

## **9. Оценка на магнитудите на максимално силните земетресения, които могат да се генерират от дадена сеизмогенна структура**

### **Съвременни концепции**

#### **1) Идентифициране на сеизмогенни структури**

Идентификацията на сеизмогенни структури е от основно значение за оценката на сеизмичния hazard за дадена площадка. В оценките се включват структурите, оказващи влияние върху нивото на земните движения на площадката. Основните препоръки за идентифициране на сеизмогенни структури са:

-Сеизмогенни структури се идентифицират въз основа на сеизмологични, геофизични и геоложки данни, от които могат да се извлекат директни или индиректни доказателства за сеизмичната активност на конкретната структура.

-За идентифициране на сеизмогенните структури от съществено значение е наличието (или липсата) на корелация между геолого-геофизичните особености на структурата и историческата и/или инструменталната сеизмичност.

-Ако земетресение или група земетресения се свържат с геоложки разпозната структура първо се търси разумна обосновка на установената връзка, след което се определят специфичните характеристики на структурата-геометрия, географско положение и връзка с регионалната тектонска мрежа.

-За разпозната структура се разглежда и допълнителна информация (ако има такава) такава като точност на локализацията, механизъм на земетресенията, поле на напреженията и пространствено разпределение на автършоковата активност.

-Съществено е сравнение на разпознатите структури с други структури в района, по отношение на възраст и тектонска активност. Сеизмогенна структура е геоложки дефинирана структура, надеждно свързана със сеизмични реализации.

-Обединяването на сеизмогенните структури в сеизмотектонски модел трябва да се основава на наличните данни и неточността на определянето им. За области с ограничени данни не е необходимо привързване на сеизмичността към геоложки структури, особено ако тези области са отдалечени от площадката.

Данните за местоположението и характеристиката на разломите и другите тектонски структури, заедно със сеизмичността при изследванията в регионален мащаб, са най-съществената информация за оценка на горната граница на магнитуда и потенциалните места на възникване на земетресения. За изготвянето на сеизмотектонския модел са необходими данни от три източника:

\* Геоложки и геофизични данни:

- за дебелината и характеристика на земната кора;
- за разломите и възрастта на разместваните от тях скални формации;
- за най-младите регистрирани движения (неотектонски и съвременни).

\* Сеизмоложки данни за разпределението на сеизмичността в региона с известните разломи и тектонски структури;

\* Сведения (исторически и палеосеизмоложки), които показват, че по даден разлом е имало разкъсвания и деформации на земната повърхност, или че земетресенията биха могли с достатъчна сигурност да се свържат с определен разлом.

Принципната схема за използването на геоложката и палеосейсмоложката информация на етапа на характеризиране на сеизмичното огнище от дадена сеизмотектонска зона за нуждите на оценката на сеизмичния hazard, може да бъде следната (съгласно Zhang, 1993 с изменения):



Фиг. 9.11 Блок-диаграма за използването на геоложката и палеосейсмоложка информация на етапа на характеризиране на сеизмичното огнище (по Zhang, 1993 с изменения).

## 2) Максимално очаквано земетресение свързано с идентифицираните сеизмогенни структури

-За всички идентифицирани сеизмогенни структури се определя максималното очаквано земетресение. За тази оценка се използват данни за размера на структурата, амплитуда и посока на преместванията, палеосейсмологични данни, честота на земетресенията, също така е препоръчително сравнение с подобни структури, за които съществува богата историческа информация.

-Когато съществува достатъчно информация за сеизмологичната и геоложка история на движенията и/или преместванията по разлома или структурата е възможно да се оценят размерите на руптурата и/или преместването при едно бъдещо земетресение и чрез прилагане на съответни методи да се определи и магнитудът на максималното очаквано земетресение от тази структури.

-При липса на подходящи данни максималното очаквано земетресение за идентифицирана сеизмогенна структура може да се оцени от цялостния ѝ размер. За да се използват тези оценки трябва допълнително да се определи фрагментът от общата дължина на структурата, който може да се активизира при реализацията на едно земетресение.

