

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ НА ЕНДОГЕННИТЕ ПРОЦЕСИ ВЪРХУ ГЕОЛОЖКАТА ЖИЗНЕНА СРЕДА

2.1. Опасности и рискове от земетресения. Оценка на силата на земетресенията и влияние на конкретните геоложки условия върху сеизмичната интензивност

Съвременните сеизмични процеси в земната кора оказват съществено влияние при оценката на геоложките условия за изграждане на инженерни съоръжения. Само през XX век в резултат на земетресения са загинали над 1,25 млн. човека, а материалните загуби се оценяват на десетки милиарди долари. В сеизмичните райони условията за строителство са специфични и обикновено те се регламентират със специални строителни норми и правила.

В сеизмологията енергията, която се освобождава в огнището на земетресението се оценява в ерга или джаули, като 1 J е равен на 10^7 erg. Разрушителните земетресения се характеризират с енергия 10^{12} - 10^{13} J, а при катастрофалните достига 10^{17} - 10^{20} J. В практиката обаче, за оценка на енергията на земетресението често се използва не абсолютната ѝ стойност E, а нейната логаритмична стойност K, като:

$$K = \lg E$$

Стойностите на K се приема, че характеризират енергетичния клас на земетресението. Най-слабите земетресения се характеризират с $K = 0$, а за най-силните $K = 18$. Излъчваната енергия в огнището на земетресението обикновено трудно може да се определи, поради което американските изследователи Рихтер и Гутенберг са предложили тази енергия да се оценява с условна енергетична характеристика, наричана магнитуд M, която се изчислява по формулата:

$$M = \lg A/A_0$$

където A – максимална амплитуда на преместване на частиците, определена по сеизмограмата на дадено земетресение, mm;

A_0 – амплитудата на преместване на частиците при някое много слабо земетресение, избрано за еталонно, mm.

Стойностите на магнитуда се изменят от 0 – при слабите земетресения, до 8,8 – при катастрофалните земетресения. Съотношението между енергетичния клас К и магнитуда М е отразено в Табл. 4.

Таблица 4. Съотношение между К и М (по Горшков Г.П. и Якушова А.Ф.)

Енергетичен клас К	Магнитуд М
9	3,1
10	3,7
11	4,4
12	5,0
13	5,6
14	6,2
15	7,0
16	7,5

Експериментално е установено, че земетресенията, чийто магнитуд е равен на 0 са с енергия около 10^5 J, а при най-силните с магнитуд 8,5 енергията достига до 10^{20} J. Зависимостта между енергията и магнитуда може да се изрази със следното уравнение, по което стойностите на енергията Е са в ерга:

$$\lg E = 12 + 1,8 M$$

Приблизително десетократното увеличение на енергията съответства на увеличение на магнитуда с 0,5.

Честотата на проява на земетресения с различен магнитуд е представена в Табл. 5. Част от енергията, която се освобождава в огнището на земетресението се изразходва за извършената работа от сеизмичните вълни при разпространението им. Във връзка с това енергията на сеизмичните вълни, достигащи земната повърхност

отслабва. Тя зависи от: дълбочината на огнището, разстоянието от епицентъра до подложения на сеизмично въздействие обект, геоложкия строеж и свойствата на скалите и почвите в засегнатия район.

Таблица 5. Честота на проява на земетресения с различен магнитуд

ОПИСАНИЕ	МАГНИТУД М	БРОЯ ЗА ГОДИНА
Катастрофални	>8	1-2
Много силни	7-7,9	18
Разрушителни	6-6,9	120
Причиняващи повреди	5-5,9	800
Слаби	4-4,9	6 200
Много слаби, но обикновено усещани	3-3,9	49 000
Инструментално регистрирани, които не се усещат	2-2,9	300 000

Енергията на дадено земетресение, т.е. силата, с която се проявява на земната повърхност се определя като интензивност I на земетресението и се оценява в степени. Съществува емпирично изведена зависимост между интензивността в епицентъра I_0 и магнитуда M :

$$I_0 = 1,5 M - 3,5 \lg h + 3$$

където h – дълбочина на хипоцентъра, km.

На увеличение на магнитуда с две единици съответства нарастване на интензивността с три степени. Съществуват различни скали, предложени от различни автори, за оценка на интензивността на земетресенията. Едни от тях са съставени по количествени показатели на земетресенията, а други – по качествени оценки за степента на деформации и разрушения в засегнатите райони. Силата на дадено земетресение в степени може да се определи чрез стойността на максималното отместване на сферично махало на стандартен сеизмограф X_0 . Махалото е с период на собствени колебания $T = 0,25$ s и логаритмичен декремент на затихване $\lambda = 0,5$. Логаритмичен декремент е логаритъмът на отношението между две последователни амплитуди на затихващо колебание. Силата на

земетресението може да се характеризира и със стойностите на сеизмичното ускорение a (mm/s^2), които се определят от т.нар. акселерограми. Сеизмичното ускорение е ускорението, което придобиват частиците на земната повърхност под въздействие на сеизмичните вълни. То зависи от амплитудата на колебание на сеизмичните вълни A и от техния период на колебание T :

$$a = A - 4\pi^2/T^2$$

Коефициентът на сеизмичност K_C представлява отношение между сеизмичното ускорение a и земното ускорение g . Една от най-популярните скали у нас и в редица Европейски страни е 12-степенната скала на Медведев-Шпонхойер-Карник (MŠK-64), чийто по-съвременен вариант е от 1974 г. Основните признаци, по които се определят степените в тази скала са: степента на повреда на сградите и съоръженията; измененията в режима на повърхностните и подземните води; нарушения в релефа; настъпили необратими деформации на скалите и почвите и др. При земетресения с ниска степен на интензивност, когато не се установяват повреди по съоръженията, основен определящ признак в тази скала са усещанията на хората. В районите с интензивност до 6 степен, възникващите повреди по сградите и съоръженията не са опасни за живота на хората и не понижават здравината на съоръженията. При земетресения от 7 и по-голяма степен, в много от най-често срещаните сгради и съоръжение се появяват разнообразни, в т.ч. и тежки повреди и разрушения. Земетресения с такава сила вече са опасни за живота на хората и за запазване целостта на сградите и съоръженията. В такива райони строителството задължително трябва да се извършва по специални норми и изисквания за проектиране. Стойностите на максималното сеизмично ускорение за земетресения с интензивност по-голяма от 4 степен по най-употребяваните скали са отразени в Табл. 6.

Оценката и прогнозирането на мястото и силата на земетресението на земната повърхност е една от най-важните задачи при определяне на условията за строителство в сеизмично опасни райони. Силните земетресения не възникват навсякъде, а само при определени геоложки условия.

