

ԷՂՈՒԱՐԴ ԽԱԶԻՅԱՆ

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Եկիրվում է
Հայաստանի-Արցախի
անկախության
ամսակին

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ



Մեկ ազգ, մեկ երկիր

Հրատարակման հովանավորներ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱՄԵՐԻԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀԱՄԱՀԱՅԿԱԿԱՆ ԵՐԻՏԱՍԱՐԴԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԴՐԱՄ

2001

Национальная Академия Наук Армении

ЭДУАРД ХАЧИЯН

ПРИКЛАДНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Издательство «Гитутюн»

Ереван 2001



National Academy of Sciences of Armenia

EDUARD KHACHIAN

APPLIED SEISMOLOGY

“Gitutijun” publisher,

Yerevan 2001

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ**

ԷԴՈՒԱՐԴ ԽԱՉԻՅԱՆ

**ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ**

**ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակչություն
Երևան 2001**



ՀՏԴ 550.348.436

ԳՄԴ 26.21

Խ 289

Տպագրության է երաշխավորված ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի և Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի գիտական խորհուրդների կողմից:

Խ289 ԽԱՉԻՅԱՆ ԷՂՈՒԱՐԴ - Կիրառական երկրաշարժագիտություն, - Եր., ԶԶ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատ., 2001թ. 320 էջ

Մենագրությունը նվիրված է երկրաշարժագիտության հիմնարար հարցերին՝ երկրաշարժերի առաջացման պատճառներին, զրանցմանը, սեյսմիկ ալիքների տարածման առանձնահատկություններին, ուժգնությանը ու մագնիտուդին, էներգիային ու մեխանիկային, կանխագուշակմանը և դրանց ժամանակակից վերծանումներին: Գրքում զգալի մաս են կազմում երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանման առանձնահատկությունների վերլուծությունները: Բերված են ԶԶ տարածքում տեղի ունեցած երկրաշարժերի՝ և առանձնապես Սպիտակի երկրաշարժի նկարագրություններն և դրանց հետևանքների գիտական վերլուծությունները:

Մենագրությունը ուղղված է երկրաշարժագիտության բնագավառի գիտաշխատողներին: Այն կարող է գիտաուսումնական ձեռնարկ հանդիսանալ բարձրագույն ուսումնական հաստատությունների ուսանողների, մագիստրատուրայի ունկնդիրների ու ասպիրանտների համար:

1803020000
Խ $\frac{\quad}{703(02) - 2002}$ 2002

ԳՄԴ 26.21

ISBN 5-8080-0000-9

© Է. Խաչիյան, 2001

*Ամբողջ համաշխարհային
մերդաշնակությունը կառուցված
է տարածայնությունների վրա:*

Սենեկա

ՆԱԽԱԲԱՆ

Երկրաշարժերը պատկանում են բնության ամենաահեղ երեվույթների թվին: Դրանք տեղի են ունենում երկրագնդի բոլոր աշխարհամասերում՝ պատճառ դառնալով հազարավոր մարդկանց մահվան, բազմաթիվ շինությունների, պատմամշակութային հուշարժանների ավերումների, նյութական արժեքների ոչնչացման: Ցավոք, երկրաշարժերի արհավիրքներից զերծ չէ նաև Հայաստանի տարածքը:

Ներկայումս երկրաշարժագիտությունն ամբողջ աշխարհում գտնվում է իր զարգացման ծաղկուն շրջանում: Վերջին տասնամյակներում երկրաշարժագիտության բնագավառում արձանագրվել են զգալի հաջողություններ, ինչպես երկրաշարժի երևույթի էության բուն բացահայտման, այնպես էլ դրանից հասարակության պաշտպանվածության բնագավառներում: 1988 թվականի Սպիտակի ավերիչ երկրաշարժը բացահայտեց, որ երկրաշարժագիտության և երկրաշարժապաշտպանության հետագա զարգացման հիմնախնդիրներին նոր, զգալի լիցք հաղորդելու անհրաժեշտություն կա նաև մեր հանրապետությունում, որին և նպատակաուղղված է սույն մենագրությունը: Երկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունների բնագավառը շատ ընդարձակ է: Այն կիրառվում է երկրի ներքին կառուցվածքի ուսումնասիրման, օգտակար հանածոների հետախուզման, ստորգետնյա միջուկային պայթեցումների բացահայտման և այլ հարցերում: Երկրաշարժագիտության խնդիրները, բնականաբար, առանձնապես հետաքրքրում են ճարտարագետ-շինարարներին, նախագծողներին, քաղաքաշինարարներին, գործարար մարդկանց և մինչև անգամ քաղաքագետներին: Մեկ մենագրության սահմաններում արժարժել նշված բոլոր հիմնախնդիրները, մանավանդ մեկ հեղինակի տեսանկյունից, դժվարագույն խնդիր է: Նկատի ունենալով հեղինակի գիտական նախասիրությունների բնագավառը, սույն աշխատության մեջ երկրաշարժագիտության ընդհանուր հարցերի շարադրմանը զուգընթաց հիմնական շեշտադրությունը դրված է նաև երկրաշարժագիտության այն կիրառական խնդիրների վրա, որոնք առնչվում են առաջին հերթին շինությունների երկրաշարժադիմացկունության ապահովման հարցերին ու այդ բնագավառում համապատասխան նորմատիվային փաստաթղթերի կատարելագործման խնդիրներին:

Մենագրության բովանդակության նյութ են հանդիսացել Հայ-սեյսմոլոգիկական զոնալիզացիայի հիմնական գիտությունների ինստիտուտում, ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում հեղինակի կողմից վերջին 10 տարիներին իրականացված գիտական հետազոտությունները, Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի ու Երևանի պետական համալսարանի մեխանիկայի և երկրաբանական ֆակուլտետների ուսանողների համար կարդացած դասախոսությունները:

Նկատի ունենալով գրքի բովանդակության բազմերանգությունը, արժարժված հիմնախնդիրների վերաբերյալ ներկայումս տարվող գիտական հետազոտությունների ընթացքը և հայերեն լեզվով մասն աշխատության առաջին անգամ հրատարակումը, հեղինակը հայցում է ընթերցողների ներողամտությունը քննարկվող որոշ դրույթների վերաբերյալ անձնական մոտեցումների ու մախապատվությունների ընդգծման, նոր տերմինների և բառակապակցությունների օգտագործման կապակցությամբ:

Գրքի կազմման աշխատանքները հովանավորել է Հայաստանի Ամերիկյան համալսարանի պատվավոր մախագահ, ՀՀ ԳԱԱ արտասահմանյան անդամ Միհրան Աղբաբյանը, որին հեղինակը հայտնում է իր խոր երախտագիտությունը: Իմ խորին շնորհակալությունն եմ հայտնում Համահայկական երիտասարդական հիմնադրամի մախագահ Վ. Բարսեղյանին և գործադիր տնօրեն Ա. Պողոսյանին գրքի հրատարակման աջակցության համար, ինչպես նաև Տիգրան Պետրոսյանին, Արտակ Հակոբյանին և Արմենուհի Սարգսյանին՝ գրքի համակարգչային ձևավորման ու շարադրանքի համար:

Մենագրությունն առաջին հերթին ուղղված է կիրառական երկրաշարժագիտության բնագավառի գիտաշխատողներին ու մասնագետներին: Այն կարող է ուսումնական ձեռնարկ հանդիսանալ նաև բարձրագույն ուսումնական հաստատությունների ուսանողների, մագիստրատուրայի ուսկնդիրների ու ասպիրանտների համար:

Էդուարդ Խաչիյան

1.1 ԻՆՉ Է ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԸ

Երկրի ներսում տեղի ունեցող զանազան բնույթի հանկարծակի տեղաշարժերի հետևանքով նրա կեղևի տատանումները կոչվում են երկրաշարժեր: Ուժեղ և կործանիչ երկրաշարժերին սովորաբար հաջորդում են մարվող ուժգնությամբ կրկնվող ավելի թույլ երկրաշարժեր, որոնք սովորաբար տևում են մի քանի ամիսն և անգամ տարի: Երկրաշարժի վայրում գետինը և նրա վրա գտնվող առարկաները ու կառուցվածքները սկսում են ցնցվել, տատանվել: Կործանիչ և աղետաբեր երկրաշարժերի ժամանակ առարկաները շրջվում են, կառուցվածքներում առաջանում են ճաքեր, փլվում է կառուցվածքը ամբողջությամբ կամ մաս-մաս, իր տակ թողնելով մարդկանց, կենդանիներին, գույքը: Գետնի վրա առաջանում են ճեղքեր, սարավանջին՝ փլվածքներ, սողանքներ: Նկատվել են դեպքեր, երբ երկրաշարժին զուգակցել են ձայնային կամ անգամ լուսային ու էլեկտրական երևույթներ, ռելիեֆի զգալի փոփոխություններ: Երկրաշարժածին գոտիները երկրագնդի վրա զգալի մաս են կազմում: Մարդու կյանքում երկրաշարժի երևույթին ներկա լինելու հավանականությունը շատ մեծ է: Շատ մարդկանց հետ դա հանդիպում է կյանքում մի քանի անգամ: Երկրի վրա 8000 մահացող մարդկանցից մեկի պատճառը երկրաշարժն է լինում, իսկ 10-ը նրանցից այս կամ այն ձևով տուժում են երկրաշարժից: Երկրաշարժի երևույթը տեղի է ունենում միանգամայն անսպասելիորեն: Մարդը սկզբում ինքն իրեն հարցնում է. «Այս ինչ էր»: Մինչև նա փնտրում է իր հարցի պատասխանը, հետևում են հաջորդ հարվածները և նա արդեն մտածում է. «Երբ կվերջանա այս տհաճ պատկերը, ինչ անեն ես»: Երբ երկրաշարժը շուտ է վերջանում, մարդը արագ հանգստանում է, եթե այն չարունակվում է, նա ինքնաբերաբար սկսում է ինչ-որ գործողություններ կատարել. բղավել, փախչել, թռնել պատուհանից, քարացած մնալ տեղում: Մարդիկ, առհասարակ, սովոր են, որ հատակը և մանավանդ գետինը շատ ամուր ու հուսալի են և հիմա ստացվում է, որ այն, ինչի վրա մարդ միշտ հույս ու հավատ է ունեցել, սկսում է սարսափելի շարժվել: Եթե նա մախօրոք ներքուստ պատրաստվել է երկրաշարժի վտանգին, ապա արագ կողմնորոշվում է, թաքնվում ապահով տեղում (ամենից հարմար է սեղանի տակ), նույնը օգնում անելու իր հարազատներին ու գործընկերներին: Մի քանի վայրկյան տևող ցնցումներից հետո սկսվում են ավերածությունները, ջարդվում ու թռչում են պատուհանների ապակիները, պահարաններից ընկնում են զանազան իրեր, թափվում է առաստաղի ծեփը, ճաքճքում են պատերը և ծածկերը, առաջանում է անտանելի աղմուկ՝ մի տեսակ սարսափելի ոռնոց, փլվում են շենքերը, ակնթարթային փոխվում է ամբողջ շրջակայքը: Սովորաբար այս ամենը տևում է 5-15 վայրկյան, գետնի և հատակի տեղափոխությունները չեն անցնում 5-10 սանտիմետրից, չնայած մարդկանց թվում է, թե երկրաշարժը տևեց 40-50 վայրկյան, իսկ տեղափոխու-

թյունները հասան մի քանի մետրերի: Այս տեսակետից, թե ինչքան խաբուսիկ են մարդկանց զգացողությունները, հետաքրքիր է տարբեր գրքերում բերվող հետևյալ փաստարկը. մեկ մոլլա, որը երկրաշարժի ժամանակ Ստամբուլի մզկիթի տանիքում նամազ էր անում, պատմում է, որ մզկիթի տատանումներն այնքան մեծ էին, որ, իբր, ինքը երկրաշարժի ժամանակ հասցնում էր ձեռքով հպվել գետնին և նորից բարձրանալ վեր: Ուժեղ երկրաշարժերը չեն հանդիսանում մեկուսացած երևույթներ: Նրանց միշտ նախորդում են թույլ, սակավաթիվ հարվածներ, որոնք կոչվում են ֆորշոկներ (մինչհարված), իսկ երկրաշարժից հետո միշտ տեղի են ունենում բազմաթիվ թույլ հարվածներ, որոնք կոչվում են աֆտերշոկեր (հետհարված): Բայց այս հարցում կան մեծ բարդություններ: Բանը նրանում է, որ դժվար է պարզել, թե տվյալ հարվածը ֆորշոկ էր, իսկական երկրաշարժ, թե աֆտերշոկ: Երկրաբանական առանձին շրջանների համար բնորոշ են համարժեք ուժգնությամբ մի քանի րոպեից կամ ժամից հետո նոր երկրաշարժի առաջացում: Որոշ տեղերում տեղի են ունենում բազմաթիվ իրար հաջորդող թույլ և ուժեղ հարվածներ, առանց հիմնականի հստակության: Դրանք կոչվում են երկրաշարժերի պարս: Հիմնականում դրանք տեղի են ունենում հրաբխածին տարածքներում:

Երկրաշարժերի մասին գրավոր տեղեկություններ, հետևանքների մանրամասն նկարագրություններով, կարելի է հանդիպել հայ պատմիչներ՝ Մովսես Խորենացու, Հովհաննես Դրասխանակերտցու, Թովմա Արծրունու, Մովսես Դասխուրացու, Կիրակոս Գանձակեցու, Ջաքարիա Քանաքեռցու, Ջաքարիա Ազուլեցու, Գրիգոր Երևանցու և ուրիշ շատերի աշխատություններում: Վերջին երկու հազարամյակում հայկական լեռնաշխարհում տեղի ունեցած երկրաշարժերի մասին հայ պատմիչների թողած հարուստ տեղեկատվության ամփոփիչ նկարագրիչ բերված է Վ. Ստեփանյանի *«Երկրաշարժերը հայկական լեռնաշխարհում և նրա մերձակայքում»* 1964 թ. երևանում հրատարակված արժեքավոր մենագրության մեջ [13]: Ահա 1679 թվականի հունիսի 4-ի Գառնիի հայտնի երկրաշարժի մասին Ջաքարիա Քանաքեռցու նկարագրությունը [13].