-Съществуват и други методи, основаващи се на статистически анализ на магнитудно-честотното разпределение на земетресенията, генерирани от структурата.

### **3) Идентификация на зони с дифузна сеизмичност**

-За целите на сеизмичния хазарт е въведено понятието “сеизмотектонска провинция” за представяне на дифузната сеизмичност. Предполага се, че сеизмотектонската провинция обхваща област с еднакъв сеизмичен потенциал.

-Внимателно трябва да се определят границите на зоните с дифузна сеизмичност, така че те да обхващат, до колкото е възможно, близки територии с дифузна сеизмична активност със близка честота и характеристики.

-За дефиниране границите на зони с дифузна сеизмичност могат да се използват съществени различия в повторемостта на земетресенията, които предполагат различни тектонски условия. Този подход е приложим ако историческите данни покриват достатъчно дълъг период от време за да се предполага достоверност на получените резултати. Значителни разлики във фокалната дълбочина на земетресенията (напр. 10-30 км към 200-400 км) могат да се използват за диференциация на зони.

### **Максимално очаквано земетресение**

Най-важният параметър, който трябва да се оцени за всеки елемент от сеизмотектонския модел е максималното очаквано земетресение, което може да се генерира от съответната сеизмогенна структура или област с дифузна сеизмичност.

За всеки елемент на сеизмотектонския модел трябва да се определят необходимите за оценката на сеизмичния хазарт параметри на сеизмичната активност, както и точността с която са определяни тези параметри и/или интервалите, в които варират.

### ***Максимално потенциално земетресение за сеизмогенни структури***

Когато съществува достатъчно информация за сеизмологичната и геоложка история на движенията и/или преместванията по структурата е възможно да се оценят максималните размери на разкъсването и/или преместването при едно бъдещо земетресение. Чрез прилагане на съответни методи се определя магнитудът на максималното очаквано земетресение за тази структура. За оценка на сеизмичния потенциал ( $M_{max}$ ) на добре дефиниран разлом могат да се използват емпирични релации между максимален магнитуд и размерите на разкъсването (дължина  $L$ , вертикален размер  $W$ , относително преместване  $D$ ). За оценка на максималното потенциално земетресение се прилагат емпирични релации, получени въз основа на данни за съответния регион (ако съществува достатъчно информация) или обобщени зависимости, определени по данни от целия свят.

В Таблица 9.1 са представени емпирични зависимости между максимален магнитуд и дължината на разкъсването  $L$  [ $M=M(L)$  и  $L=L(M)$ ], получени въз основа на селектирани световни и налични регионални данни. На Фиг.2 са представени графично връзките  $L=L(M)$  (от номер 10 до номер 18). Сравнително близки оценки се получават по формула 10 (Wells and Coppersmith, 1994) - най-често прилаганата зависимост при

оценка на сеизмичния hazard в съвременните изследвания и формули 14 (B. and C. Papazachos, 1989), 15 (Kiritzi et al., 1985) и 16 (Христосков, Енева, 1985), и трите получени по данни основно от Балканския регион.

При липса на надеждни данни за идентифицирана сеизмогенна структура, максималното очаквано земетресение може да се оцени на основата на цялостния ѝ размер. За да се използват такива оценки трябва допълнително се определи максималната дължина на сегмент, който може да се активизира при реализацията на едно земетресение.

За оценка на  $M_{max}$  могат да се използват и методи, основаващи се на статистически анализ на магнитудно-честотното разпределение на земетресенията, генерирани от съответната структура.

В практиката се прилага и подходът на “експертно решение”, който се базира на наличната геолого-геофизична и друга информация, историческа и съвременна сеизмичност и/или магнитудно-честотната зависимост за земетресенията, генерирани по съответната сеизмогенна структура.

### **Максимално очаквано земетресение от зони с дифузна сеизмичност**

За зоните с дифузна сеизмичност максималното очаквано земетресение се оценява въз основа на исторически данни и сеизмотектонските характеристики на зоната. В случай, че данните за зоната са непълни се прилагат подходите: сравнение с райони, за които историческите данни са с необходимата статистическа пълна и продължителност във времето и/или “експертно решение”. Тези подходи трябва да се прилагат с необходимата компетентност и внимание.