Таблица 6. Очаквани ускорения a на земната повърхност
в най-често използваните сеизмични скали

ИНТЕНЗИВНОСТ	МОДИФИЦИРАНА СКАЛА НА МЕРКАЛИ	ЯПОНСКА СКАЛА	СКАЛА МШК-64
степен	m/s^2	m/s^2	m/s^2
4	0,05-0,10	0,25-0,80	-
5	0,10-0,21	0,80-2,50	0,12-0,25
6	0,21-0,44	2,50-4,00	0,25-0,50
7	0,44-0,94	4,00	0,50-1,00
8	0,94-2,02	-	1,00-2,00
9	2,02-4,32	-	2,00-4,00
10	>4,32	-	4,00-8,00

С повишена сеизмична активност се характеризират зоните на:

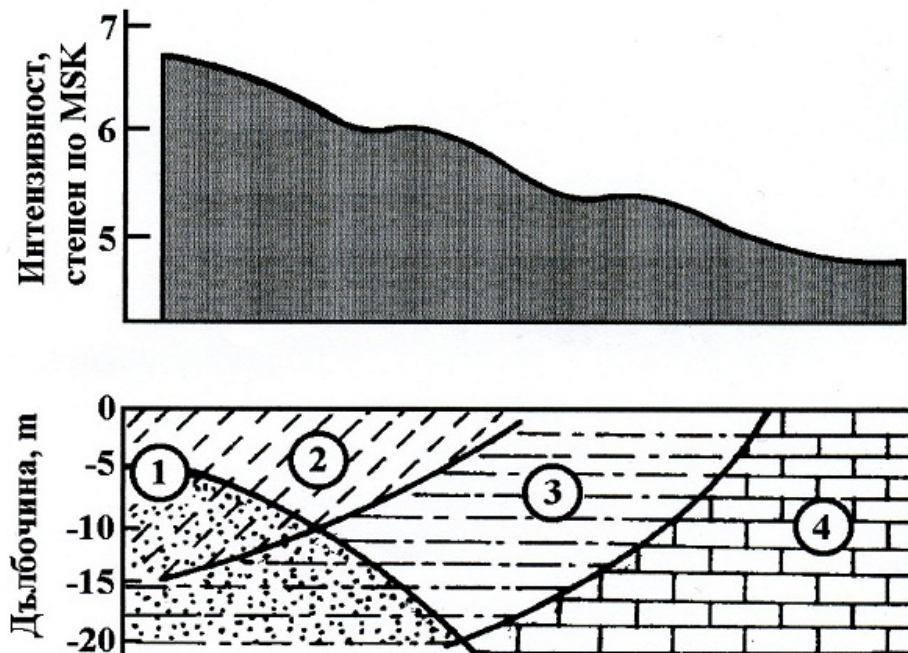
- Контакт между геоложки структури с различен строеж и подложени на вертикално движение с различна интензивност.
- Периферийните участъци на геоложките структури, подложени на вертикално движение с голяма скорост.
- Нееднократно изменение на посоката на вертикалните движения, когато потъването се сменя с издигане и обратно.
- Интензивни диференцирани тектонски движения по повърхностен или предполагаем разлом на голяма дълбочина.

Следните регионални фактори влияят върху разпространението на сеизмичните колебания:

- Дебелината на покривните рохкави седименти и състава на отдолулежащата (коренова) скала, т.к. те притежават различна способност да поглъщат сеизмичната енергия.
- Условията на залягане на скалите. Интензивността на земетресението на определено разстояние от епицентъра, напречно на посоката на разпространение на структурата, е с 1 степен по-ниска в сравнение с успоредно на тази посока на същото разстояние.
- Условията на залягане на големи дълбочинни зони и разломи. При разпространението на сеизмичните вълни напречно на посоката на разпространение на тези зони става поглъщане на

сеизмична енергия и намаляване на интензивността на земетресението в тази посока.

Голямо влияние върху интензивността на земетресенията оказват местните (локални) инженерногеоложки условия. На Фиг. 2 е представена схема за влиянието на различния литоложки състав на почвите (песъчлива глина, чакъл и варовик) и условията на залягане на подземните води върху сеизмичната интензивност. В първия участък, изграден от сравнително еднородна песъчлива глина е установено изменение в интензивността в зависимост от дълбочината, на която е установено нивото на подземните води (Фиг. 2). В същия район участъци, изградени от чакъл са имали с 1 степен по-ниска интензивност в сравнение с участъка, изграден от песъчлива глина.



Фиг. 2. Изменение на сеизмичната интензивност в зависимост от дълбочината на подземните води при различен тип литоложки разновидности (по С. В. Медведев)

1 – ниво на подземните води; 2 – песъчлива глина; 3 – чакъл; 4 - варовик

Когато нивото на подземните води е на дълбочина 10 m и повече, то почти не оказва влияние върху изменението на сеизмичната интензивност. При покачване на нивото обаче, интензивността може да се увеличи с около 1 степен. От многобройните наблюдения е установено, че от местните инженерногеоложки условия най-съществено влияние върху изменението на сеизмичната интензивност оказват:

- Състава и физическото състояние на скалите и почвите;
- Дълбочината на залегане на нивото на подземните води;
- Характера на релефа;
- Разположението на тектонските разломни нарушения.

Приемайки сеизмичната интензивност на гранита за еталонна, Медведев е установил, че в сравнение с този еталон другите скални и почвени разновидности се характеризират с увеличение на интензивността от 1 до 4 степени, като увеличеното водно съдържание засилва неблагоприятния ефект (Табл. 7). Основни характеристики на скалите при оценяване на тяхната сеизмоустойчивост са: плътността, скоростта на разпространение на сеизмичните вълни V_P и V_S и т. нар. твърдост на скалите V_t . Последният показател характеризира съпротивлението на скалите при разпространение на възникналите в тях деформации и се определя по формулата:

$$V_t = V_P \cdot \rho$$

където V_P – скорост на разпространение на надлъжните вълни;
 ρ – обемна плътност.

Колкото по-голяма е плътността на скалите и съответно скоростта на надлъжните вълни, толкова е по-високо съпротивлението на скалите при разпространение на деформациите. В това отношение рохкавите, водонаситените и насипните почви са сеизмонеустойчиви и трусовете при тях се проявяват с най-голяма интензивност. Изграждането на съоръжения върху такива почви е винаги опасно, особено в сеизмични райони. Стойността на сеизмичната твърдост за гранита е 16,2, а за рохкавите насипни почви е 0,26-0,9.

По време на Вранчанското земетресение от 1977 г. в гр. Свищов се срути изцяло един жилищен блок, а в близост до него блокове със същата строителна конструкция запазиха целостта си. Причините за срутването на този блок се оказаха водонаситени прахово-песъчливи почви, изграждащи основата му, които при сеизмичното въздействие са се втечнили и са изгубили изцяло носимоспособността си. Втечняване на водонаситени пясъци е причина и за деформирането на сгради (наклоняването им до 30^0) в гр. Ниигата, Япония (Фиг. 3), по време на земетресението през 1968г.

Таблица 7. Повишаване на сеизмичната интензивност за основните групи скали и почви (по Медведев)

ВИДОВЕ СКАЛИ И ПОЧВИ	ПОВИШАВАНЕ НА ИНТЕНЗИВНОСТТА, степени
Гранити	0
Плътни варовици, шисти, гнайси	0,2 - 0,4
Плътни пясъчници	0,5 - 0,8
Варовици, шисти, пясъчници, с ниска плътност	0,7 - 1,1
Мергели, аргилити	0,7 - 1,0
Валуни, едри чакъли	0,9 - 1,3
Чакъли	1,0 - 1,5
Чакълести и едрозърнести пясъци	1,2 - 1,4
Среднозърнести пясъци	1,3 - 1,6
Дребнозърнести и прахови пясъци	1,4 - 1,8
Глинести пясъци	1,4 - 1,8
Песъчливи глини	1,3 - 1,7
Глини	1,2 - 1,6
Насипни почви	2,3 - 2,6
Съвременна почва	2,6 - 3,0
Водонаситени чакъли	1,6 - 2,0
Водонаситени пясъци	2,0 - 2,4
Водонаситени глини	2,4 - 2,8
Водонаситени насипни почви	3,3 - 3,9

От местните фактори значително влияние върху сеизмичната интензивност оказва дълбочината на залягане на нивото на подземните води и респективно увеличеното водно съдържание на почвите. Според Медведев, ако нивото на подземните води е на дълбочина до 1 m,