«1679 թվի հունիսի 4-ին Արարատյան երկրի վրա եկավ Աստուծո սաստիկ բարկությունը, որովհետև Աստված բարկությամբ նայեց իր ստեղծած արարածների վրա. ետ համբարձման երեքշաբթի օրը, ժամը 7-ին հանկարծակի գոռաց երկիրն ամպի նման, և գոռալուց հետո ահագին ցնցումով շարժվեց: Արարատյան երկիրն ամբողջությամբ դողում և երբերում էր, այն ասացվածքի նման, թե՛ ով է նայում երկրին ու ցնցում նրան, և երկրի հիմքերը տատանում: Եվ այս երկրաշարժը եկավ Գառնու կողմից և քանդվեցին բոլոր շինվածքները, գեղեցկահարկ բնակարանները և վանքերն ու եկեղեցիները: Քանդված եկեղեցիները սրանք են՝ Աղջուցվանք, Այրիվանք, Հավուց թառ, Տրդատակերտ, Խոր-վիրապ, Ջրվեժ, Ձաքավանք, Երևանի երեք եկեղեցիները, Նորագավիթ, Նորագեղ, Չորագեղ, Նորք, Գամրիզ: Երևանի բերդը հիմքից տապալվեց, ինչպես և մզկիթն ու մինարեները: Բազմաթիվ տեղերում աղբյուրներ բխեցին և շատերը փակվեցին: Փուլ եկան քարափները և լցվելով առուները արգելեցին ջրերի ընթացքը: Բազմաթիվ գյուղեր քանդվեցին, իսկ Քանաքեռում հավաքուն անգամ չմնաց: Եվ զարմանալին այն է, որ նույն Քանաքեռում մի տան չորս պատերն ընկան, իսկ տանիքը մնացել էր չորս սյուների վրա կանգուն, կարծես օդից կախված: Երկրաշարժը հասավ մինչև Կարբի գյուղաքաղաքը... Սուրբ Հոհանավանքի մենաստանի բոլոր գեղեցիկ ապարանքները փլան և եկեղեցին խախտվեց և մենք հազիվ ազատվեցինք մահից: Եվ նրանք, որոնք հողի տակ մնացին, ոմանց դուրս բերեցին, իսկ նրանց, որոնց հանել չկարողացան,

այդպիսիների բնակարանները դարձան իրենց համար գերեզմաններ: Մեռածներն ավելի շատ էին, քան կենդանի մնացածները, և թեև բոլոր տեղերի մահացածների մասին իմանալ չկարողացա, սակայն չմնաց ոչ կատու, ոչ շուն և ոչ էլ հավ, շարժը տեսց մինչև հովիտները ամիսը: Ամեն օր երկիրը գոռում էր օրական երեք, չորս կամ հինգ անգամ և տեղի էր ունենում շարժը: Բայց բոլոր վնասն առաջին օրում եղավ: Նրանք, որոնք կենդանի մնացին, ապրում էին պարտեզներում՝ կարպետից պատրաստված վրանների տակ, այգիներում և անմշակ վայրերում»:

Նույն երկրաշարժի մասին գրիչ Գրիգոր երևանցին իր հիշատակարանում բողբել է հետևյալ նկարագրությունները [13].

«Արա (Ստեփաննոս վարդապետի) եպիսկոպոսության օրով աստվածասաստ բարկություն եղավ Արարատյան գավառի վրա: 1679 թ. հունիսի ամսի 4 – ին, չորեքշաբթի օրը, երբ տակավին օրը չէր եղել կեսօր,՝ հնչեց երկիրը, դողողացին բոլոր արարածները, և երկիրը ցնցումից շարժվեց սաստկագույն հողմով, այնպես, որ ողջ մնացողները կյանքի նկատմամբ անհույս մնացին, կարծելով, որ սա աշխարհի վերջին օրն է, և որ թվում է, թե ոչնչով պակաս չէր (այդ օրվանից...): Երկիրն ընդարձակ պատռվածքներ ունեցավ, քարաժայռերը ծվեցին լինելով գլորվելով լցրին ձորերն ու հովիտները, լուսինն ու արեգակը մթնեցին ինչպես գիշեր և հողի փոշուց ջրերն արնագույն դառնալով խառնվեցին. աղբյուրներն իրենց սահմանված ընթացքը փոխեցին, աստուծո հաստատաշեն տները, արքայակազմ եկեղեցիները հիմքից տապալվեցին, քանդվեցին, բազմաթիվ պողոտաները քարակույտի վերածվելով իրենց ընթացքը խափանեցին: Հին ու նոր շինություններն իսպառ կործանվեցին հիմքից և անհամար մարդիկ տների փլատակների տակ մեռան. նրանք, ովքեր տեղ ունեին, հողի տակից 2 – 3 օրից հետո հանվում էին և իրենց հագուստներով, առանց քահանայի ու ծիսակատարության զետեղվում էին հողի մեջ, իսկ նրանք, որոնք սրտացավ մեկը չուներ, որ հաներ հողի տակից, դեռ մինչև այսօր էլ մնում են հանգուցյալ տեղում...»:

Շատ հետաքրքիր մանրամասնություններ կան նաև 1840 թվականի Արարատի աղետալի երկրաշարժի մասին: Բերենք դրանցից մի փոքրիկ դրվագ.

«1840 թ. հունիսի 20 – ին, ցերեկվա ժամը 7 – ն անց 45 րոպեին աղետաբեր երկրաշարժ Արարատում, որի կործանիչ ու ամայացուցիչ ցնցումները տարածվել են բավականին լայնածավալ տերիտորիայում: Երկրաշարժի հետևանքով Մեծ Արարատի հյուսիս-արևելյան լանջում (այնտեղ, որտեղ այն առաջին հարվածն ստացել էր մեր թվարկությունից մի քանի դար առաջ) տեղի են ունեցել չափազանց մեծ փլումներ: Երկրաշարժի հենց առաջին հարվածից Մեծ Արարատի գագաթից և կիրճ կազմող ժայռոտ թեքությունից մոտ 2 կմ բարձրությունից պոկվել են սառույցներով ու դարավոր ծյունով ծածկված հսկայական քարեր (մինչև 1/2 խորանարդ սաժեն մեծությամբ), և կայծակի արագությամբ լցրել կիրճը. 7 կմ երկարությամբ սառույցների ու քարերի զանգվածների տակ նույնիսկ բոլորովին անհետանում են Ակոռի հարուստ գյուղի և Ս. Հակոբի եկեղեցու տեղերը: Կարահասանլու գյուղում շրջակա լեռներից լսվել են չտեսնված որոտ ու պայթյուն, որոնց ծայրից բնակիչները դուրս են փախել և հենց նրանց հետևից ամբողջ գյուղը մի ակնթարթում ծայրայնորեն վեր է ածվել ավերակների և ծածկվել թանձր մշուշում: Միաժամանակ Արաքսի և Սև ջրի ափին, վերջինիս ակունքից մինչև այնտեղ, որտեղ Արփաչայը միանում է Արաքսին, մեկ կիլոմետր լայնությամբ շերտով գետնի վրա գոյանում են 3 մետր բացվածք ունեցող լայն ճեղքվածքներ, որոնցից ժայթքում են ավազախառն ջրի մեծ շատրվաններ: Արաքսն ալեկոծվում ու շատ տեղերում դուրս է գալիս հունից և անհետանում հսկայական ճեղքվածքներում: Էջմիածնում կրոնականները, որոտի ահռելի

ծայնից ու ցնցումից ահաբեկված, դուրս են փախչում եկեղեցուց և տեսնում, թե ինչպես եկեղեցին ամբողջությամբ՝ գմբեթով ու խաչով, տատանվում է դեպի արևելք ու արևմուտք և եկեղեցու զանգերն ինքնահար ղողանջում են...» [13]:

Ժամանակի որոշ ականատես գիտնականների կարծիքով 1840թ. Արարատի աղետալի երկրաշարժը ուղեկցվել է Արարատի ժայթքումով:

Ֆրանսիացի ականավոր գրող, գիտահանրամատչելի բազմաթիվ գրքերի հեղինակ *Պյեռ Ռուսսոն* հավաքել ու համակարգել է բազմաթիվ կործանիչ երկրաշարժերի մասին ականատեսների շատ օգտակար նկարագրություններ [12]: Բերենք 1755 թվականի նոյեմբերի 1-ի Լիսաբոնի աղետալի երկրաշարժի մասին նրա հավաքած ականատեսների նկարագրություններից մի քանի դրվագներ.

«Ինչ հրաշալի առավոտ էր բացվել Ամենայն Սրբոց տոնին: 1755 թվականի նոյեմբերի 1-ի չաբաթ օրը արշալույսը բացվելու պես դողանջեցին զանգերը: Օրը խոստանում էր լինել պայծառ ու զվարճալի: Հանկարծ լսվեց մի ահավոր աղմուկ, կարծես երկրի ընդերքից դուրս թռչող մի ոռնոց... եկեղեցում գտնվող բոլոր մարդկանց թվաց, թե գետինը հեռանում է ոտքի տակից, տեսան, թե ինչպես Կենտրոնական կամարը դրոշմեղծվեց փլվեց և իսկույն փոշեկույտի վերածվեց... ցնցումները տևում են որոշ ժամանակ, որը անվերջ է թվում: Երկրաշարժը դադարել էր, բայց այլևս փողոց չկար, նրա երկու կողմերում տների փոխարեն ձգված էր քարակույտերի երկու շարք: Պայծառ արևոտ ցերեկը հանկարծակի դարձել էր գիշեր և այդ խավարի մեջ կենդանի մնացած մարդիկ նման էին խելակորույս ուրվականների... բայց այդ միայն աղետի նախերգանքն էր: Բռնկվել էր համատարած հրդեհ: Չմայած մթնշաղն արդեն իջնում էր, քաղաքը լուսավոր էր ինչպես ցերեկը: Ամբողջ Լիսաբոնը վեր էր ածվել մի վիթխարի խարույկի: Քաղաքի ամբողջ ստորին մասն այրվում էր 5-6 օր շարունակ: Սարսափից խելքները կորցրած լիսաբոնցիները փախուստի դիմեցին... շատերը վազել էին դեպի ծովը: Բնական ձգտում է. չէ՞ որ հողը դադարել էր մարդու համար ամուր և հաստատուն հենարան լինելուց: Հանկարծ, կարծես մի անսպասելի վիթխարի տեղաշարժից անկասկածաբար, ծովը նահանջեց: Ծովը նահանջեց, իր հետ տանելով նավերը, մերկացնելով նավահանգիստը և նավանորոգարանները... և հանկարծ նույն սրընթացությամբ ծովը անցավ հարձակման: Մարդիկ տեսան առնվազն 12 մետր բարձրությամբ մի հսկայական ալիք (ցումանի), որը առաջ էր շարժվում ամբողջ թափով սլացող ձիու արագությամբ: Ահռելի ալիքը սրբում-տանում էր քաղաքը: Տեժու գետը եզրապատող լեռները չէին դիմացել հարվածին և փլվել էին ծովափի վրա... Իսկ միթե կարելի է հաշվել, թե որքան մարդկային կյանքեր է խլել ծովը...»:

Երկրաշարժերի մասին մեզ հասած պատմական հարուստ տեղեկություններն, իհարկե, պարունակում են զգալի հետաքրքիր դրվագներ երկրաշարժերի դրսևորման ելքյան բացահայտման գործում, բայց դրանք շատ հեռու են գիտական բնույթ կրելուց: Ինչպես նշում է երկրաշարժագիտության խոշորագույն մասնագետ **2. Ռիխտերը**, պատմական նկարագրություններն անբավարար են երկրաշարժերի իրական ելքյան ըմբռնման համար, քանի որ նախ դրանք շատ կցկտուր են և մյուս կողմից, երևույթի անսովորության պատճառով, ականատեսները շատ հաճախ հետաքրքրաշարժության ու փառասիրության ձգտումով ընկնում են չափազանցությունների ու երևակայությունների գիրկը և թույլ տալիս անհարկի անճշտություններ: Իրականում միայն սկսած XVIII դարից (Լիսաբոնի երկրաշարժից) երևացին երկրաշարժերի մասին առաջին գիտականորեն բավարար, հիմնավորված նկարագրություններ:

Բերենք մի քանի աղետալի երկրաշարժերի ցանկը և զոհվածների թիվը.

1. 1679 թ. հունիսի 4-ի Գառնիի երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 7600 մարդ,
2. 1755թ. նոյեմբերի 1-ի Լիսաբոնի (Պորտուգալիա) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 60.000 մարդ,
3. 1783թ. փետրվարի 5-ի Կալաբրիայի (Իտալիա) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 50.000 մարդ ,
4. 1891թ. հոկտեմբերի 28-ի Մինո-Օվարի (Ճապոնիա) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 7.300 մարդ,
5. 1905թ. ապրիլի 4-ի Կանգրայի (Չնդկաստան) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 20.000 մարդ,
6. 1908թ. դեկտեմբերի 28-ի Մեսսինայի (Իտալիա) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 100.000 մարդ,
7. 1920թ. դեկտեմբերի 16-ի Գանսուի (Չինաստան) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 100.000 մարդ,
8. 1923թ. սեպտեմբերի 1-ի Կվանտոյի (Ճապոնիա) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 100.000 մարդ,
9. 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի (Հայաստան) երկրաշարժի ժամանակ զոհվել է 23.000 մարդ:

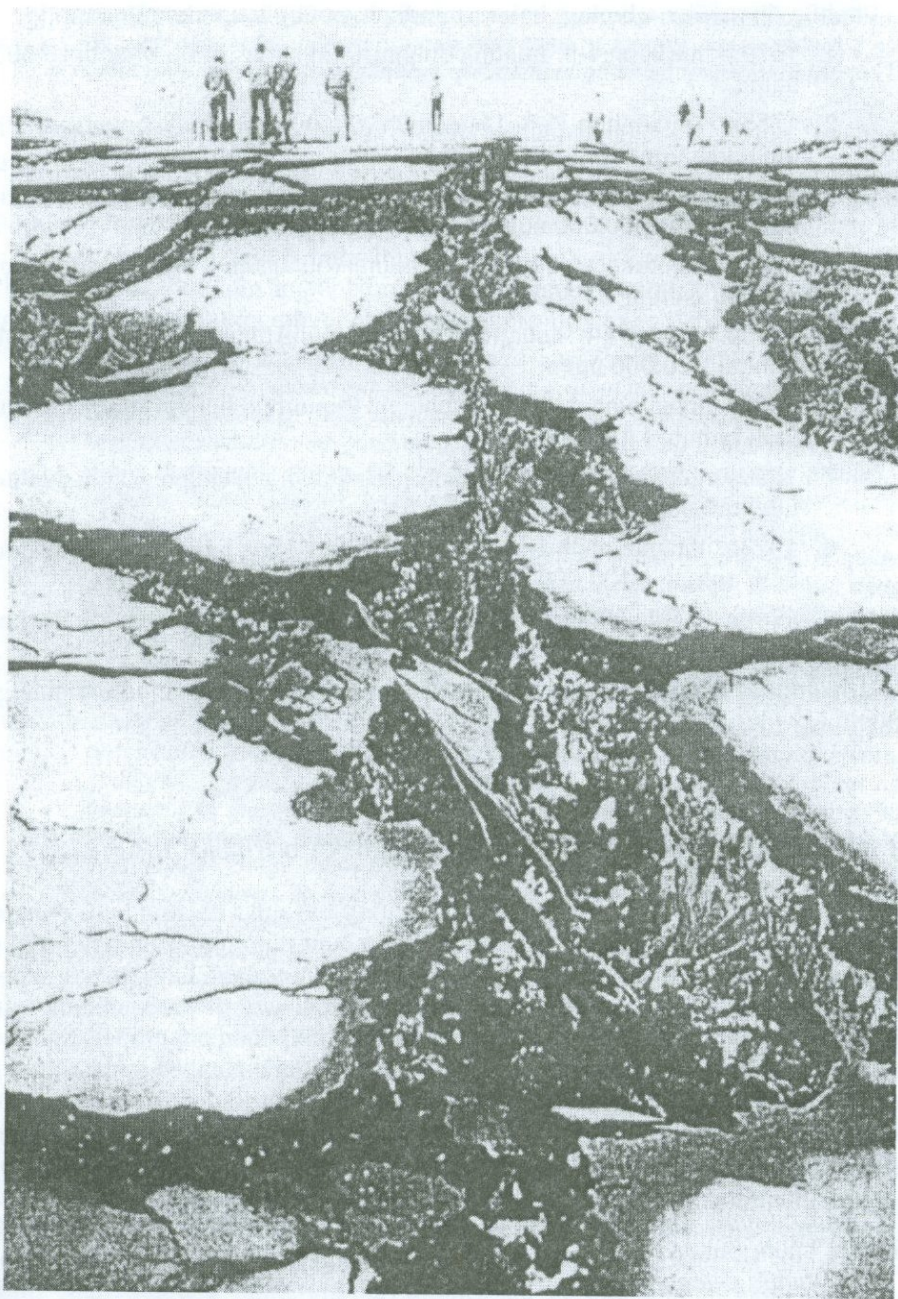
Աշխարհում և Հայաստանում տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժերի ցանկը բերված է հավելված 2-ում:

1.2 ԵՐԿՐԱՇԱՐՇԻՆ ՈՒՂԵԿՑՈՂ ՎՏԱՆԳԱՎՈՐ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ

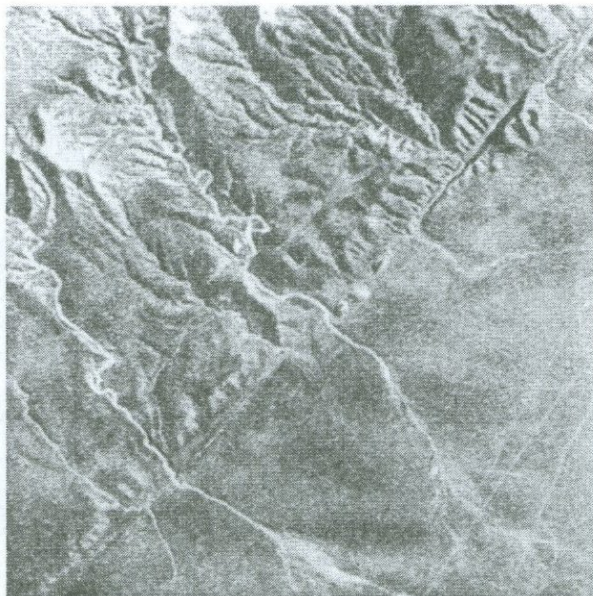
Երկրաշարժերը շրջապատի և հասարակության վրա հսկայական բացասական հետևանքներ են թողնում: Դրանք պատճառ են դառնում հազարավոր մարդկանց զոհվելու և նրանց կողմից ստեղծված նյութական և հոգևոր արժեքների վայրկյանական ոչնչացման: Մենք այս մասին ավելի մանրամասն դեռ կվերադառնանք հետագա բաժինները շարադրելիս: Այստեղ բերվում են երկրաշարժի, որպես բնական տարերային աղետի, բոլոր բացասական հետևանքների ցանկը, որոնք կապված են ինչպես երկրաշարժերին ուղեկցող մյուս բնական երևույթների, այնպես էլ մարդու գործունեությամբ պայմանավորված վտանգավոր հետևանքների հետ [23, 94].

ա. Երկրաշարժով պայմանավորված առաջանում են բնական վտանգավոր հետևյալ երևույթները

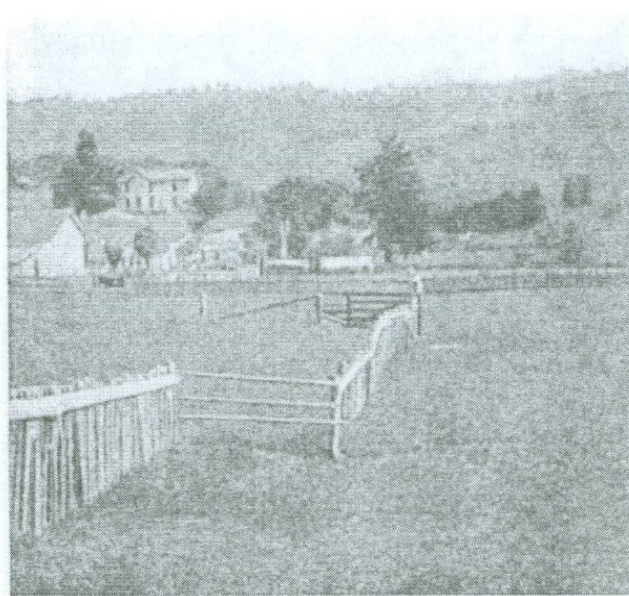
- Գետնի տատանումներ,
- Գետնի խախտումներ՝ ճաքեր, տեղաշարժեր,
- Սողանքներ, տարափ-հեղեղներ, սելավներ,
- Հողի ջրիկացում (նոսրացում),
- Գետնի նստվածքներ,



Նկ. 1.1 ճաքեր (պատռվածքներ) ճապոնական Նիիգատա քաղաքի շրջակայքում 1964թ. հունիսի 16-ի երկրաշարժից հետո [69]:



ա.



բ.

Նկ. 1.2 Սան-Անդրեասի բեկվածքը Կալիֆոռնիայում:

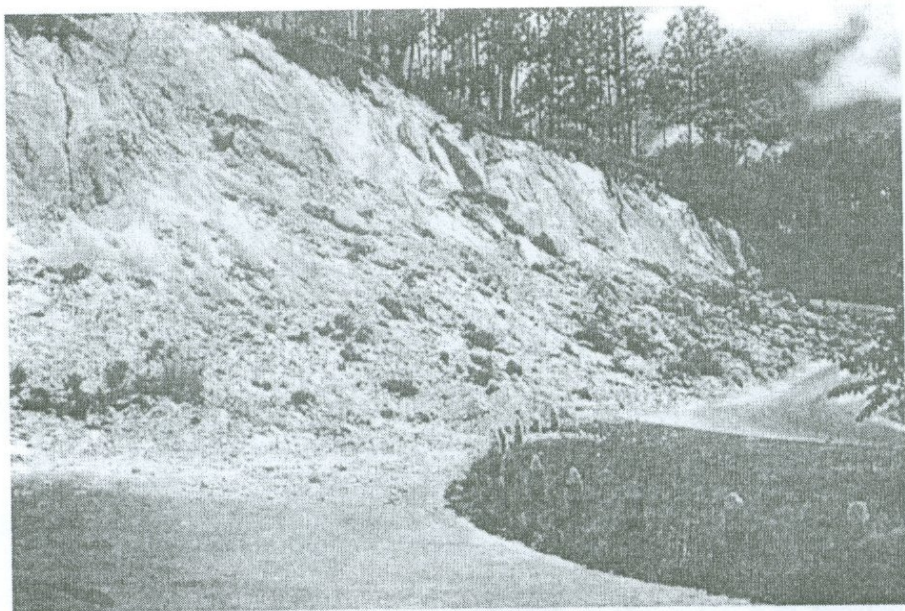
ա. բեկվածքի աերոնկարից երևում են երկու զետերի հունների փոփոխությունները հազարավոր տարիների ընթացքում տեղի ունեցած երկրաշարժերից [23,45],
բ. ցանկապատի սահեքը (2.6մ) 1906թ. երկրաշարժի ժամանակ:



Նկ. 1.3 Գրունտի ջրիկացում (նոսրացումը) էլ Ցենտրոյում 1979թ. Իմպերիալ
Վալլեյի երկրաշարժի ժամանակ [116]:



Նկ. 1.4 Գետնի փոփոխությունները (սանդղավանդ) 1988թ. Սպիտակի
երկրաշարժի ժամանակ:



Նկ. 1.5 Երկրաշարժի հետևանքով առաջացած սողանք [143]:



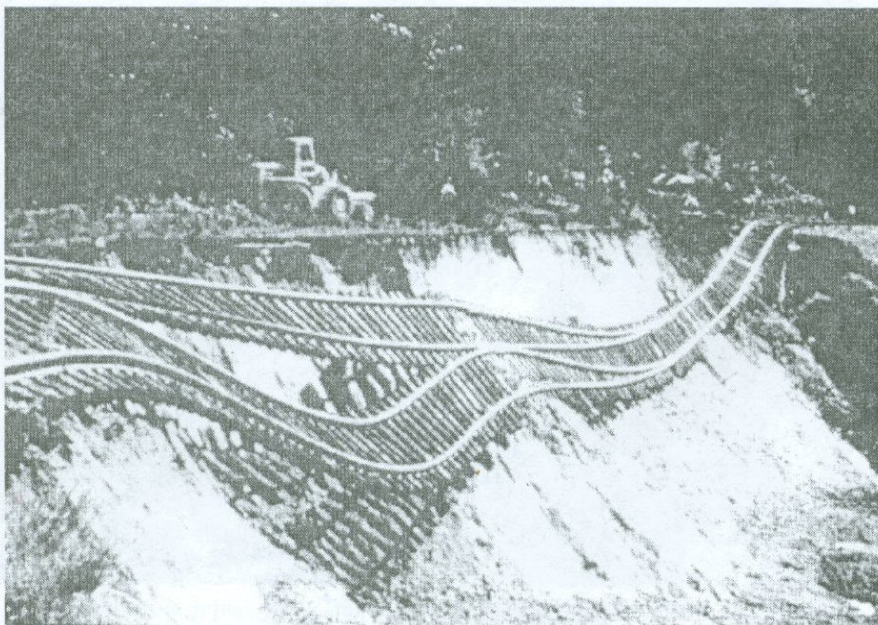
ա.



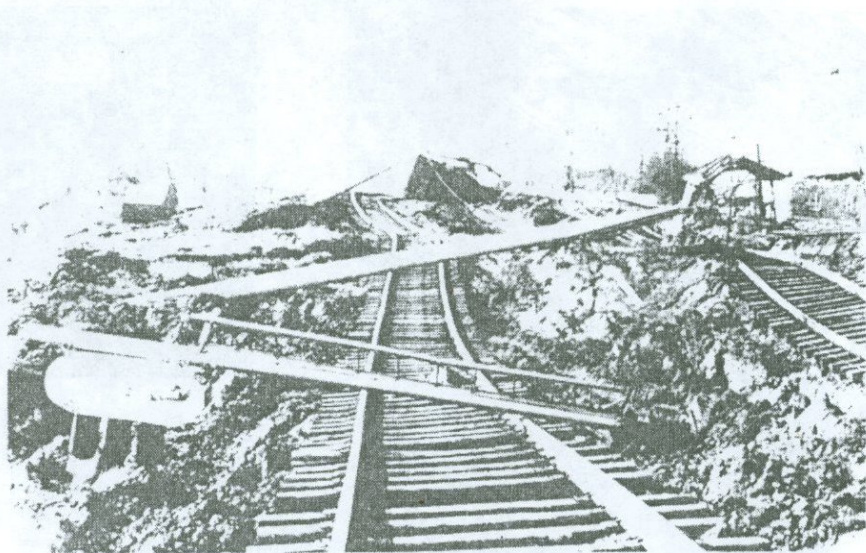
բ.

Նկ. 1.6 Երկրաշարժի հետևանքները [143]

ա. Գրունտի ջրիկացման պատճառով շենքերի տապալումներ (Նիիգատա),
բ. Երկրաշարժից զագատար խողովակի (1մ տրամագծով) խաթարում:

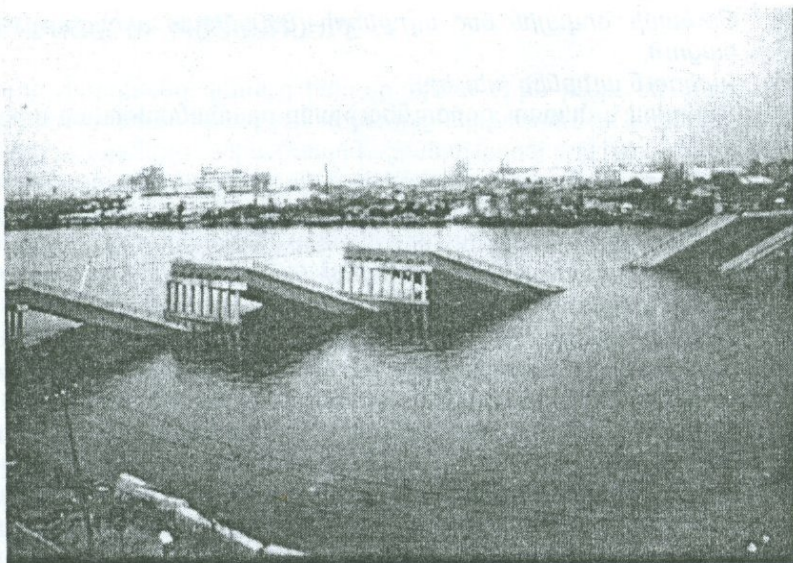


Նկ. 1.7 1965թ. Օլիմպիայի (ԱՄՆ) երկրաշարժից երկաթգծի ծոռված գծերը մնացել են օդում կախված՝ դրանց տակից բլրի հողը սողանքի հետևանքով սահել է ներքև [23, 130]:

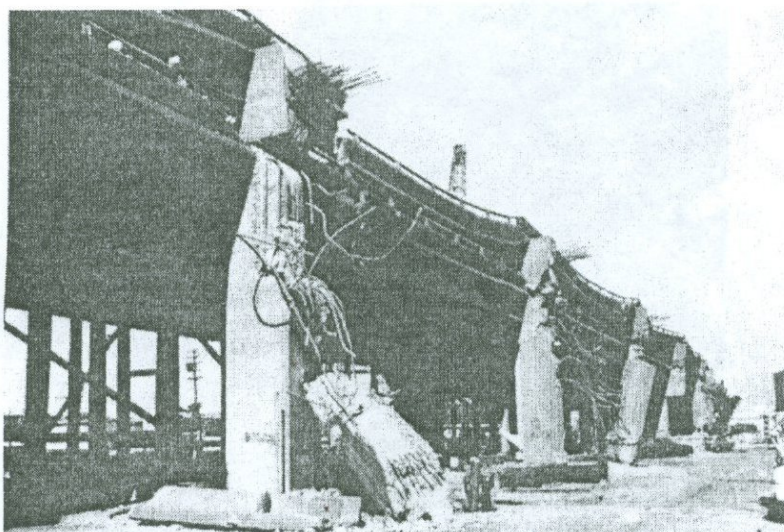


Նկ. 1.8 Երկաթգծերի ծոռվածքներ Սպիտակի երկրաշարժից՝ Նալբանդի շրջակայքում գետնի շրջիկացման պատճառով [151]:

ա



բ.



