонти с различна дълбочина на залегане на нивото на подземните води;

- Склонове, изградени от скали, полускални и смесени разновидности, покрити с блокажи скални късове и пясъчливо-глинести отложения (склонови насипи) или с изветрителен слой.

Локалните тектонски, инженерногеоложки и хидрогеоложки условия в територията на страната ни са изключително разнообразни и бързо променящи се на малки площи, и те не могат да бъдат точно отразени на картата в мярка 1:1000000. Наложителни са подробни инженерно-геоложки и инженерно-сеизмоложки проучвания на строителните площадки за конкретизиране на сеизмичната интензивност при проектирането на съоръженията.

Прогнозният характер на картата, дребният ѝ мащаб и пъстротата на геоложките условия налагат необходимостта от:

- Продължаване и задълбочаване на комплексните научни изследвания и набиране на допълнителна разностранна информация за усъвършенстване на методите на макросеизмичното райониране и на прогнозното картосъставителство;

- Категоризация на инженерногеоложките и хидрогеоложките условия под инженерните съоръжения с оглед коригиране на сеизмичната интензивност, отразена на картата;

- Прилагане на модерни методи и изготвяне на нормативни указания за практическото използване на картата с отчитане на сеизмичния риск за различните категории съоръжения, типове конструкции, начини на фундиране и пр.;

- Провеждане на подробни инженерно-сеизмоложки проучвания на конкретните площи, предвидени за строителство, а също и под фундаментите на строителните съоръжения;

- Оценка на сеизмичната интензивност и сеизмично микрорайониране на площи и отговорни съоръжения на базата на комплексни сеизмоложки, тектонски, инженерногеоложки и хидрогеоложки изследвания. Сеизмоложките изследвания и сеизмичното микрорайониране да се въведат като задължителен етап при проучването и проектирането на важните строителни обекти в земетръсните райони.

ЛИТЕРАТУРА

Boncev E., V.I.Bune, L.Christoskov et al., 1982. A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. Geologica Balcanica, Vol.12 No2, 3-48.

Христосков Л. Основни принципи при съставяне на картата на сеизмичното райониране на НРБ. Докл. национ.конф.по антисеизмично строителство, Пловдив, 28-29 юни 1979, 21-34.

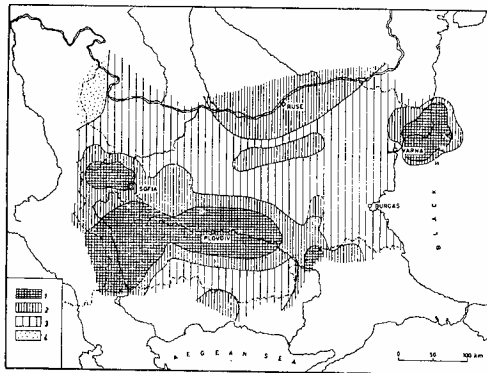
Приложение 9.1

Карта на зоните ВОЗ – 1 бр.

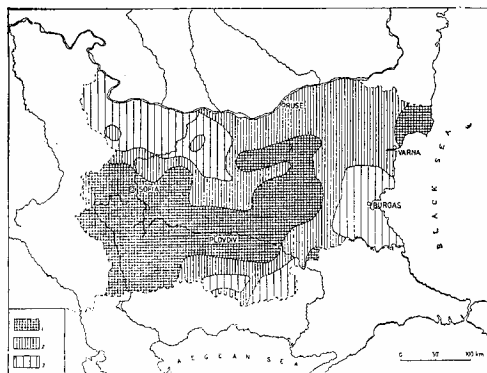
Приложение 9.2

Кarti на сътресяемостта – 2 бр.

Приложение 9.2



Карта на сътресяемостта на територията на България за 1000 години (по Voncev et al., 1982).



Карта на сътресяемостта на територията на България за 10000 години (по Voncev et al., 1982).