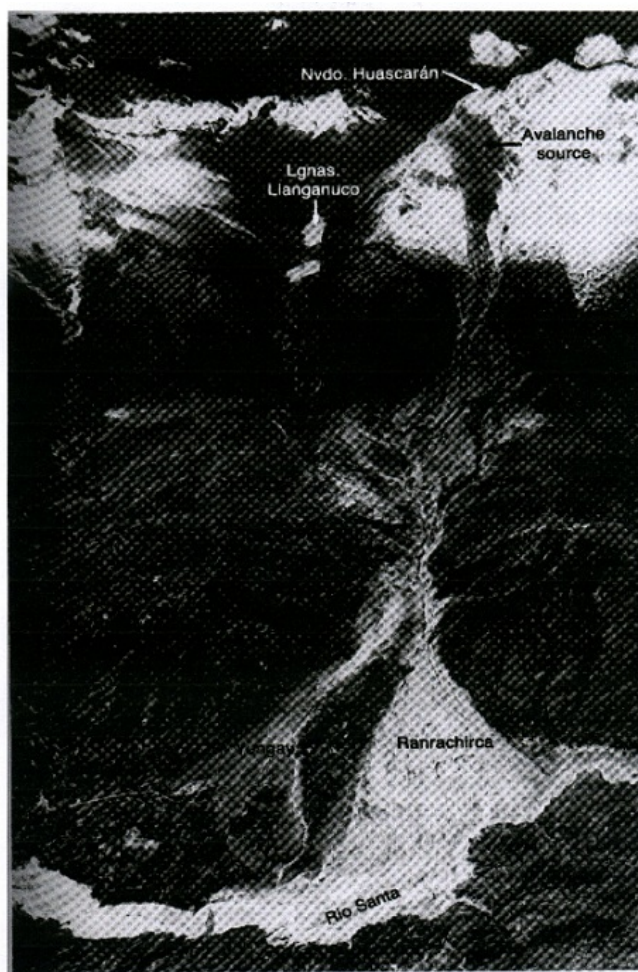
сеизмичната интензивност може да се повиши с около 1 степен при дребнозърнести и глинести пясъци, и пясъчливи глини.



Фиг. 3. Последствия от втечняване на почви след земетресението от 1968 г. в гр. Ниигата, Япония (по USGS Photo Library, Denver, Colorado, USA)

При проява на земетресенията на земната повърхност възникват разнообразни деформации във вид на сипеи, обрушвания, свлачища и др.; наблюдава се образуване на открити пукнатини, вертикално и хоризонтално преместване на скални маси. Върху интензивността на проява на тези остатъчни или вторични деформации по земната повърхност влияят не само състава и физичното състояние на скалите и почвите, геоложкия строеж на участъка, степента на водонасищане, но и релефа. Участъци със силно разчленен планински релеф, високи и стръмни склонове, които и при обикновени условия са недостатъчно устойчиви, са особено опасни по отношение на възникване на различни геоложки явления, свързани със земетресенията. Тези явления понякога се наричат сеизмогенни. При силни, катастрофални земетресения, особено във високопланински райони, често голяма част от човешките жертви и материалните щети се дължат на такива сеизмогенни процеси и явления, като: срутища, свлачища, кално-каменни порои и др. Чилийското земетресение от 1960 г. е предизвикало хиляди свлачища и срутища, при което са се образували и нови езера. Всичко това е било придружено с големи човешки и материални загуби. При Перуанското земетресение от

1970 г. с магнитуда 7,7, почти два града са били погребани под срутилите се от Перуанските Анди скални и снежни маси (Фиг. 4).



Фиг. 4. Въздушна снимка на свлеклите се земни и снежни маси от Перуанските Анди, затрупали два града по време на Перуанското земетресение от 1970 г. (по USGS Photo Library, Denver, Colorado, USA)

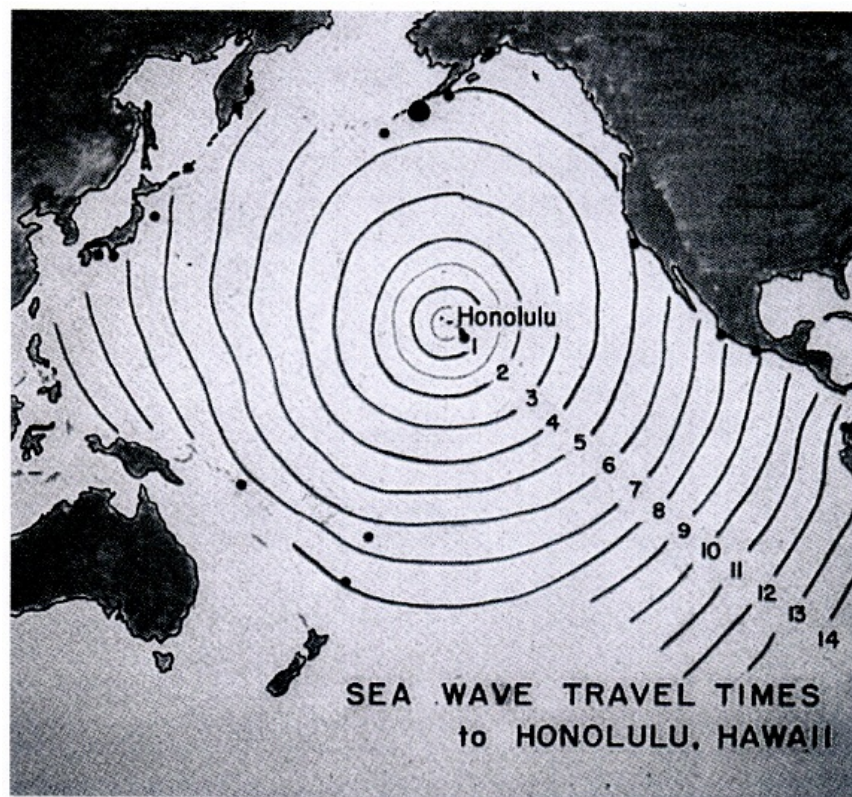
Скоростта, с която са се придвижвали тези маси е достигнала 280-330 km/h, а в някои участъци и до 450-1000 km/h. От общо 70 000 жертви около 50 000 са загинали от грандиозните срутвания и свличания, провокирани от това земетресение. При Дагестанското земетресение от 1970 г. свлечени земни маси с обем около 10 млн. m³ преграждат близко разположената речна долина. Всичко това показва, че при сеизмичната оценка на дадена територия е необходимо да се отчитат всички фактори, определящи конкретните инженерногеоложки условия. Медведев е дал обща оценка на сеизмогеоложките условия, като е посочил в кои случаи те се приемат за благоприятни и в кои – за неблагоприятни (Табл. 8).

Таблица 8. Оценка на сеизмогеоложките условия (по С. В. Медведев)

НЕБЛАГОПРИЯТНИ УСЛОВИЯ	БЛАГОПРИЯТНИ УСЛОВИЯ
<ul style="list-style-type: none"> • Разчленен релеф, стръмни почти отвесни склонове, дълбоки долини, оврази • Напластени скали, със значителен наклон на пластовете или на контактната повърхност между отделните пластовете • Тънък повърхностен слой от рохкави наслаги, покриващ основната скала • Силно изветрели и разрушени скали • Склонове и откоси, намиращи се в състояние близко до равновесното и склонни към обрушване, свличане, срутване и др. гравитационни премествания • Участъци разположени в близост до тектонски разломни линии и зони 	<ul style="list-style-type: none"> • Спокоен хоризонтален релеф • Хоризонтално залягане на пластовете • Дебелината на рохкавите почви е няколко десетки или стотици метри • Неизветрели скали • Неводонаситени почви и дълбочината на нивото на подземните е на повече от 10 m • Участъци, които не са склонни към вторични деформации • Отдалеченост от зони с тектонски нарушения

Прогнозирането на сеизмогравитационните процеси е твърде сложно, т.к. не е достатъчно само да се установи тяхното местоположение, но е необходимо да се определят скоростта им на придвижване, пътя на движението и максималното изминато разстояние. Тези характеристики зависят от типа на свлачището или срутването, както и от силата и продължителността на земетресението. Полезни за такова прогнозиране са палеосеизмогеоложките данни и аналоговите съпоставки. Най-сигурната защита от сеизмогравитационните процеси засега е да се избират такива строителни площадки, които са извън застрашената територия.