Նկ. 1.9 ա. Ֆուկոյի (1948թ.) երկրաշարժից կամուրջի քայքայումը.
բ. Լոնո-Պրիետտայի երկրաշարժի ժամանակ (1989թ.ԱՄՆ) երկյարուսյա
Ինտերստեյտ 880 (Interstate 880) կամրջի վնասվածքները:

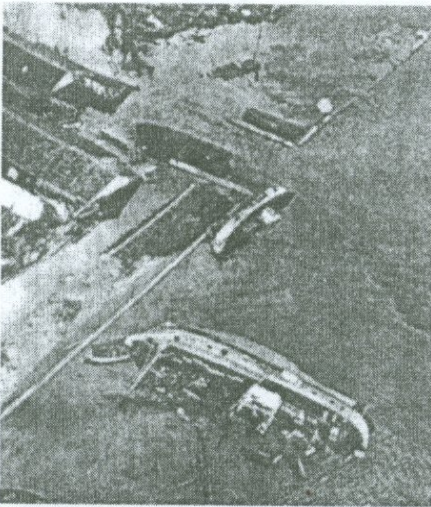


- Ցունամի՝ ծովային մեծ ալիքների (800կմ/ժամ արագությամբ) առաջացում,
- Կանգուն ալիքներ (սեյշեր):

բ. Երկրաշարժով և մարդու գործունեությամբ պայմանավորված վտանգավոր երևույթներ՝

- Շենքերի և կառուցվածքների վնասվածքներ և փլուզումներ,
- Ամբարտակների և ջրատարների փլուզման պատճառով ջրհեղեղների առաջացում,
- Նավթապահարանների, գազատարների և էլեկտրական գծերի վնասվածքներից հրդեհների առաջացում,
- Շինությունների ներսում և դրանցից դուրս ծանր առարկաների ընկնում,
- Տրանսպորտային միջոցների, էներգաջրամատակարարման, կոյուղու ու կապի համակարգի վնասվածքներ,
- Միջուկային ռեակտորներից ռադիոակտիվ նյութերի արտահոսք:

1811թ. Նյու-Մադրիդի (ԱՄՆ) երկրաշարժի ժամանակ առաջացել է 10 կմ² մակերեսով լիճ՝ 1.5-7մ խորությամբ, 1906թ. Սան-Ֆրանցիսկոյի երկրաշարժի ժամանակ հանրահայտ Սան-Անդրեաս խզվածքի ուղղությամբ երկու բևեռների հարաբերական հորիզոնական սահքը հասել է 7 մետրի, իսկ 1923թ. Կվանտոյի (Ճապոնիա) երկրաշարժի ժամանակ Տոկիոյի ծոցի հատակի կենտրոնը իջել է 100 - 200 մետրով, իսկ հյուսիսում բարձրացել է 250 մետրով:



Նկ. 1.10
Ճապոնական ափերում
ցունամիի հետևանքները
1960թ. Չիլիի
երկրաշարժից:

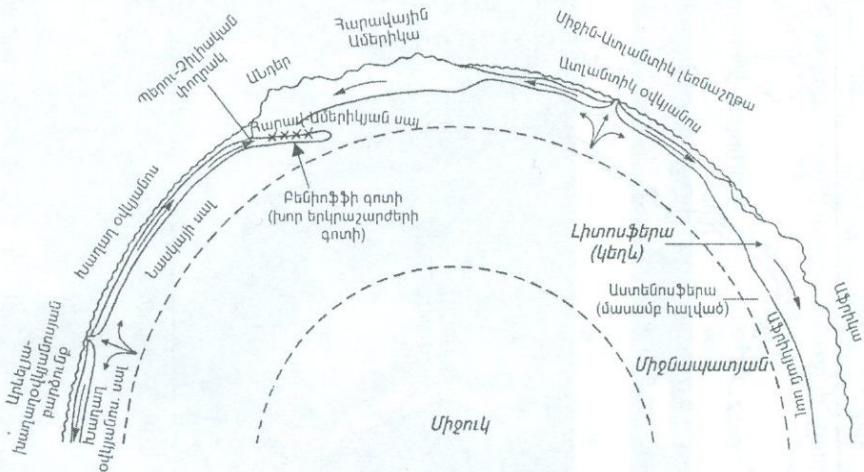
Երկրաշարժի պատճառով առաջացած վտանգավոր երևույթների պատկերավոր լուսաբանությունները բերված են 1.1-1.10 նկարներում:

Նշված բոլոր երևույթների գիտական ուսումնասիրությունները և դրանց դեմ պայքարի միջոցների մշակումը հանդիսանում է կիրառական երկրաշարժագիտության հիմնական խնդիրը: Այս հարցերին նվիրված բազմաթիվ գիտական մենագրություններ և նորմատիվ փաստաթղթեր կան մշակված: Այս հարցերին մասամբ մենք կանդրադառնանք նաև սույն աշխատության 2-րդ և 3-րդ գլուխներում:

1.3 ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՊԱՏՃԱՌՆԵՐԸ

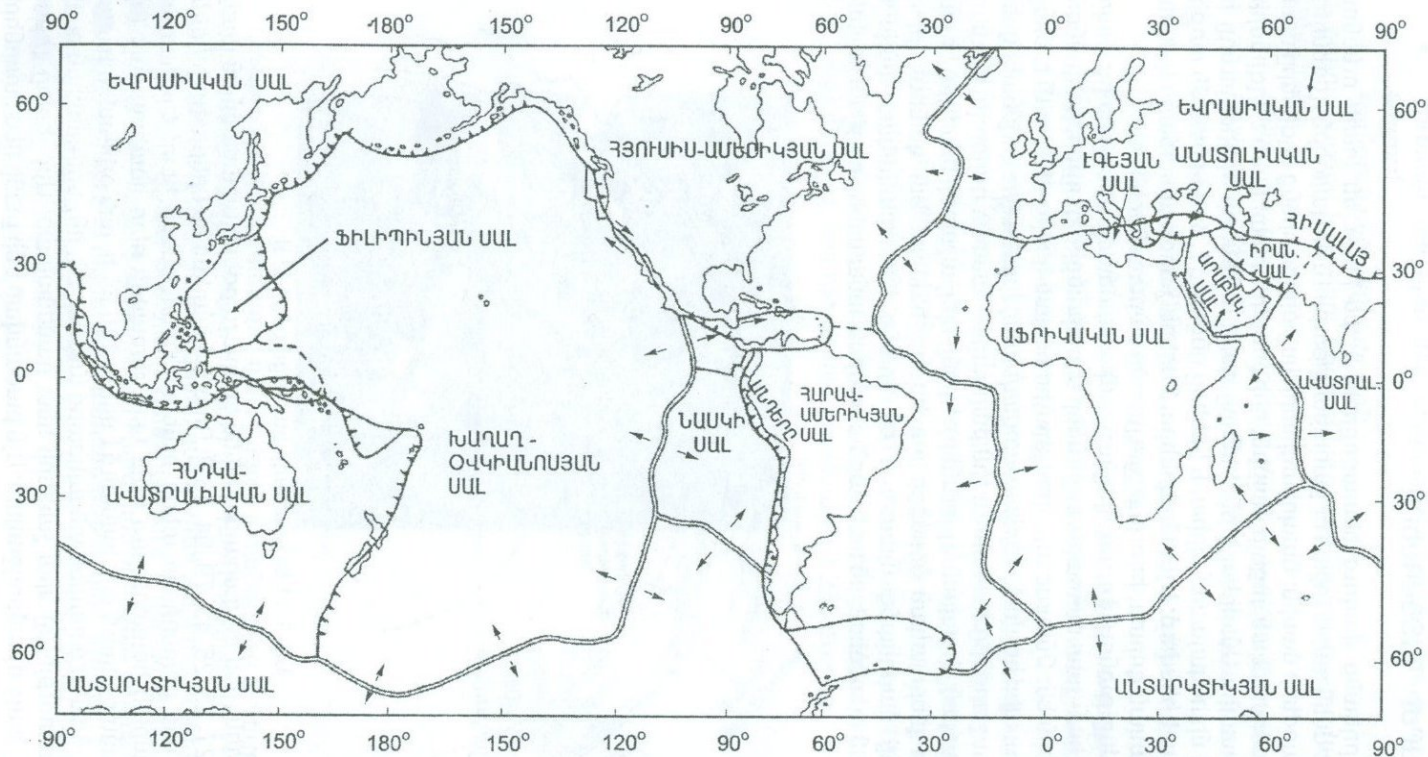
Բոլոր մարդկանց վաղուց հետաքրքրում է, թե ինչու են տեղի ունենում երկրաշարժեր: Ամեն դարաշրջան ու քաղաքակրթություն իր կարծիքն (լեգենդն) է թողել երկրաշարժերի մասին: Ճապոնացիների կարծիքով իրենց կղզիները պահվում են հսկայական ձկան՝ լոբոյի մեջքին, որի շարժումը ստիպում է կղզիներին ցնցվել: Հյուսիսային Ամերիկայի հնդիկները գտնում էին, որ երկրագունդը իր վրա տանում է մի հսկայական կրիա, և երկիրը ցնցվում է, երբ կրիան մի ոտքից մյուս ոտքի վրա է հենվում: Մյուս երկրներում երկրաշարժի պատճառը կապում էին առասպելական գորտի, խլուրդի, ցուլի, օձի շարժումների հետ:

Արիստոտելը գտնում էր, որ երկրաշարժի պատճառը մթնոլորտից երկրի ներսը, որտեղ կան շատ դատարկություններ և տարանցիկ ճեղքեր, թափանցող ուժեղ մորիկներն են: Չնայած այս դրույթը գիտության կոմից մերժվում է, մինչև հիմա էլ կան, այսպես կոչված, «երկրաշարժավտանգ եղանակի» կողմնակիցներ: Շատերը երկրաշարժերը համարում էին բարկացած աստծո գործողություններ (հունա-իտալական դիցաբանություններ): Կրոնը երկրաշարժի երևույթը օգտագործում էր իր բարոյական նորմերը քարոզելու համար: Նա գտնում էր, որ երկրաշարժերը մարդկանց պատժում են նրանց հասարակական անվայել գործունեության ու անձնական սանձաթակության, անպարկեշտության համար:



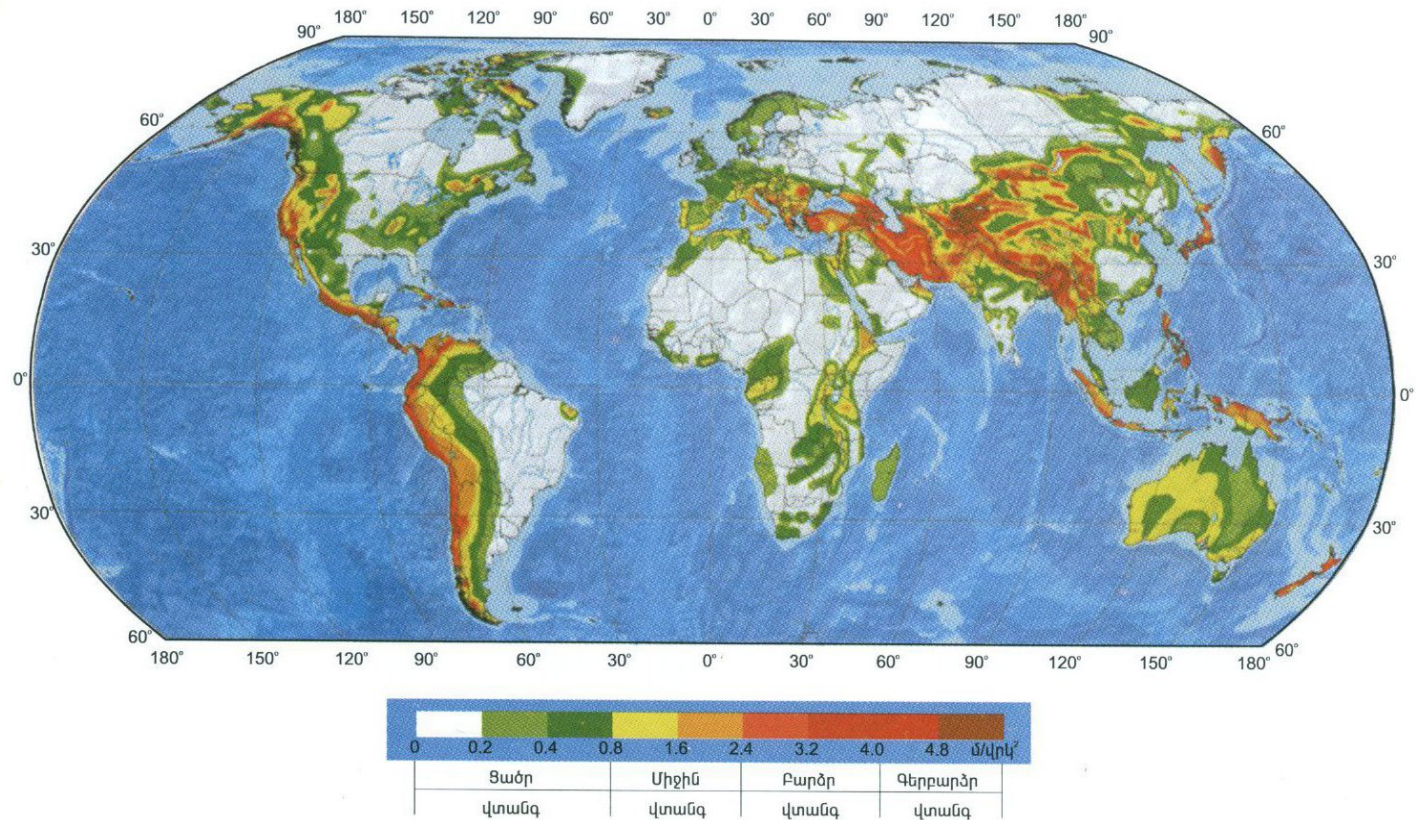
Նկ. 1.11 Երկրագնդի կառուցվածքը [23]:

Այսօր արդեն լրիվ բացահայտված են երկրաշարժերի առաջացման պատճառները [19, 21, 23, 25, 43, 79, 94, 132]: Դրանք կապված են երկրագնդի **կեղևի լիթոսֆերայի** մեջ անընդհատ տեղի ունեցող երևույթների հետ: Երկրագնդի կեղևը շատ բարակ հաստություն ունի նրա շառավղի հետ համեմատած (Նկ. 1.11): Մայրցամաքներում այն հասնում է մինչև 150 կմ-ի, իսկ օվկիանոսի տակ՝ մինչև 70 կմ-ի: Համեմատական տեսակետից այն նույն է, ինչ սովորական հավի ձվի կշեպի հաստությունը նրա չափերի հետ համեմատած: Այդ շերտը՝ լիթոսֆերան պինդ է, բայց ոչ ամբողջական: Այն բաժանված է մի քանի մեծ կտորների,



Նկ. 1.12 Լիթուֆերայի սալերը:

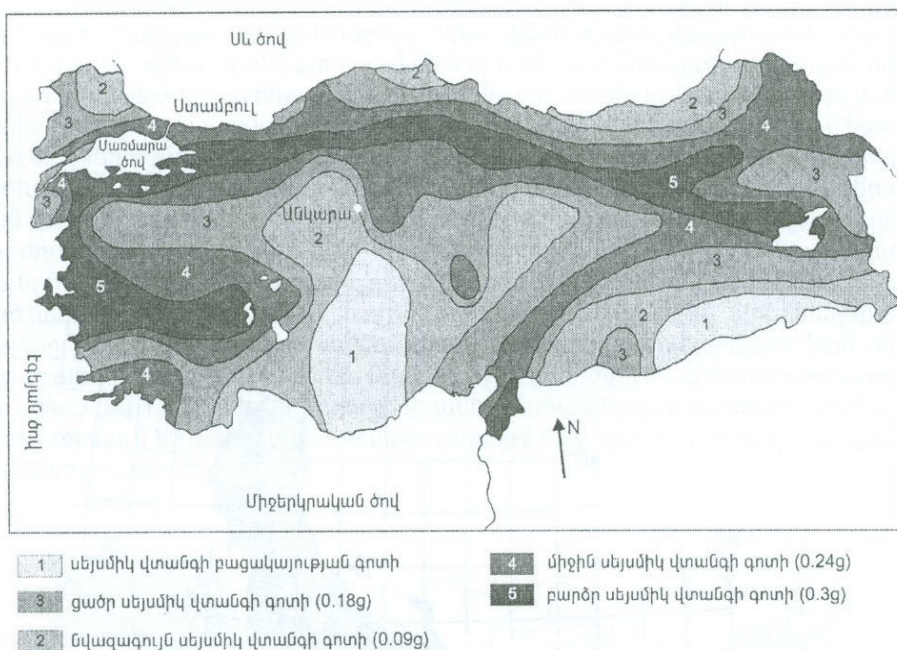
Սալերի շարժման ուղղությունները ցույց են տրված սլաքներով, սուբդուկցիայի գոտիները ցույց են տրված ատամնաձևերով:



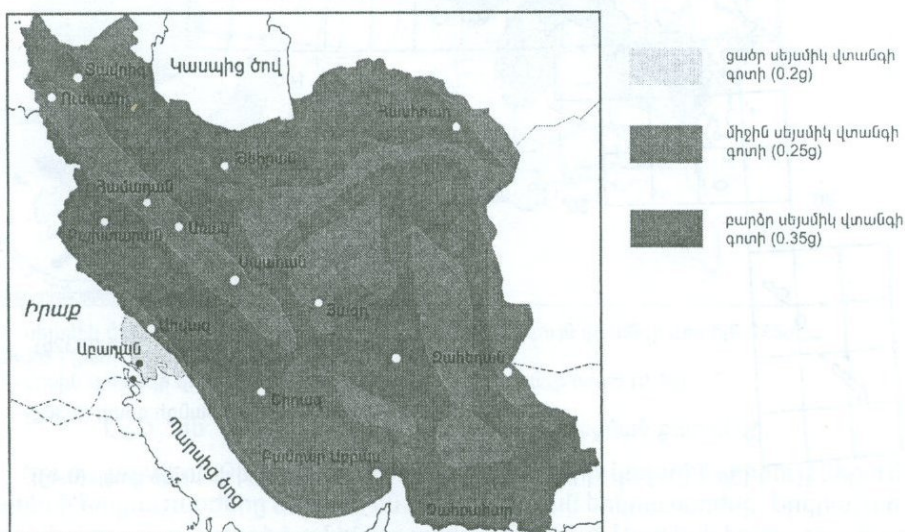
Նկ. 1.13 Երկրագնդի սեյսմիկ վտանգի համընդհանուր (գլոբալ) քարտեզը: Գետնի ամենամեծ արագացումները (մ/վրկ²) հաշվարկված են 50 տարվա կտրվածքով 10% գերազանցման հավանականությամբ (475 տարի կրկնողականության դեպքում) [74]:



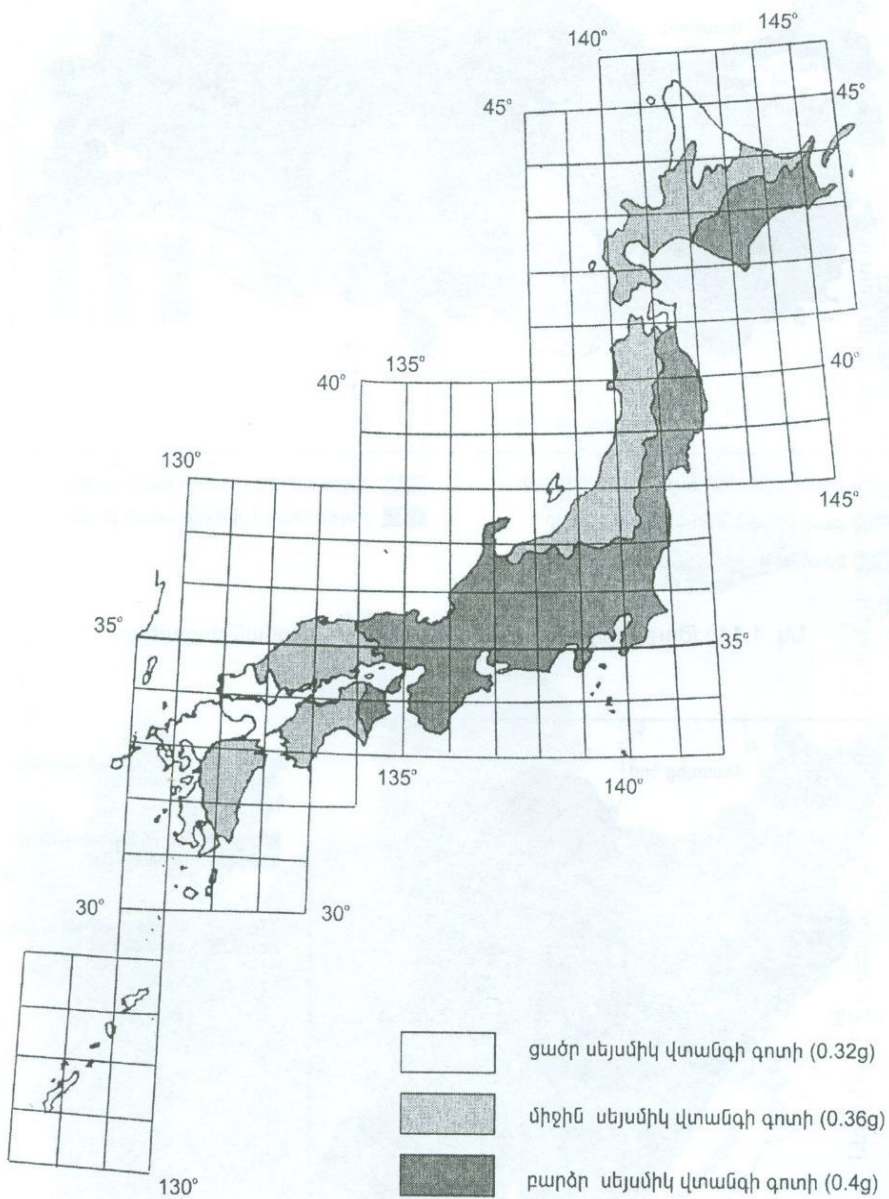
Նկ 1.14 Երկրաբանական էպիկենտրոնների բախվածությունը :



Նկ. 1.14բ Թուրքիայի տարածքի սեյսմիկ շրջանցման քարտեզը:

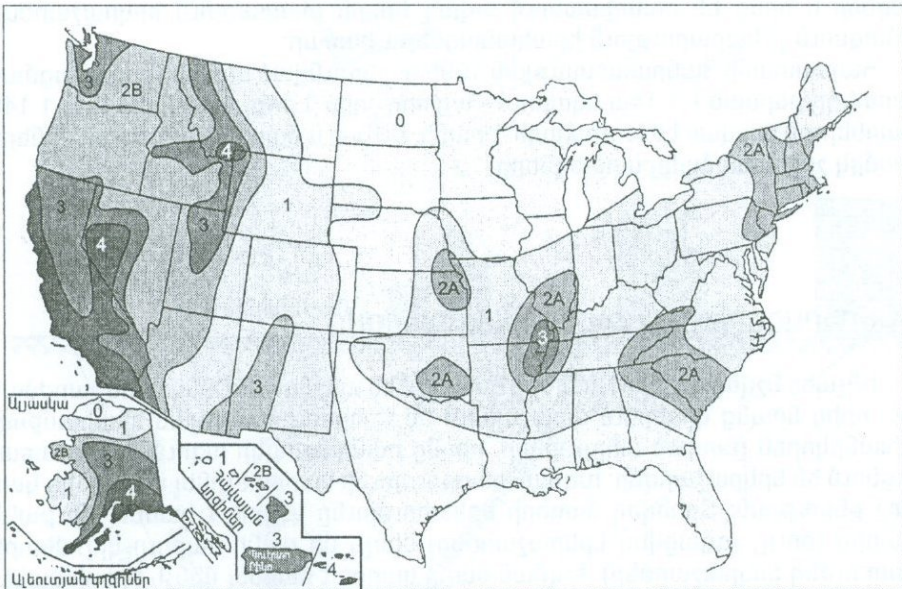


Նկ. 1.14գ Իրանի տարածքի սեյսմիկ շրջանցման քարտեզը:



Նկ. 1.14դ ճապոնիայի տարածքի սեյսմիկ շրջանցման քարտեզը:

որոնք կոչվում են **սալեր** (նկ.1.12): Սալերի չափերը հարյուրավոր կիլոմետրերից հասնում են հազարավոր կիլոմետրերի: Լիթոսֆերայի տակ **մանթիայում** ազդում են խորքային ուժեր, որոնք ստիպում են սալերին շատ դանդաղ շարժվել կամայական ուղղությամբ տարեկան մինչև մի քանի սանտիմետր մեծության: Այդ խորքային ուժերի առաջացման պատճառները դեռ լրիվ հայտնաբերված չեն և կապված են երկրագնդի ներսում անընդհատ տեղի ունեցող ջերմային կոնվեկցիայի (փոխանցման), այլ ֆիզիկա-քիմիական պրոցեսների և նրա, որպես տիեզերական մարմնի, բարդ դինամիկական երևույթներով պայմանավորված պտտական շարժումների հետևանքների հետ: Այս բարդ գործընթացում որոշ տեղերում երկու սալերի արանքից երկրի խորքից դեպի մակերևույթ դուրս են գալիս կիսաշիկացած ապարային զանգվածներ, սալերը հեռացնելով միմյանցից, մյուս տեղերում սալերը իրենց կողերով սահում են իրար նկատմամբ և վերջապես կան տեղեր, որտեղ մեկ սալը մյուսի հետ հանդիպելիս ընկղմվում է մյուսի տակը (**սուբ-դուկցիա**) (նկ.1.12): Սալերի այդպիսի անհամաձայնեցված դանդաղ շարժումները ստիպում են ապարային սովարաշերտին ճաքճքել ու տրոհվել՝ առաջացնելով երկրաշարժեր:



0 - սեյսմիկ վտանգի բացակայության գոտի, 1 - նվազագույն վտանգի գոտի (0.075g), 2A, 2B - ցածր սեյսմիկ վտանգի գոտի (0.15g և 0.2g), 3 - միջին վտանգի գոտի (0.3g), 4 - բարձր սեյսմիկ վտանգի գոտի (0.4g):

Նկ. 1.14ե ԱՄՆ-ի տարածքի սեյսմիկ շրջանացման քարտեզը:

Երկրաշարժերի 95% տեղի են ունենում սալերի կողային տիրույթներում: Այդպիսի երկրաշարժերը կոչվում են տեկտոնական երկրաշարժեր: Երկրաշարժերի մի փոքր մասը տեղի է ունենում սալերի ներսում: Այդպիսի երկրաշարժերի առաջացման պատճառն այն է, որ սալերի կողերի փոխազդեցություններից առաջացած տեկտոնական ակտիվությունը կարող է տարածվել դեպի ներս բավական հեռու տիրույթներում [25]: Մի շարք երկրաշարժեր ունեն իրաբխային ծագում և