**Таблица 9.1 Емпирични зависимости между силата на земетресението  $M$  и дължината на разкъсването  $L$**

N	Релация	Данни	Магнитуден интервал	Източник
1	$M=5.16+1.12 \log LS$	43(С.Д.)	5.6-8.1	Wells and Coppersmith, 1994
2	$M=5.00+1.22 \log LS$	19(С.Д.)	5.4-7.4	Wells and Coppersmith, 1994
3	$M=4.86+1.32 \log LS$	14(С.Д.)		Wells and Coppersmith, 1994
4	$M=5.08+1.16 \log LS$	77(С.Д.)	5.2-8.1	Wells and Coppersmith, 1994
5	$M=4.33+1.49 \log L$	93(С.Д.)	4.8-8.1	Wells and Coppersmith, 1994
6	$M=4.49+1.49 \log L$	50(С.Д.)	4.8-7.6	Wells and Coppersmith, 1994
7	$M=4.34+1.54 \log L$	24(С.Д.)	5.2-7.3	Wells and Coppersmith, 1994
8	$M=4.38+1.49 \log L$	167(С.Д.)	4.8-8.1	Wells and Coppersmith, 1994
9	$M=5.13+1.14 \log L$	150(Р.Д.)*	5.0-8.0	Ambraseys and Jackson, 1998
10	$\log L=-2.44+0.59M$	167(С.Д.)	4.8-8.1	Wells and Coppersmith, 1994
11	$\log L=-7.99+1.32M$	(С.Д.)	-	Kasahara, 1981
12	$\log L=1.35+0.44(M-6)$	(С.Д.)	0.5-8.5	Ризниченко, 1976
13	$\log L=-4.09+0.82M$	150(Р.Д.)*	5.0-8.0	Ambraseys and Jackson, 1998
14	$\log L=-1.85+0.51M$	21(Р.Д.)	5.8-7.4	B. and C. Papazachos, 1989
15	$\log L=-2.55+0.61 M$	11(Р.Д.)	5.8-7.5	Kiritzi et al., 1985
16	$\log L=-2.03+0.55 M$	18(Р.Д.)	6.3-8.0	Христосков, Енева, 1985
17	$\log L=-5.76+1.02M$	САЩ (Р.Д.)	-	Kasahara, 1981
18	$\log L=-2.9+0.6M$	Япония(Р.Д.)	-	Kasahara, 1981

Най-нови формула, изведени за Егейския регион:

19	$M=0.90 \log L + 5.48$	36 (Егейски регион)	5.2-7.9	Pavlidis, Caputo, 2003
----	------------------------	---------------------	---------	------------------------

В Таблица 9.1 са използвани следните означения:

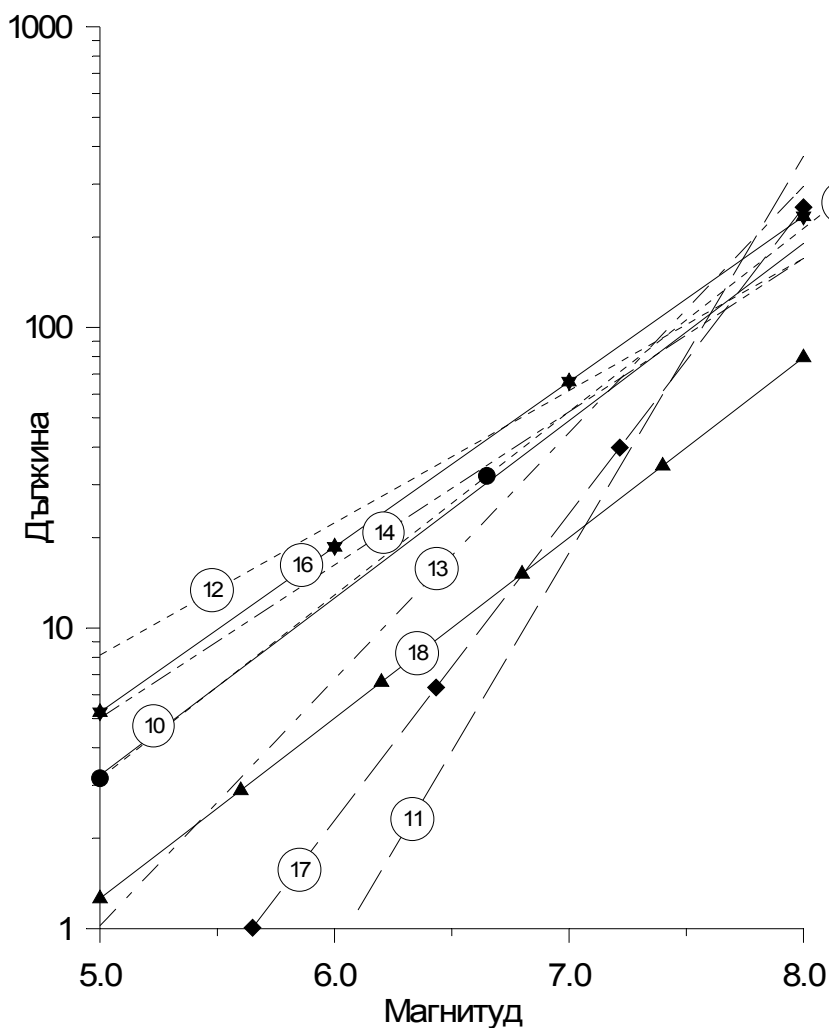
M-магнитуд по повърхностни вълни;  $L_S$ -дължина на повърхностното разкъсване в km; L-дължина на разкъсването в дълбочина в km; log-десетичен логаритъм; Всички-за определяне на релациите са използване всички налични данни без да се отчита типът на движението в огнището (механизмът на земетресението); в графа Данни е посочен броят на изходните данни (ако е известен) и в скоби е даден регионът, от който са данните, като:(С.Д.)-данни от целия свят; (Р.Д.)\*-регионални данни от Източно Средиземноморие; (Р.Д.)-регионални данни (без друга индикация данните са от Балкански полуостров и околностите му).

Някои от използваните емпирични връзки отчитат геотектонската позиция на активните разломи, както това е направено за области от платформен тип в руското ръководство (Министерство..., 1983):

$$M = 1.5 \log L + 1.4$$

Тази формула е приложима са разломните структури на Мизийската платформа, които показват активност, но тя е несравнимо по-ниска от тази на активните сеизмични зони.

По-принцип, пригодността на отделните формули донякъде е въпрос и на експертна оценка. Наличната информация за конкретна сеизмогенна структура може да насочи към предпочитание на една или друга формула.



Фиг.2 Зависимости между дължината на разлома и магнитуда

#### ЛИТЕРАТУРА

Ризниченко Ю., 1976 Размери очага корового землетрясения и сейсмический момент. Изследование по физике землетрясений. Н., М., 9-27.

Христосков Л., М.Енева, 1985. Зависимост на дължината на огнищата от магнитуда на земетресенията в района на Източното Средиземноморие и Близкия изток. БГС, XI, 1, 32-40.

Ambraseys, N. and J. Jackson, 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophys. J. Int., 133, 390-406.

Kasahara K., 1981. Earthquake mechanics. Cambridge Univ. Press, pp 262.

Kiratzi A., G.Karakaisis, E.Papadimitriou and B.Papasachos, 1985. Seismic source- parameter relations for earthquakes in Greece. PAGEOPH, v.123, pp 27.

Papazachos B. and C. Papazachos, 1989. Seismicity in Greece. Thessalonici, pp 356.

Pavlidis S., Caputo R., 2003 Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region, Tectonophysics, 380 (2004), 159-188

Wells, D. and K.Coppersmith, 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am. 84, 974-1002.

**Забележка:** Част от текста и селекцията на формулите са от непубликувани материали на колеги от Геофизичния институт (Л.Христосков, Д.Солаков и С.Симеонова). Позволих си да използвам тази информация за по-добро ниво на курса от лекции. Благодаря им за прекрасните колегиални отношения, които сам имал винаги с тях.

Ст.Шанов