В крайбрежните зони съществува и опасност от възникване на цунами. При силни земетресения височината на вълните достига до 15 m и повече. Цунамите имат много голяма скорост на придвижване – около 1000 km/h, поради което цунами възникнало в единия край на Тихия океан може да предизвика забележими ефекти в другия край на океана (Фиг. 5). Например, възникналите цунами вследствие на земетресението в Чили през 1960 г. са били все още достатъчно силни и са предизвикали вълни с височина 7 m при достигането им до Хавайските острови след около 15 часа, а след 25 часа цунамите са били регистрирани и в Япония.



Фиг. 5. Придвижване на цунами, в часове, от Хавайските острови в Тихия океан (по US Geological Survey, USA)

В крайбрежните зони, дори и при отсъствие на цунами, съществува възможност за заливане и наводнение при внезапно пропадане на земната повърхност по време на земетресение. Площи, които преди са били суша могат да бъдат постоянно залети и по този начин да станат необитаеми.

2.2. Изкуствено предизвикани земетресения в резултат на различни човешки дейности: запълване на водохранилища, подземни ядрени взривове, нагнетяване на флуиди в дълбоки сондажи и др.

Опитът от строителството през последните десетилетия показва, че при определени условия човешката дейност може да доведе до забележимо изменение в сеизмичната активност на дадена територия. Връзката между инженерната дейност на човека и изкуствено предизвиканите земетресения е най-забележима при изграждането на големи язовири. Възникването на опасност от такъв род земетресения изисква да се изясни механизма на тяхното формиране, но засега еднозначна и ясна представа за този механизъм не съществува. Събрани са много данни за различни язовирни стени по света. Една от тях е язовирната стена „Хувър“, която е от дъгово-гравитачен тип, висока 222 m и е построена на река Колорадо, САЩ. Обемът на водохранилището е 37,5 km³. В основата на стената залягат андезити и туфобрекчи. Под чашата на язовира залягат гранити, гнайси, шисти, пясъчници и варовици. Няколко тектонски разлома пресичат целия скален комплекс. До запълване на водохранилището не е била отбелязвана дори и слаба сеизмична активност в този район. След запълване до 100 m е бил регистриран първият сеизмичен трус. След това за период от 10 години са били установени около 600 труса. Броят и интензивността им са били в пряка зависимост от нивото на водата в язовира. Най-силното земетресение с магнитуд 5 е станало при най-високото водно ниво. След построяване на още няколко язовира по река Колорадо, броят на трусовете при язовирната стена „Хувър“ е намалял два пъти, което се обяснява с разсейване на напрежението.

В Африка на река Замбези е едно от най-големите водохранилища в света с обем около 160 km³. Изградената на него стена „Кариба“ е от многодъгов тип и при запълването му са регистрирани около 2000 труса. Районът на язовира е изграден от юрски и кредни вулканогенно-седиментни скали. Преди районът е определян като сеизмично неактивен. Най-голямата сеизмична активност се е проявила 35 дни след запълване

на водохранилището. По време на първите три години от експлоатацията му, броят на трусовете и интензивността им са били в пряка зависимост от колебанията на водното ниво. Най-силното регистрирано земетресение е било с магнитуд 6. Язовирната стена „Кремаста” в Гърция е от земно-насипен тип, с височина 163 m и обем на водохранилището 4,7 km³. Чашата е разположена в сеизмично активен район, изграден от палеоген-неогенски флиш и юрски варовици, чийто контакт е тектонски. В близост до язовирната стена, по разломи се дренират термални води. Запълването на язовира е станало сравнително бързо – за около половин година. Месец след запълването се е проявило земетресение с магнитуд 6,3, което е предизвикало разрушаването на 480 сгради, а около 22 000 сгради са били повредени в различна степен. В продължение на една година е продължило регистрирането на трусове, като някои от тях са достигали магнитуд 5. Язовирната стена „Койна” в Индия е построена на едноименната река и е от гравитачен тип, с височина 103 m. До изграждането на язовира районът е определян като сеизмично слабо активен. При запълване на 1/3 от обема, са били регистрирани слаби земетресения. След запълване на целия обем, възниква силно земетресение с магнитуд 6,4, което в голяма степен е разрушило намиращия се на около 1,5 km от язовирната стена град, при което са загинали 180 човека.

Трябва обаче да се отбележи, че са известни и случаи, когато изграждането на големи язовирни стени в сеизмично активни райони не е предизвикало повишаване на сеизмичността. Това означава, че изкуствено възбудените земетресения възникват само при съчетаване на определени геоложки условия, като: значителни тектонски напрежения в масива, силно разчленен релеф, връзка на повърхностните води с дълбоките водоносни хоризонти и др. Повечето изследователи предполагат, че при изкуствено възбудените земетресения се реализират тектонски напрежения, които са съществували и преди човешката намеса. Факторите, които провокират сеизмичната активност са:

- Въздействието на теглото на водохранилището върху изменението на напрегнатото състояние на скалния масив и

концентрацията на напрежения в зоните на тектонски нарушения.

- Въздействието на нарастващото хидростатично налягане върху порния натиск в отдолулежащия скален масив, при което се появяват слаби зони и се снижава якостта на скалите.

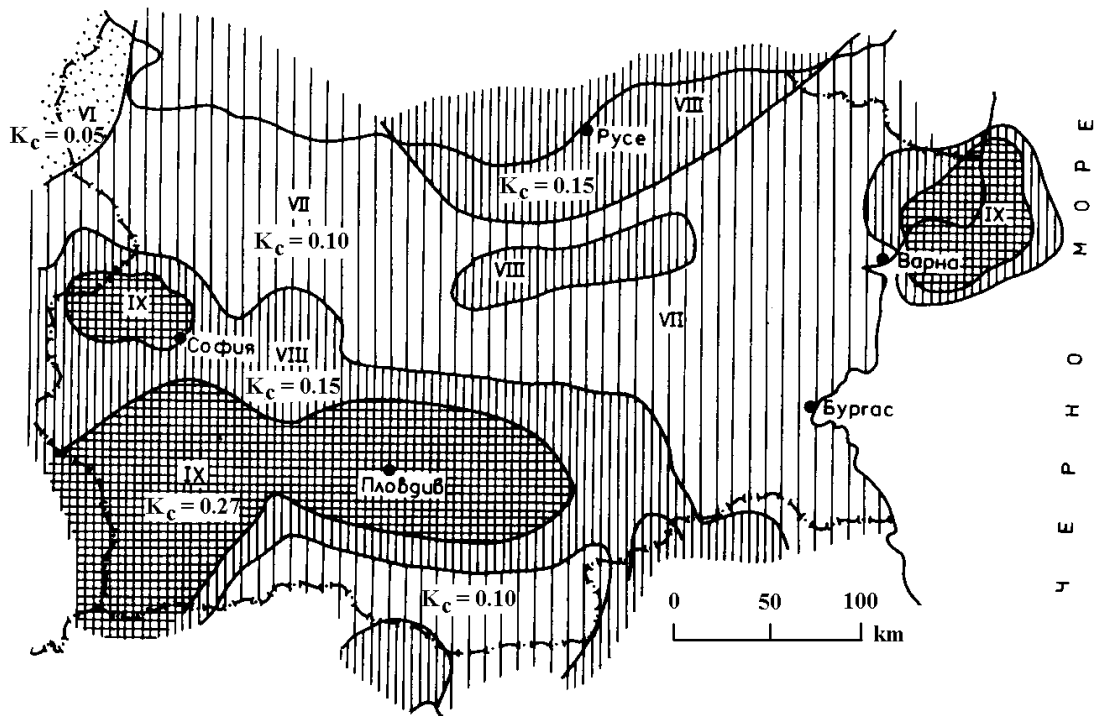
Анализирайки известните случаи на изкуствено предизвикани земетресения от строителството на големи язовири се вижда, че те са се проявили не само в райони на съвременни сеизмични зони, но също и в стабилни платформени области. Често те съвпадат със зони на регионално разломяване, а епицентърът им се намира на разстояние до 15 km от водохранилището. Установено е, че сеизмичната активност се засилва след повдигане на нивото около и над 100 m. Честотата на сеизмичните трусове зависи не толкова от водното ниво, колкото от скоростта на запълване на водохранилището. Вероятността от сеизмична проява е толкова по-висока, колкото е по-голяма площта на язовира.