կան երկրաշարժեր, որոնք առաջանում են մարդու գործունեության հետևանքով՝ արհեստական ջրամբարների լցման, հորատանցքերի մեջ ջրի մղման, լեռնային աշխատանքների և ստորգետնյա պայթեցումների իրականացման կապակցությամբ:

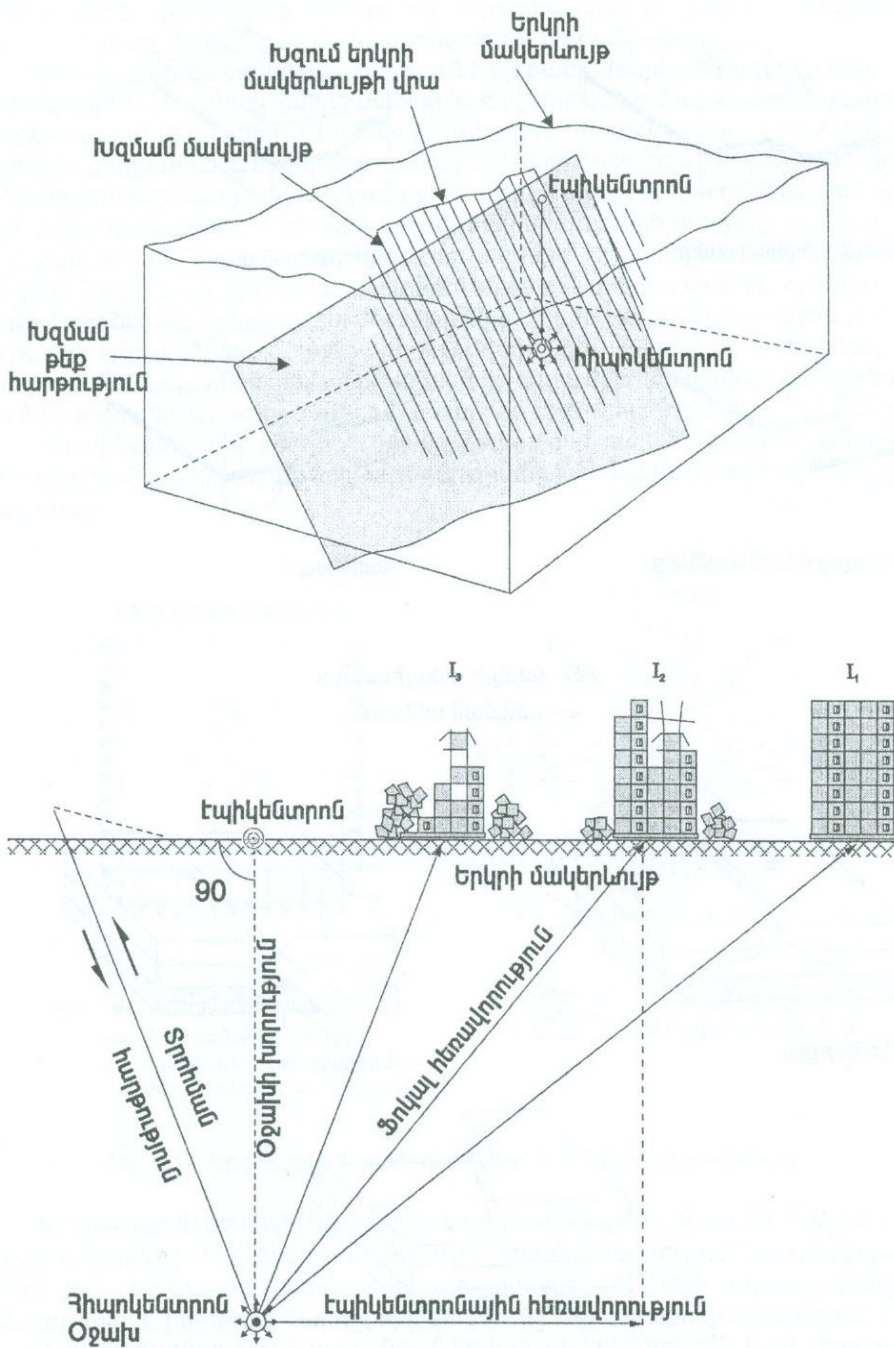
Երկրաշարժերի մեծ մասը՝ 90%-ը, տեղի է ունենում խաղաղօվկիանոսյան գոտում, հաջորդը՝ 5-6%-ը Ալպիական գոտին է (Միջերկրական ծովից Եվրոպայի, Թուրքիայի, Չայաստանի, Իրանի վրայով մինչև Յնդկաստան) և մնացյալ 4-5%-ը տեղի է ունենում այլ վայրերում (նկ. 1.13, 1.14):

Երկրագնդի ավելի քան 50 երկրների տարածքներում տեղի են ունենում ուժեղ երկրաշարժեր: Բոլոր երկրաշարժավտանգ երկրներում կազմվում են երկրաշարժերի վտանգի գնահատման հատուկ քարտեզներ, որոնցում տվյալ երկրի տարածքը իր հերթին բաժանվում է գոտիների՝ ըստ երկրաշարժի վտանգի աստիճանի: Սեյսմիկ վտանգի մակարդակը հիմնականում գնահատվում է տվյալ ռեգիոնում տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժերի կրկնողությամբ և տա-րածքի ընդհանուր երկրաբանական կառուցվածքով: Այդ քարտեզները, որոնք պարբերաբար ենթարկվում են ճշգրտման, կոչվում են **սեյսմիկ շրջանացման քարտեզներ** և հիմք են հանդիսանում տվյալ երկրի տարածքում երկրաշարժա-դիմացկուն շինարարություն իրականացնելու համար:

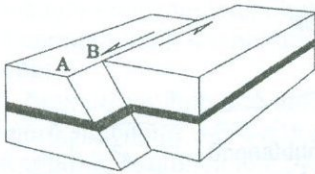
Չայաստանի Չանրապետության 1995 թ. ընդունված սեյսմիկ շրջանացման քարտեզը բերված է 1.14ա նկարում: Չաջորդ չորս 1.14բ, 1.14գ, 1.14դ և 1.14ե նկարներում բերված են Թուրքիայի, Իրանի, ԱՄՆ-ի և ճապոնիայի տարածքների սեյսմիկ շրջանացման քարտեզները:

1.4 ԵՐԿՐԱՇԱՐՄԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

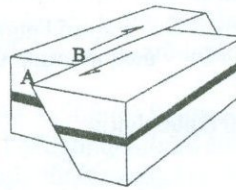
Ինչպես նշվեց վերևում, սալերը գտնվում են անընդհատ անկանոն շարժման մեջ, որից նրանց կողերում առաջանում են (խորդուբորդության հետևանքով) մեխանիկորեն լարված տիրույթներ, որոնց հանկարծակի խզումներն էլ առաջացնում են երկրաշարժեր: Խզման հարթությունը կարող է լինել ուղղաձիգ կամ որոշ թեքության: Տրոհվող մասերի երկարությունը կարող է լինել ուղղաձիգ կամ մետրից (թույլ, չզգացվող երկրաշարժեր) մինչև մի քանի հարյուր կիլոմետրի (շատ ուժեղ երկրաշարժեր): Խզման ճաքը կարող է հասնել մինչև երկրի մակերեսը, կամ կարող է մնալ կեղևի ներսում (նկ. 1.15): Այն տեղը, որտեղից սկսվում է զանգվածի տրոհումը (կիսվումը), կոչվում է **հիպոկենտրոն**, իսկ նրա ուղղաձիգ հետքը երկրի մակերևույթի վրա կոչվում է **էպիկենտրոն**: Երկրի մակերևույթից մինչև հիպոկենտրոնը կոչվում է օջախի խորություն. սովորաբար մի քանի կիլոմետրից մինչև հարյուր կիլոմետր: Էպիկենտրոնից մինչև քննարկվող տեղանքը եղած հեռավորությունը երկրի մակերևույթի վրա կոչվում է էպիկենտրոնային հեռավորություն, իսկ հիպոկենտրոնից մինչև քննարկվող տեղանքը եղած հեռավորությունը կոչվում է **ֆոկալ հեռավորություն**: Երկու անջատվող (տրոհվող) մասերի փոխադարձ տեղափոխությունները կարող են լինել սահքի (**աջակողմյան և ձախակողմյան**) կամ ուղղաձիգ տեղափոխությունների (**վարմնեք և վերնեք**) ձևով (նկ. 1.16): Չնարավոր են նաև նշված տեղափոխություն-



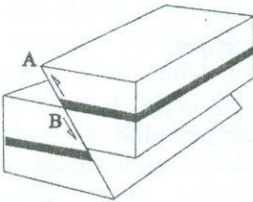
Նկ. 1.15 Երկրաշարժի բնութագրիչ տարրերը:



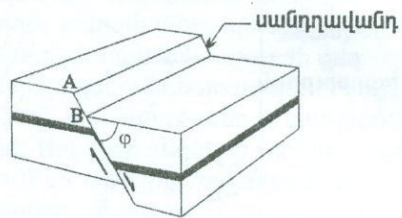
Չախակողմյան սահք



Աջակողմյան սահք

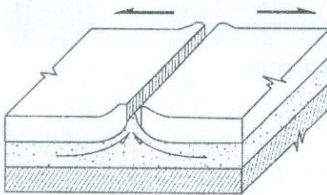


Վրաշարժ կամ վերնետք

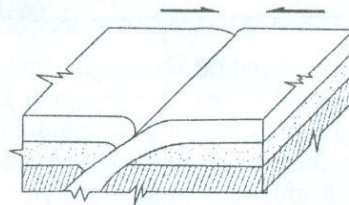


Վարնետք

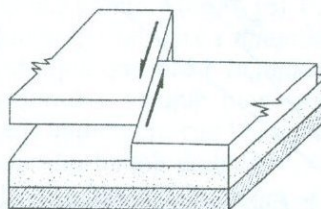
AB - սահքի ամպլիտուդա
φ - անկման անկյուն



Լեռնաշրթա



Փողրակ



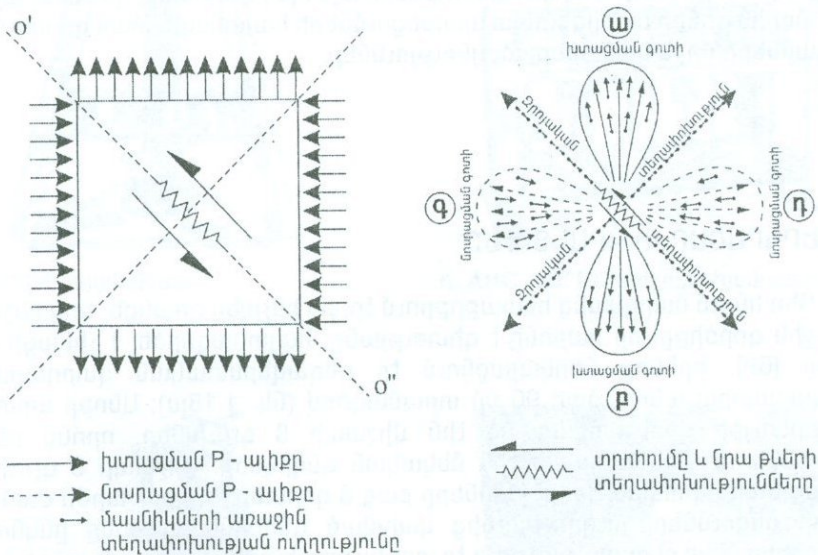
Չափոխված խզվածք

Նկ. 1.16 խզվածքներով շարժումները և նրանց հետևանքները:

ների տարբեր զուգորդություններ: Այդ հարաբերական տեղափոխությունները կարող են լինել մի քանի սանտիմետրից մինչև մի քանի մետր:

Տրոհման ժամանակամիջոցը տևում է մի քանի վայրկյանից (թույլ երկրաշարժեր) մինչև տասնյակ վայրկյանների (ուժեղ երկրաշարժեր): Տրոհման պրոցեսի ընթացքում առաջանում է կինետիկ էներգիա, որը ծախսվում է ապարների փշրման, քայքայման և սալերի ուղղահայաց և հորիզոնական շարժումների վրա: Էներգիայի որոշ մասը անջատվում է ջերմության տեսքով, իսկ ոչ մեծ մասը արձակվում է միջավայրում սեյսմիկ առաձգական ալիքների տեսքով, որոնք տարածվում են երկրագնդի մարմնում: Երբ սեյսմիկ ալիքները հասնում են երկրագնդի մակերեսին, նրանք առաջացնում են գետնի տատանումներ, որոնց մենք ընկալում ենք որպես երկրաշարժեր: Քանի որ սեյսմիկ ալիքները առաջանում են ոչ թե մեկ անշարժ կետից, այլ ճաքի շարժվող կողից, և քանի որ նրանք կարող են իրենց ճանապարհին մաս անդրադառնալ, ապա նրանք երկրի մակերես հասնում են տարբեր ուղղություններով և տարբեր ժամանակներում:

Սեյսմիկ ալիքների բնույթի և նրանց տարածման առանձնահատկություններին մենք կանդրադառնանք երկրաշարժի գրանցման եղանակներին ծանոթանալուց հետո:



Նկ. 1.17 Երկրաշարժի ժամանակ սեղմման և ձգման գոտիները:

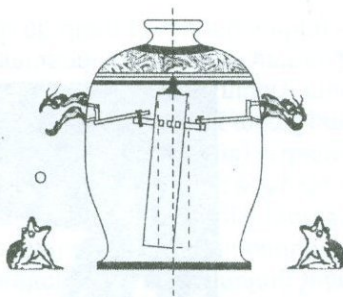
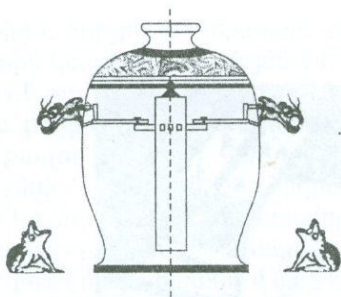
Երկրաշարժի օջախի շրջակայքի պարզեցված սխեման ցույց է տրված 1.17 նկարում, որտեղ $O'O''$ գիծը համընկնում է տրոհման ուղղության հետ, իսկ սլաքները ցույց են տալիս առաձգական տեղափոխությունների ուղղությունները: Հետաքրքիր է, ինչ կզգա մարդը, որը գտնվում է էպիկենտրոնի տիրույթում: Եթե նա գտնվեր ω տիրույթում, ապա նրան կթվար, թե իրեն հրեցին, կամ գիտական լեզվով նա կզգա սեղմման շարժում (դեֆորմացիա): Նույնը նա կզգար նաև p տիրույթում: Բայց q և r տիրույթներում նրան ընդհակառակը կթվա, թե գետինը