Сеизмичната активност се усилва и при нагнетяване на различни флуиди в дълбоки сондажи. Засега в литературата не са описани много такива случаи. Една от причините за това вероятно е, че предизвиканите по този начин сеизмични трусове обикновено са слаби и могат да се регистрират само инструментално. Нагнетяването на различни флуиди в земните недра, както и подземните ядрени взривове не могат да предизвикат голяма сеизмична опасност, т.к. това са дейности, които в голяма степен се контролират от човека и се прави предварителна прогноза за тяхното въздействие върху околната среда.

2.3. Антисеизмични мерки: сеизмично райониране и микрорайониране, прогнозиране, антисеизмично строителство и др.

Общото сеизмично райониране се провежда на базата на анализа на геоложкия строеж на дадена територия, като особено внимание се обръща на тектонския строеж. При това райониране се съставят карти на сеизмичните огнища, карти на очакваните земетресения с различна

интензивност за различен период от време – 100, 500, 1000 и 10 000 години. Тези карти обхващат десетки и стотици квадратни километри. Пример за такава карта е Картата на сеизмичното райониране на България за период 1000 години в мащаб 1: 1 000 000 (Фиг. 6).



Фиг. 6. Карта на сеизмичното райониране на България за период 1000 години (по Норми за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, 1987)

В границите обаче на една област, с еднаква интензивност могат да попаднат райони твърде отличаващи се по своя състав, по условията на залягане на скалите, по разпространението на тектонски нарушения, по дълбочината на залягане на нивото на подземните води и с различни физико-механични свойства на изграждащите ги скали и почви. Затова при решаване на практически задачи, свързани с проектиране и строителство на различни сгради и съоръжения, възниква необходимостта от уточняване на сеизмичността за всяка конкретна територия. За тази цел се извършва т.нар. сеизмично микрорайониране, което обикновено е в мащаб 1:10 000 и по-рядко за по-големи територии е в мащаб 1:25 000. При сеизмичното микрорайониране се уточнява сеизмичността за дадена територия въз основа на по-пълното и точно отчитане на конкретните инженерногеоложки условия. В някои случаи това уточняване се извършва

на базата на качествени показатели за състава и състоянието на литоложките разновидности, тяхната степен на изветряне и напуканост, близостта на тектонски нарушения и др. Уточняването на сеизмичната интензивност може да се осъществи и по данни от инструментални изследвания. Те позволяват за оценка на сеизмичността да се използват количествени показатели за свойствата на почвите и скалите, за амплитудата им на колебание при съответно сеизмично въздействие и др. За получаване на сведения за сеизмичността на даден район се използват данни от наблюдения на земетресенията, поместени в съответни каталози, бюлетини и други публикувани и фондови материали; съставят се карти на местните земетресения; събират се исторически сведения за станали силни земетресения и свързаните с тях разрушения и деформации; анализират се данни за нарастване на сеизмичната интензивност при различен релеф (склонове с различен наклон) и при различни литоложки разновидности. Данните трябва да се уточнят и анализират за цялата площ подложена на микросеизмично райониране и за територия в радиус още 30 km извън нея. Препоръчва се да се отчитат особеностите в разположението на огнища на земетресения с $I = 7-9$ степен и повече, за да се получи представа за спектрите на възможните силни земетресения. В случаите, когато няма достатъчно материали от инструментални изследвания, се провеждат детайлни сеизмоложки наблюдения в специално организирани за целта сеизмични станции, при което се получават данни за разположението на земетръсните огнища, тяхната енергия и сила. Например, на територията на един град се препоръчва да има от 8 до 12 такива станции, в които да се провеждат наблюдения за период от две до десет години, в зависимост от сеизмичната активност на района. Инструменталните наблюдения включват и детайлно изучаване на физико-механичните свойства на скалите, т.е. тяхната плътност, скоростите на разпространение на сеизмичните вълни в тях и сеизмичната им твърдост. Изследванията на якостното и деформационното поведение на почвените и скалните разновидности при динамични условия се провеждат с помощта на триаксиална апаратура по установени методики. За глините се определят следните якостни параметри: ъгъл на вътрешно триене φ и кохезия C , в

зависимост от очакваното сеизмично ускорение, а за пясъците се определя факторът на втечняване. Изменението на сеизмичната интензивност ΔI за даден район се определя от три основни компоненти:

$$\Delta I = \Delta I_C + \Delta I_B + \Delta I_P$$

където ΔI_C - изменението на интензивността, дължащо се на плътността на почвата;

ΔI_B - изменението на интензивността, дължащо се на наличието на подземни води;

ΔI_P - изменението на интензивността, дължащо се на резонансни явления в почвата.

От наблюдения е установено, че в тези участъци, при които в скалите нараства амплитудата на колебания при различни сътресения, сеизмичната интензивност също е по-висока. Затова за всеки участък е важно не само да се определят физико-механичните свойства на скалите и почвите, но и да се измери амплитудата на колебанията, предизвикани от естествени или изкуствени сътресения, като взривове, слаби земетресения и др. Данните за амплитудата на колебание за различните литоложки разновидности имат значение и при непосредствената оценка на сеизмичната устойчивост на сградите и съоръженията. Установяването на сеизмичността за даден район може да стане, както въз основа на качествени показатели, така и по данни от специални инструментални наблюдения. Сеизмичното микрорайониране е по-добре направено, ако за неговото съставяне са използвани и двата метода, което всъщност се изисква при райониране на градски територии и при строителство на отговорни сгради и съоръжения, от типа на атомните електроцентрали например. На картата на сеизмичното микрорайониране се отделят площи с разчетна интензивност 6 и по-ниска, 7, 8, 9 и по-висока степен. В участъци, характеризиращи се с по-висока от 9 степен обикновено не се допуска извършване на строителство.

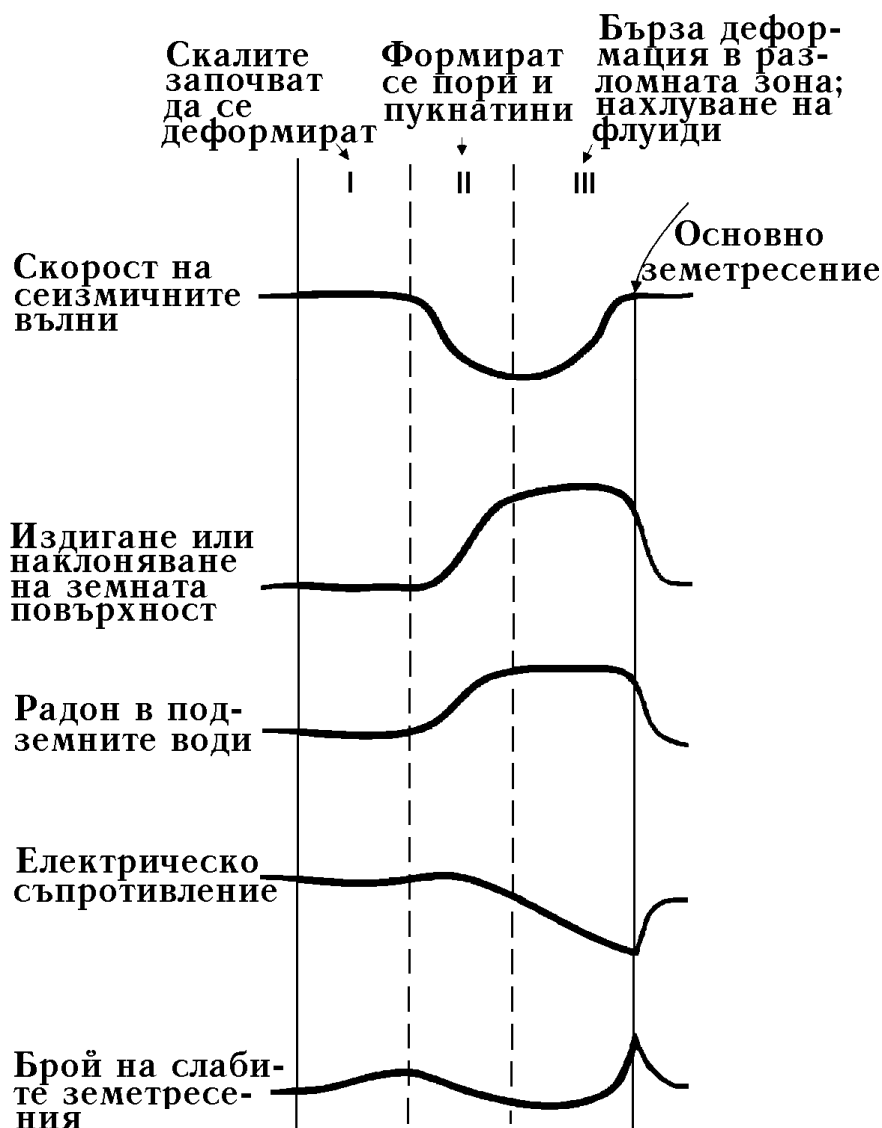
Прогнозирането на земетресенията е главна задача на сеизмологията. В сеизмичните райони на света се извършват наблюдения, с които се регистрират движенията на земната кора, геохимичните изменения, геомагнетизма, режима на подземните води, състоянието на активните разломи и т.н. Извършват се и моделни изследвания на сеизмичните

процеси в лабораторни условия. С данните от многогодишните изследвания се конкретизират възможните земетръсни предвестници, които са:

- *Изменение скоростта на сеизмичните вълни.* Няколко месеца до възникване на дадено земетресение отношението между скоростите на надлъжните и напречните сеизмични вълни V_P/V_S намалява с около 30% от своята нормална стойност, след което започва да се възстановява. В този момент се проявява земетресението (Фиг. 7).
- *Деформиране на земната повърхност.* Нарастването на напреженията в сеизмичното огнище преди земетресението предизвиква деформиране на земната повърхност. Необходими са многогодишни геодезични измервания, за да се установят критичните деформации преди труса.
- *Електромагнитни явления.* Чрез инструментални измервания се регистрират измененията в нивото на геомагнитното поле преди земетресението. За да се докаже сеизмогенния ефект обаче, е необходимо да се отдели влиянието на геомагнитните аномалии от космичен произход и на магнитното поле от промишлени източници. Изменението на специфичното електрично съпротивление на скалите в епицентралната област също може да е вероятен предвестник на земетресение. Например, в Калифорния, САЩ е установено спадане на електричното съпротивление на средата с около 10-20%, един-два месеца преди проявата на земетресение.
- *Хидрогеоложки и геохимични изменения.* Концентрирането на сеизмична енергия в земетръсното огнище предизвиква изменения в напора, дебита, температурата и химичния състав на подземните води. В Китай са правени опити за предсказване на магнитуда и началото на земетресението по данни за изменението на нивото на подземните води в дълбоки сондажи. Ташкентското земетресение от 1966 г. е било предшествано от постепенно увеличаване на концентрацията на радон от 5 до 15

Емана в течение на шест месеца преди главния трус, след което рязко е спаднала.

- Китайските изследователи имат известен успех при използването на *аномалното поведение на животни* като предвестник на земетресения.



Фиг. 7. Основни предвестници за проявата на земетресение (по Montgomery)

Усилията да се използват различни предвестници за предсказване на земетресения се затрудняват от факта, че не всички земетресения

показват един и същ модел на предизвестяващи събития. Истинското прогнозиране на земетресенията включва определяне на мястото, интензивността и времето на предстоящия трус. Докато за мястото и интензивността има значителна достоверност в прогнозирането, то прогнозата на точното време за възникване на дадено земетресение все още остава неразрешен проблем, въпреки активните изследователски програми, които се разработват от учени от Япония, САЩ, Китай и Русия.

Първостепенна задача при строителството в сеизмични райони е правилният избор на строителната площадка, който се прави на базата на предварително проведено детайлно сеизмично микрорайониране. Втората също важна задача, в началните етапи на проектиране, е правилното разполагане на различните съоръжения върху избраната строителна площадка. При разполагането на жилищни и промишлени сгради и съоръжения в сеизмично опасни райони трябва да се избере територия с благоприятни условия, включващи:

- Спокоен, полегат релеф;
- Земната основа да е изградена от скални, полускални, плътни грубозърнести, пясъчливи и глинести разновидности;
- Дълбоко залягащо ниво на подземните води.

Площи, подлагани на периодични наводнения, заблатени участъци и такива с плитки подземни води, както и изградени от насипни или намивни неконсолидирани почви са неблагоприятни за строителство. Неблагоприятни са и терени засегнати от проява на провадания на земната повърхност, сипеи, срутища, свлачища, кално-каменни порои и др. Площи с разчетна интензивност 7, 8 и 9 степен, характеризиращи се с нееднородни инженерногеоложки условия, трябва да се разграничат на отделни участъци, в които може да се строи и на други – в които е разрешено само разполагането на паркове, градини и някои по-леки транспортни съоръжения, като улици, площади и паркинги.

Дълбочината на фундиране на сградите и съоръженията в сеизмични и несеизмични райони обикновено е прието да е една и съща. При земна основа, изградена от почви с недостатъчна плътност, якост и еднородност се препоръчва използването на специални методи за изкуствено подобряване на свойствата на основата, като: уплътняване или

заздравяване посредством циментация, силикатизация и др. Пример в това отношение е начина на фундиране на АЕЦ „Козлодуй“. Почти всички съоръжения на Централата са фундирани в лъсозна основа от I тип по пропадане, с помощта на циментолъсозна възглавница, с дебелина 1,5-3,0 m. Този начин на фундиране помогна за намаляване на сеизмичната интензивност на площадката на АЕЦ с около 1 степен при Вранчанското земетресение от 1977 г. Особено внимание трябва да се обръща на отвеждането на повърхностните води чрез система от канавки и дренажи извън строителната площадка, за да не се допусне навлажняването или наводняването ѝ. При многоетажни сгради, дълбочината на фундиране се препоръчва да се увеличи чрез изграждане на мазета и допълнителни подземни помещения под цялата сграда. При наличие на пропадъчни лъсосиви почви е задължително да се отстрани предварително тяхната пропадъчност, като се прилагат подходящи за целта методи.

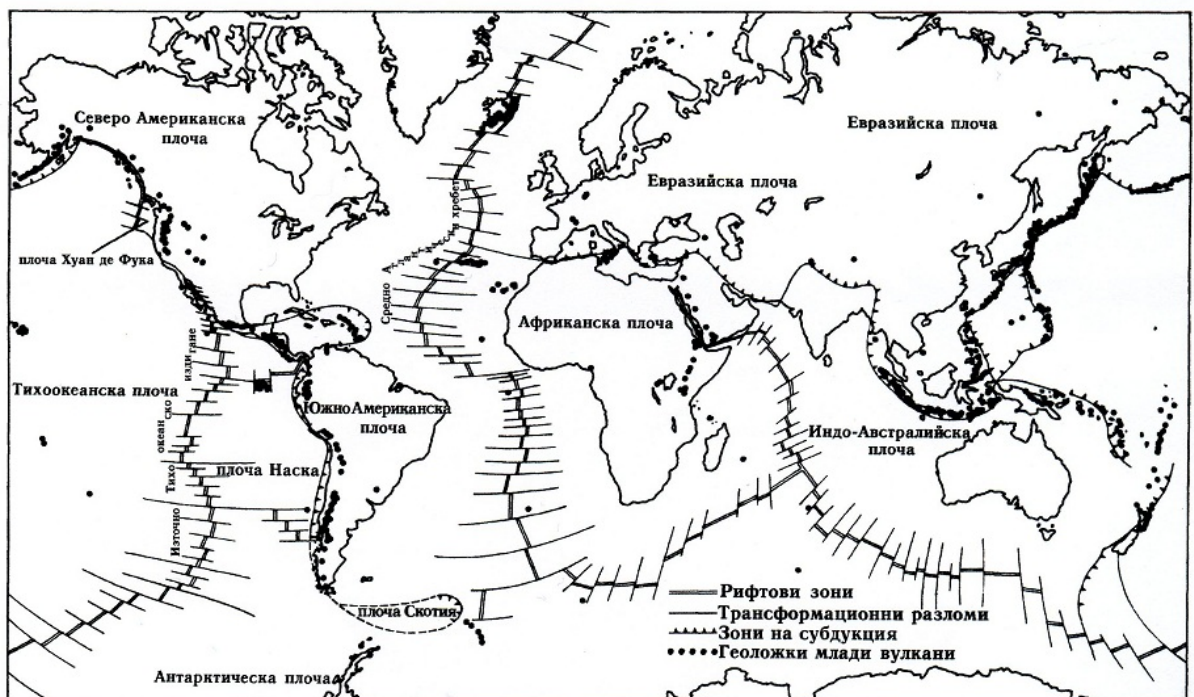
Носещата способност на земната основа трябва да бъде достатъчна, т.е. да не настъпи загуба на устойчивост или разрушаване на основата. Основни показатели за свойствата на скалите и почвите, определящи носещата им способност са якостните показатели. За глинестите почви това са ъгълът на вътрешно триене и кохезията, а за скалните и полускалните разновидности – якостта на едноосен натиск. При инженерногеоложките проучвания и изследвания трябва подробно да бъдат изучени якостните и деформационните свойства на литоложките разновидности, изграждащи земната основа.

При проектирането на сгради и съоръжения в сеизмично опасни райони за осигуряване на устойчивостта им се предприемат и различни конструктивни мерки, отнасящи се до размера, етажността, конструкцията, формата в план и др. С конструктивните мерки се постига симетричност на съоръжението спрямо осите му, осигурява се по-голяма якост и коравина чрез различни начини на армиране, изграждане на антисеизмични шайби, разделящи съоръженията на отделни участъци и др. Освен това за особено отговорни сгради и съоръжения се приема при изчисленията да се повиши с една степен стойността на сеизмичната интензивност, получена при микросеизмичното райониране на площадката. При проектиране на линейни съоръжения от типа на пътища, електропроводи,

нефтепроводи и др., особено внимателно трябва да се избира тяхното трасе. Например, при проектиране на един път се избират възможно по-полегати ъгли на откосите на проектираните изкопи и насипи, в сравнение с несеизмични райони. Препоръчва се откосите да се укрепват с подпорни или други подходящи съоръжения. При проектиране на мостове, тунели и др. се прилагат разнообразни конструктивни мерки, чрез които се увеличава якостта и устойчивостта им. Строителството в сеизмично опасни райони изисква точното спазване на определени правила и ограничения.

2.4. Опасност за геоложката среда от вулкански прояви

Вулканите са едно от най-капризните и непредсказуеми явления в природата. Те са един от малкото рискови геоложки процеси, които не засягат понастоящем територията на нашата страна. Съвременната вулканска дейност е съсредоточена в определени тесни зони, разположени на границите на големите литосферни плочи (Фиг. 8), но дори в пределите само на тези зони е невъзможно да се прогнозира къде ще възникне ново изригване.



Фиг. 8. Разположение на съвременните вулкани по Земята
(по Decker R. & B. Decker, 1981)

Някои от вулканите могат да бездействат в продължение на векове, а след това неочаквано да се пробудят. Изхвърляйки твърди частици и газове в атмосферата, вулканите могат да променят дори климата на нашата планета. Не всички прояви на вулканската дейност са неблагоприятни. Изригванията периодично освобождават натрупваното в земните недра напрежение. От тях атмосферата се обогатява с някои необходими газове, а почвите в близост до съвременните вулкани са изключително плодородни. В резултат на вулканската дейност се появяват месторождения на полезни изкопаеми. Вулканите са източник на геотермална енергия, а застиналата лава е колектор на подземни води.

В повечето случаи е невъзможно да се определи дали един вулкан е напълно изгаснал или само е в състояние на временен покой. Точното прогнозиране на големите изригвания е почти невъзможно, поради което изследванията обикновено се насочват към решаване на следните задачи:

- Разпознаване на вулканите, които могат да започнат да изригват в недалечно бъдеще.
- Намаление на опасността за имуществото и живота на хората, живеещи в райони с активна вулканска дейност.

Според някои автори, при различните типове изригвания съществуват различни видове опасности. Типът на изригване зависи от това дали образуваните газове лесно се освобождават или тяхното излитане е ограничено. Ще разгледаме опасностите от основните три типа изригвания:

Изригване от взривен тип. При него се изхвърлят газове и твърди вещества. По-голямата част от газовете е водна пара. Присъстват също така въглероден диоксид CO_2 , азот N, водород H, сяра S, хлор Cl и флуор F. Някои от газообразните компоненти са отровни за растенията и животните. Размерът на изхвърлените твърди частици е от прах до едри валуни. Прахта и пепелта, изхвърлени от вулканите се разпространяват чрез вятъра на големи разстояния и в момента, в който се отлагат на земната повърхност вече са изстинали. Само пепелните потоци се придвижват ниско над земната повърхност и при тяхното отлагане може да са все още горещи. На стръмни склонове тези потоци се придвижват

със скорост от 40 до 120 km/h, съхранявайки вътрешната си температура от порядъка на 750⁰C и повече. Поради високата температура, при отлагането си отделните частици може да се споят една с друга. Изригванията от взривен тип могат да засипят големи площи с пепел, с дебелина от порядъка на няколко десетки сантиметра и да ги направят поне временно неизползваеми.

Спокоен тип изригване. При него не се образуват пепелни потоци. Спокойното изригване на лава не представлява голяма опасност за хората, т.к. времето за евакуация е напълно достатъчно. Дори бързо течащата лава не е опасна, т.к. тя се движи само в долинни участъци. Лавата унищожават или прави негодни за използване препречилите ѝ се на пътя сгради, съоръжения и други материални ценности. Потоците лава, движейки се надолу по долинните участъци на склоновете, преграждат долините, вследствие на което може да се образуват езера и да се промени речната мрежа. Съществуват редица начини за защита на районите, намиращи се под опасност от лавови изригвания. Един от тях е изграждането на бариери, които да отклоняват движението на лавовия поток от едно място на друго и така да се избегнат значителни разрушения и материални загуби. Изграждането на каменни стени успешно се прилага в Япония и Италия за защита от лавовите потоци. Предполага се, че стени с височина 3 m са достатъчни, за да осигурят защита от каквито и да е лавови потоци, въпреки че в някои райони се е наложило построяване и на по-високи стени. В Япония със същата цел за отвеждане на лавовите потоци се прокопават траншеи. В случаите, когато лавата изтича от кратера, има смисъл да се пробие отвор на определено място в стената на кратера, за да се насочи лавовия поток към ненаселени райони. Друг начин за преустановяване настъпването на лавата е експериментиран в Исландия през 1973 г. Той се състои в охлаждане на лавата с вода, при което се понижава температурата ѝ, увеличава се вискозитетът ѝ и намалява скоростта на придвижване. В описания случай са изливани 3 500 m³/h върху лавовия поток, с помощта на 47 помпи. Благодарение на тези дейности са били спасени голям брой жилища и други съоръжения, включително и намиращото се наблизо пристанище.

Смесен тип изригвания. Съвременната вулканска дейност на сушата като правило съчетава признаците както на взривния, така и на спокойния тип изригване. Обикновено започва с взривно изригване, по време на което във въздуха се изхвърлят голямо количество твърди частици. Веднага, след като газовото налягане отслабне, започва изливането на лавата. Този тип изригвания представляват сериозна опасност както за живота на хората, така и за изградените съоръжения. Една опасност са т.нар. базисни или приповърхностни вълни. Това са потоци от горещ въздух, почти не съдържащи пепел, които се движат ниско над земната повърхност. Базисната вълна се разпространява на разстояние до няколко километра със скорост 20-30 m/s. Тези потоци могат да причинят сериозни изгаряния на хора и животни. При тях не остават каквито и да е отложения. Друга опасност са отделящите се отровни и задушливи газове. При някои от изригванията в атмосферата се изхвърлят отровни газове, като са известни редица случаи на отравяне с въглероден диоксид CO₂. Не винаги обаче облаците, отделящи се при изригване на вулканите съдържат отровни газове. Опасност представлява и изхвърления пирокластичен материал. Едрокъсовият материал е опасен само в непосредствена близост до кратера на вулкана. Дребнокъсовият материал може да се пренесе на големи разстояния посредством въздушните потоци или да се придвижва надолу по склоновете на вулкана във вид на пепелни потоци. Пепелта, пренасяна от вятъра, може да доведе до катастрофални последствия за много кратко време. Падащата пепел в особено големи количества може да срути покриви на къщи и да унищожи съществуващата растителност. Изхвърлената пепел може да замърси водоизточниците в района и да прегради някои речни долини. Тя може да унищожи напълно селскостопанската продукция в даден район. Комбинацията от голяма скорост на придвижване и висока температура прави пепелните потоци едни от най-страшните вулкански прояви. Строителството на жилища не трябва да се извършва по долинни участъци, които са по пътя на придвижване на пепелните потоци. В случай, че това е невъзможно, то плътността на застрояване трябва да е минимална, а евакуацията на населението трябва да започне още при първите признаци на възобновяване на вулканската дейност. Степента на

опасност при изригването на пепел зависи от: количеството на изхвърления материал, скоростта на изхвърляне, силата и посоката на вятъра и отдалечеността на населените места. Формирането на кално-каменни потоци не винаги е свързано със самото изригване на вулкана, но често те го придружават. Понякога на твърде неустойчиви склонове, токущо покрити с изхвърлената пепел падат значителни валежи, като по този начин възникват кално-каменни потоци. В други случаи лавата или нагорещената пепел предизвикват бързо топене на снежната покривка. Възможно е по време на самото изригване да бъде разкъсана стената на кратера, в който преди това се е образувало езеро. Земетресенията, които съпровождат изригванията също може да са причина за придвижване на финозърнест, рохкав материал по стръмни склонове. При смесването на пепелни потоци с водни също може да възникне кално-каменен поток. Скоростта на придвижване на кално-каменните потоци обикновено е 40 km/h, като достигат на разстояние до 80 km и повече. През 1919 г. на остров Ява кални потоци са унищожили около 130 km² обработваема селскостопанска земя, а човешките жертви са около 5 000. Независимо от големия мащаб на някои от вулканските изригвания, съпровождащите ги земни трусове се усещат само в границите на няколко десетки километра от източника. Сеизмичните трусове може да провокират възникване на свлачища, особено по склоновете на самия вулкан. В някои случаи изригванията са причина за възникване на водни вълни със значителна височина и опустошителна енергия. Вследствие на вулканската дейност се установяват някои изменения в релефа и речната мрежа на прилежащите участъци. Прогнозирането на вулканските изригвания има два аспекта. Първо е необходима да се предскаже изригването на действащите известни вулкани и второ – да се определи вероятността за ново активизиране на изригванията на отдавна затихнали вулкани. Някои учени потвърждават цикличния характер на вулканската дейност, т.е. след всяко освобождаване на енергия по време на изригването е необходимо определено време за натрупване на нова енергия. Други изследователи обаче са убедени, че магмената дейност е твърде сложна и разнообразна и не се подчинява на каквато и да е цикличност. Вулканите често предупреждават за предстоящото си изригване, но много от изригванията

не дават никакви предварителни сигнали за предстоящата опасност. В такива случаи се използват специални чувствителни уреди, които са способни да улавят и слабите сигнали за предстояща вулканска проява.

Ефективни мерки за повишаване на сигурността на проектирани сгради и съоръжения в зоните на развитие на вулканите са: избор на места, които са най-безопасни от въздействието на различни потоци и са изградени от здрави скални разновидности, а също избор на подходяща конструкция с отчитане на изискванията за нейната сеизмична устойчивост.

2.5. Изменения в геоложката среда вследствие на бавни тектонски движения

Геоложката опасност от съвременните колебателни движения е косвена и се определя от съпътстващите ги процеси и явления. Промяната на ерозионния базис в резултат на бавното издигане и потъване на отделни области предизвиква процеси изменящи релефа, транспортиране на материал от високите към ниските места и отлагането му в депресии, низини и речни тераси. Всичко това променя геоложкия товар, а оттам и напреженията в скалния масив.

Колебателните движения с еднакъв знак обикновено обхващат обширни територии, поради което те не се отразяват върху устойчивостта и дълготрайността на съоръженията. За исторически период от време обаче, колебателните движения могат да изменят височинното положение на даден район, да превърнат в суша някои крайбрежни участъци, а други – да останат под вода.

Тези движения трябва да се отчитат при проектиране на инженерни съоръжения с много дълъг срок на експлоатация, като например постоянни хранилища за радиоактивни отпадъци. При тях възниква необходимостта да се прогнозира дали след един дълъг период от време от порядъка на 300-1000 години, вследствие на колебателните движения площадката на хранилището няма да се окаже под вода. При доказване на такава вероятност площадката веднага се отхвърля като възможен вариант.