գնում է իր ուտքերի տակից, կամ գիտական տերմինով ասած գետինը ենթարկվում է ձգման դեֆորմացիայի: Այսպիսով, էպիկենտրոնային տիրույթը կարելի է բաժանել փոփոխական սեղմման և ձգման ենթարկվող չորս քառակուսիների: Քանի որ այդ փոխադարձ ուղղահայաց գծերը (հարթությունները) հատելիս տեղափոխությունները իրենց ուղղությունները փոխում են, ապա հենց իրենց վրա տեղափոխությունները պետք է հավասար լինեն զրոյի: Այդ հարթությունները, որոնք իրականում երկրի մակերևույթի հետ հատվելիս, ոչ թե ուղիղ գծեր են, այլ շրջանագծեր, կոչվում են **նոդալ հարթություններ**: Մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում նաև հակառակ խնդիրը, եթե մեզ հայտնի են էպիկենտրոնային տիրույթում տարբեր կետերի շարժումների ուղղությունները, ապա մենք կարող ենք տարանջատել ձգման և սեղմման տիրույթները երկու փոխուղղահայաց գծերով, որոնցից մեկն էլ կհանդիսանա տրոհման ուղղությունը: Այս հանգամանքը մեծ դեր խաղաց իրական երկրաշարժերը ստորգետնյա ատոմային պայթյուններից տարբերելու գործում: Իրոք ստորգետնյա ատոմային պայթյունի ժամանակ շրջակա բոլոր սեյսմիկ կայանների գրանցումների սկզբնական շարժման ուղղությունները պետք է լինեն սեղմումներ, քանի որ գրգռման աղբյուրը կենտրոնացած է մի կետում, որտեղից արձակվում ու տարածվում են առածգական ալիքներ: Բայց, չնայած երկու երևույթների այս պարզությամբ, դեռ մինչ այսօր էլ ատոմային զենքի ստորգետնյա պայթեցումների հայտնաբերման գործում գիտնականների միջև կան տարաձայնություններ:

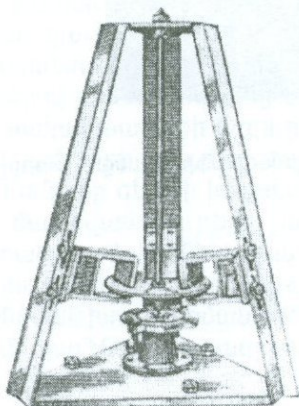
1.5 ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԳՐԱՆՑՈՒՄԸ

Դեռ հնում մարդկանց հետաքրքրում էր, թե ինչպես գրանցել երկրաշարժը: Առաջին գործիքը, որ հայտնի է գիտությամբ, հայտնագործել է չինացի Չժան Խենը [69], իրենից ներկայացնում էր գեղավերստական զարդարանքով տակառատիպ անոթ, մոտ 90 սմ տրամագծով (նկ. 1.18ա): Անոթի արտաքին մակերևույթի վրա ամրացված էին վիշապի 8 գլուխներ, որոնց բերանի խոռոչներում տեղավորված էին մեկական զնդիկներ: Վիշապի 8 գլուխների դիմաց տեղավորված էին բերանները բաց 8 գորտեր: Երկրաշարժի ժամանակ երկրի ցնցումների ուղղությունից կախված զնդիկներից մեկը ընկնում էր գորտերից մեկի բերանը, որը թույլ էր տալիս որոշելու երկրաշարժի տեղի ուղղությունը: Հետագայում նմանատիպ գործիքներ, որոնք կոչվում էին սեյսմոսկոպներ, ստեղծվել են տարբեր երկրներում, մինչև 20-րդ դարի սկիզբը, երբ ռուս գիտնական Գոլիցինը 1906թ. հայտնագործել է երկրաշարժը գրանցող առաջին էլեկտրամագնիսական գործիքը, որի հիմնական սկզբունքները օգտագործվում են ժամանակակից սեյսմոլոգիական գործիքաշինության բոլոր ոլորտներում [48]:

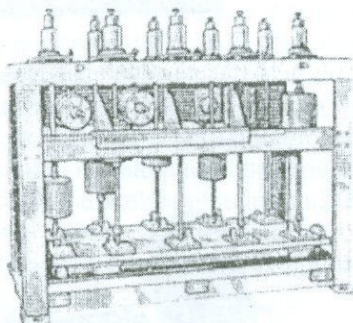
Սեյսմոգրաֆներ: Այն գործիքները, որոնք գրանցում են գետնի շարժումները՝ տեղափոխությունները երկրաշարժի ժամանակ, կոչվում են **սեյսմոգրաֆներ**: Առաջին անգամ դրանք պատրաստվել են 1890 թվականին: Այդ պատճառով գրանցված երկրաշարժեր կան սկսած այդ թվականներից: Բոլոր սեյսմոգրաֆները բաղկացած են երեք հիմնական էլեմենտներից՝ ճոճանակից, գրանցող



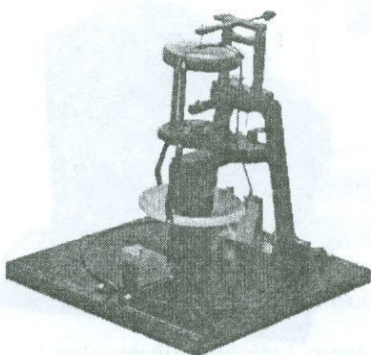
ա. հնագույն չինական սեյսմոսկոպ



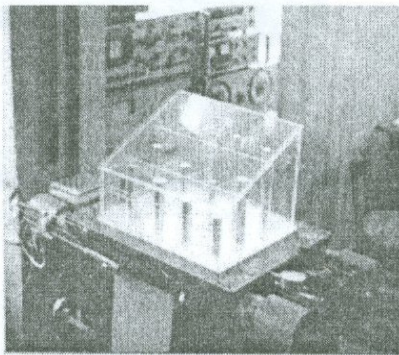
բ. CBM սեյսմոմետր



գ. АНС (ИГИС) տիպի սեյսմոմետր

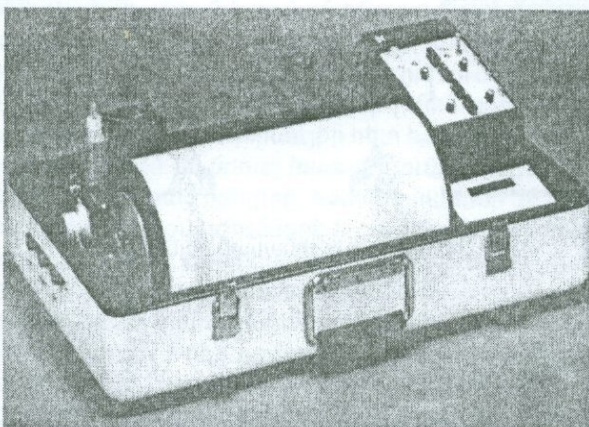


դ. Վիլնոտի սեյսմոսկոպ

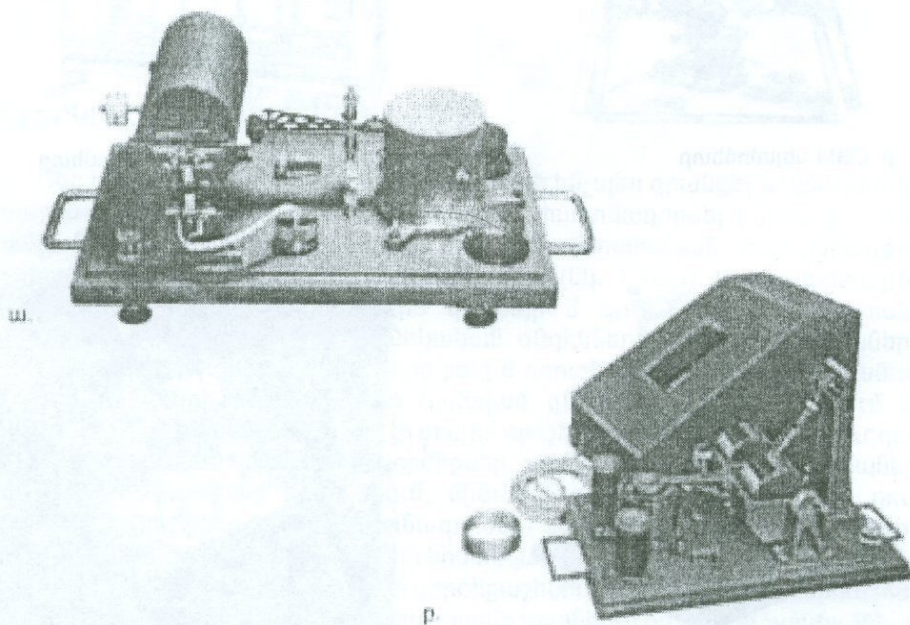


ե. 12 ուղղաձիգ ծողերից կազմված սեյսմոսկոպ

Նկ. 1.18 Սեյսմոսկոպներ:



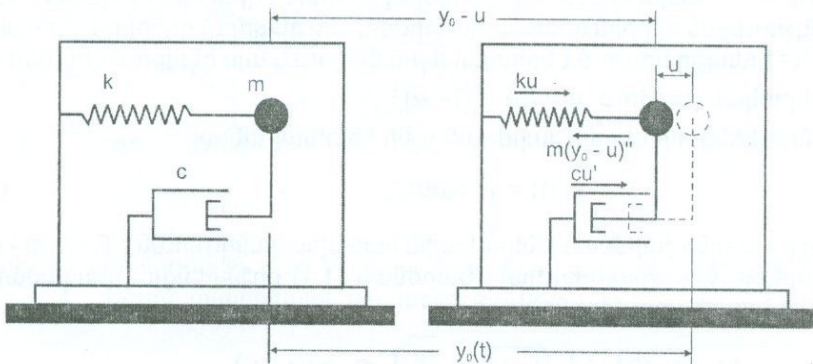
Նկ. 1.19 Ամերիկյան Kinematics PS-2 տիպի սեյսմոգրաֆի գրանցող սարքը:



Նկ. 1.20 Ճապոնական Akashi ֆիրմայի HES էլեկտրամագնիսական սեյսմոգրաֆ:
 • ա. HES-H հորիզոնական
 • բ. HES-Z ուղղանիզ:

սարքից և գրիչից: Սովորական սեյսմոգրաֆը մի գլան է, որի արտաքին մակերևույթին կացված է գրանցման համար նախատեսված սպիտակ հաստ ֆոտոզգայուն թուղթ: Գլանը պտտվում է իր առանցքի շուրջը հաստատուն արագությանը, բայց ամեն մի պտույտից հետո իր առանցքով շարժվում է առաջ հաստատուն քայլով (Նկ. 1.19): **Գրիչը** (ֆոկուսացված լուսային նեղ փունջ) ուղղահայաց ձևով շփվում է գլանին: Եթե երկրաշարժ չկա, ապա գրիչը գլանի թղթի վրա թողնում է իրարից հավասար հեռավորության վրա գտնվող ուղիղ գծեր (թուղթը գլանից պոկելուց լուսային մշակումից ու հարթեցնելուց հետո): Սեյսմոգրաֆը տեղադրվում է մոլթ սենյակում կամ հատուկ պատյանի մեջ: Սկզբնական շրջանում գրանցումը կատարվում էր մրած թղթի վրա, հատուկ սուր ծայր ունեցող գրիչով: Գլանի պտտման արագությունը սովորաբար լինում է 7-ից մինչև 60 մմ/րոպե: Գլանի, իր առանցքի շուրջ պտտվելու արագությունը իմանալով կարելի է գտնել այն ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում նա կատարում է մեկ պտույտ: Բաժանելով այն գլանի շրջանագծի երկարության վրա, կարելի է իմանալ թղթի ամեն մի սանտիմետր երկարությանը համապատասխանող ժամանակամիջոցը՝ վայրկյաններով: Ժամանակակից սեյսմոգրաֆներում գրանցումը կատարվում է նաև սովորական թանաքի և գրիչի միջոցով կամ հատուկ քիմիական մշակման ենթարկված թղթի վրա, ինչպես կարդիոգրամներում:

Քանի որ գետնի իսկական տեղափոխությունները երկրաշարժերի ժամանակ, մանավանդ թույլերի, շատ փոքր են, ապա սեյսմոգրաֆում օգտագործվում են տարբեր մեխանիկական կամ օպտիկական հարմարանքներ գրանցման արդյունքները խոշորացնելու նպատակով: Ժամանակակից սեյսմոգրաֆներում գրանցման խոշորացման մեծությունը հասնում է մինչև 100.000 անգամ: Նշված սեյսմոգրաֆների օգտագործումը կախված է թղթի մեծ պաշարների օգտագործման հետ:



Նկ. 1.21 Հորիզոնական սեյսմոգրաֆի աշխատանքի սխեման:

Ներկայումս մշակվել և արդեն շահագործման մեջ են գտնվում մագնիսական (այդ թվում նաև թվային) ժապավենի վրա գրանցող սեյսմոգրաֆներ, որոնք հնարավորություն են ստեղծում ոչ միայն թղթի խնայողության համար, այլև անմիջապես ստացված գրանցումների արագ մշակում անձնական օգտագործման համակարգիչների օգնությամբ: Ժամանակակից սեյսմոգրաֆները երկրաշարժի

ժամանակ գրանցում են գետնի երեք փոխադարձ ուղղությամբ տեղափոխությունները՝ երկու հորիզոնական և ուղղաձիգ ուղղություններով:

Այժմ դիտարկենք սեյսմոգրաֆի ճոճանակի շարժման օրինաչափությունները երկրաշարժի ժամանակ: Ենթադրենք երկրաշարժի ժամանակ գետինը, որին կոշտ ամրակցված է սեյսմոգրաֆը, տեղափոխվում է y_0 չափով (նկ.1.21): Քանի որ սեյսմոգրաֆի ճոճանակի զանգվածը միացված է k կոշտությամբ զսպանակին, և տատանումները մարող հատուկ հարմարանքին, ապա իներցիայի շնորհիվ կունենա ս հարաբերական տեղափոխություն, իսկ նրա բացարձակ տեղափոխությունը կլինի $y_0 - u$: Այսպիսով, m զանգվածի վրա կազդեն $m(y_0 - u)''$ իներցիոն ուժը, ku վերականգնող ուժը և cu' ներքին կլանման (մարման) ուժը: Բոլոր ուժերի հավասարակշռության պայմանը կտա

$$-m(y_0 - u)'' + ku + cu' = 0$$

կամ

$$u'' + 2h\omega u' + \omega^2 u = -y_0''(t), \quad (1.1)$$

որտեղ $\omega^2 = k/m$ - ազատ տատանման հաճախությունն է, $2h = c/m\omega$ կրիտիկական մարման գործակիցը, $T_w = 2\pi/\omega$ - ազատ տատանման պարբերությունը:

Եթե ընդունենք $y_0 = 0$, կունենանք սեյսմոգրաֆի ճոճանակի ազատ տատանումների հավասարումը, որը միայն $h < 1$ դեպքում կունենա տատանողական բնույթ՝

$$u(t) = Ae^{-h\omega t} \sin(\sqrt{1-h^2}\omega t + \lambda), \quad (1.2)$$

Երբ $h > 1$, ապա ճոճանակը շեղվելով մի կողմի վրա, կվերադառնա հավասարակշռության դիրքին ու այլևս չի շարժվի, այս դեպքում գործիքը գերմարված է, իսկ $h=1$ դեպքը կոչվում է կրիտիկական մարում և այս դեպքում կունենանք ոչ պարբերական շարժում՝ $u = Ae^{-\omega t}(1 + \alpha t)$:

Ընդունենք, որ գետնի շարժումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$y_0(t) = y_0 \sin pt, \quad (1.3)$$

որտեղ p - գետնի շարժման անկյունային հաճախականությունն է $T_p = 2\pi/p$ - պարբերությունը, y_0 - ամպլիտուդան: Շարժման (1.1) դիֆերենցյալ հավասարման լուծումը այս դեպքում կլինի

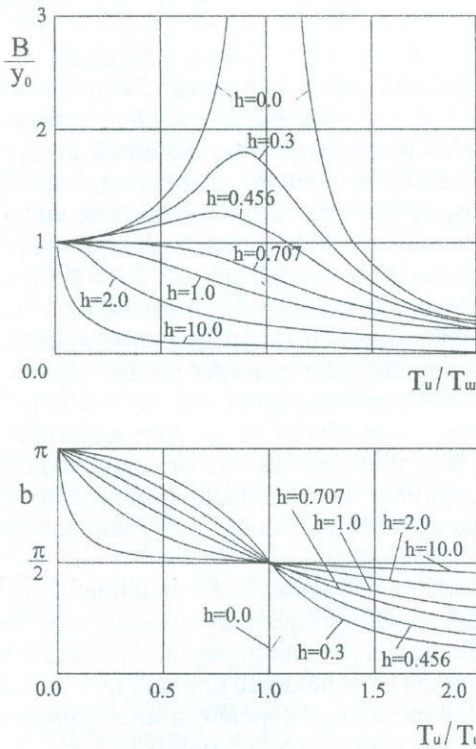
$$u(t) = Ae^{-h\omega t} \sin(\sqrt{1-h^2}\omega t + \lambda) + B \sin(pt + b), \quad (1.4)$$

(1.4) արտահայտության առաջին անդամը արագ ձգտում է զրոյի, իսկ B և b գործակիցները որոշվում են հետևյալ հավասարումներից՝

$$\left(\frac{y_0}{B}\right)^2 = \left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4h^2\omega^2}{p^2}, \quad \operatorname{tg} b = \frac{2h\omega p}{p^2 - \omega^2} \quad (1.5)$$

B/y_0 գործակիցը կոչվում է դիմամիկական խոշորացման գործակից: Եթե $\omega = \rho$, ապա $B/y_0 = 1/2h$, այսինքն, եթե h շատ մեծ է, ապա խոշորացման գործակիցը փոքր է: Դրա համար սկզբնական շրջանում սեյսմոգրաֆները գիտակցաբար պատրաստում էին փոքր մարման գործակցով, բայց այս դեպքում գրանցված սեյսմոգրամները ստացվում էին խիստ աղավաղված:

Նկար 1.22-ում կառուցված են y_0/B և b -ի կապը ω/ρ հարաբերությունից, որոնք համապատասխանաբար կոչվում են սեյսմոգրաֆի ամպլիտուդա-հաճախության և ֆազային բնութագրեր:



Նկ. 1.22
Տատանումների
ամպլիտուդա-
ֆազային
սպեկտրները:

Այսպիսով, սեյսմոգրաֆն ունի հետևյալ հիմնական պարամետրերը [44]

1. Ազատ տատանման պարբերությունը

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \frac{1}{\sqrt{1-h^2}}$$

2. Մարման հաստատունը h կամ ազատ տատանումների ժամանակ երկու հարևան հակադարձ ուղղված ամպլիտուդաների հարաբերությունը

$$\varepsilon = e^{\frac{-\pi h}{\sqrt{1-h^2}}}$$

3. Ստատիկ խոշորացման գործակիցը v , որը մտցվում է սեյսմոգրաֆի նախագծման ժամանակ:

Սա նշանակում է, որ եթե գետնի շարժումը կատարվում է պարզ հարմոնիկ ձևով՝ y_0 ամպլիտուդայով և T_0 պարբերությամբ, ապա սեյսմոգրաֆի ճոճանակը կտատանվի T_0 պարբերությամբ և B ամպլիտուդայով, իսկ սեյսմոգրամում կունենանք T_0 պարբերությամբ և մեծ Bv ամպլիտուդայով պարզ տատանումներ:

Ինչպես երևում է (1.5) բանաձևից, մասնավոր դեպքում, երբ $h=0$

$$\frac{B}{y_0} = \frac{T_w^2}{T_w^2 - T_0^2}, \quad (1.6)$$

Հետևաբար, ինչքան ազատ տատանման T_w պարբերությունը մեծ լինի, այնքան լավ, քանի որ այդ դեպքում $B/y_0 \rightarrow 1$, այսինքն գործիքի գրանցումը համեմատական կլինի գրունտի y_0 տեղափոխությանը: Ուրիշ h -ի դեպքում, ելնելով գծագրից, կարելի է գտնել այն ամենամեծ T_w , որի դեպքում կգրանցվի գետնի տեղափոխմանը համեմատական մեծություն: Այսպես, ինչպես երևում է գծագրից, եթե $h = 0.707$, ապա մինչև $T_w/T_0 = 0.5$ հարաբերությունը B/y_0 համարյա հավասար է 1: Այս նշանակում է, եթե T_w հավասար լինի 1, ապա մինչև $1 \cdot 0.5 = 0.5$ վրկ. և դրանցից փոքր պարբերության գետնի տատանումները ճիշտ կգրանցվեն, իսկ եթե $T_w = 5$ վրկ., ապա $T_0 = 5 \cdot 0.5 = 2.5$ վրկ. և դրանից փոքր պարբերություններ ունեցող գետնի բոլոր տատանումները կգրանցվեն միևնույն ճշտությամբ:

Քանի որ երկրաշարժը պարզ հարմոնիկ $y_0 \sin \omega t$ շարժում չէ, այլ հանդիսանում է ընդհանուր դեպքում մի շարք պարզ տատանումների գումար, ապա տարբեր հարմոնիկների համար կստացվեն B/y_0 դիմամիկական խոշորացման տարբեր գործակիցներ կախված h -ի մեծությունից: Այդ նպատակով անհրաժեշտ է կառուցել B/y_0 հարաբերության և b ֆազային շեղման կապը T_w/T_0 հարաբերությունից, որը ցույց է տրված 1.20 գծագրում [44]:

Քանի որ սեյսմոգրաֆը բոլոր հարմոնիկները գրանցում է միաժամանակ և գումարում իրար, ապա գետնի իսկական շարժման նկարագիրը ստանալու համար պետք է սեյսմոգրամի վրայի գրանցված բոլոր ամպլիտուդները նախօրոք բաժանել մեխանիկական կամ օպտիկական խոշորացման գործակիցի՝ v -ի վրա, հետո ստացված փոքրացված գրանցումը (գրաֆիկը) վերածել Ֆուրեի շարքի ու գտնել ամեն մի հարմոնիկի համար (ըստ նրա պարբերության) B/y_0 -ի և b -ի արժեքները և նոր հետո այդ հարմոնիկները իրար գումարելով գտնել գետնի իսկական շարժման օրենքը՝

$$\sum B_i \sin(p_i t + b_i)$$

Այս բոլորն այժմ կատարվում է շատ արագ՝ հաշվիչ մեքենաների օգնությամբ, ընդ որում սեյսմոգրամայից վերցվում է միայն ամենաակտիվ տիրույթը մոտ 20-30 վրկ. տևողությամբ:

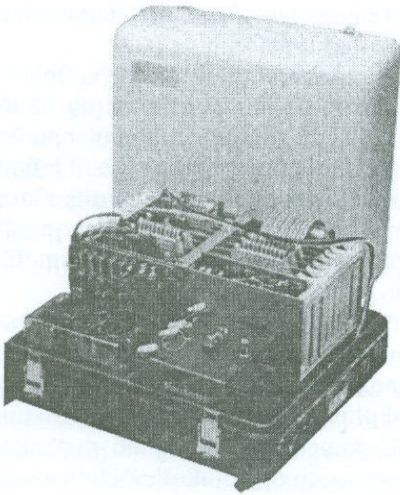
Ինչպես տեսնում ենք, երկրաշարժերի գրանցման գործը բավականին խրթին է: Այն դեռ չի հասել իր կատարելությանը և պահանջում է մշտական ուշադրություն, որպեսզի ճիշտ որոշվեն սեյսմոգրաֆի պարամետրերը՝ ազատ տատանման պարբերությունը՝ $T_w = 2\pi/\omega$, մարման գործակիցը՝ h -ը և խոշորացման գործակիցը՝ v -ն: Բացի դրանից սեյսմոգրաֆի ճոճանակի մարումը պետք է ճիշտ համեմատական լինի նրա շարժման արագությանը՝ u -ին, որը նույնպես տեխնիկական դժվար խնդիր է: Հետևաբար, սեյսմոգրաֆի աշխատանքի կարգավորումը՝

ստուգաճշտումը սեյսմիկ կայանների աշխատողների առաջնահերթ խնդիրներից է և այն պիտի կատարվի սիստեմատիկորեն, եթե ոչ ամենօրյա:

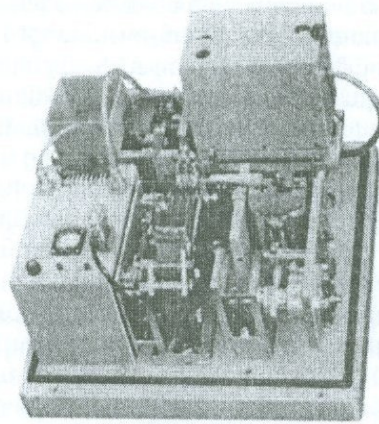
Ժամանակակից սեյսմոգրաֆները շատ զգայուն են, ընդունակ են գրանցելու երկրազնդի յուրաքանչյուր կետում տեղի ունեցած երկրաշարժը: Բոլոր սեյսմոգրաֆները աշխատում են անընդհատ աշխատանքի ռեժիմով, սակայն դրանք «դուրս են գալիս շարքից» մոտիկ ուժեղ երկրաշարժերի դեպքում (գետնի մեծ տեղափոխությունների շնորհիվ): Այսպիսով, սեյսմոգրաֆները հիմնականում կոչված են հեռու երկրաշարժերից գետնի տեղափոխությունները (սեյսմոգրամ) գրանցելու և, ինչպես կտեսնենք քիչ հետո, դրանց օգնությամբ հիպոկենտրոնի տեղը, օջախի մեխանիզմը և մագնիտուդը որոշելու համար:

Արբելերոգրաֆներ: Ինժեներ նախագծողներին և շինարարներին ընդհակառակը հետաքրքրում է, թե ինչպես են պահում իրենց երկրաշարժի ժամանակ կառուցվածքները, որոնք վնասվում են մոտ տարածության վրա տեղի ունեցող երկրաշարժերից: Երկրաշարժի ժամանակ շենքերը և կառուցվածքները վնասվում են նրանցում երկրաշարժի պրոցեսում առաջացող իներցիոն ուժերից, որոնց մեծությունները պայմանավորված են կառուցվածքի զանգվածների արագացումներով: Երկրաշարժի ժամանակ կառուցվածքի զանգվածների արագացումների մեծությունները անմիջապես կախված են գետնի արագացումների մեծություններից: Գետնի արագացումներ գրանցող գործիքները կոչվում են **արբելերոգրաֆներ** (նկ. 1.23): Արբելերոգրաֆները կոչված են մոտիկ ուժեղ երկրաշարժերը գրանցելու համար. նրանք չեն արձագանքում հեռու երկրաշարժերին: Ի տարբերություն սեյսմոգրաֆներին, նրանք աշխատում են ոչ թե անընդհատ գրանցման ռեժիմում, այլ սպասողական, և սնվում են ակումուլյատորային մարտկոցներով, որովհետև ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ էլեկտրական հոսանքի աղբյուրը կարող է խափանվել: Արբելերոգրաֆների գրանցումները կոչվում են գետնի արբելերոգրամներ (արագացումներ), ի տարբերություն գետնի սեյսմոգրամների (տեղափոխությունների), որոնք գրանցում են սեյսմոգրաֆները: Եթե սեյսմոգրաֆները գետնի իրական տատանումները մեծացնում են մինչև 100.000 անգամ, ապա արբելերոգրաֆների խոշորացման գործակիցը սովորաբար գտնվում է 1-20 սահմաններում: Բացի դրանից, նրանք հատուկ ռելեի օգնությամբ գործարկման մեջ են մտնում միայն համեմատաբար ուժեղ ցնցումների դեպքում և իրականացնում գրանցումներ 40-50 վրկ ժամանակահատվածում: Արբելերոգրաֆները տեղակայվում են ոչ միայն գետնի ազատ տարածքներում, այլև շենքերի, ամբարտակների, կամուրջների, ատոմային, ջերմային և հիդրոէլեկտրակայանների տարբեր մակարդակներում: Արագացումների գրանցման ցանցը, կամ ինչպես ընդունված է ասել «ուժեղ շարժումների» ցանցը, հիմնադրվել է մեր դարի 30-ական թվականներին ԱՄՆ-ում, առաջին անգամ գրանցելով Լոնգ-Բիչի ավերիչ երկրաշարժը (1933թ., 10-ը մարտի): Սպասողական ռեժիմով աշխատող արբելերոգրաֆները ունեն մի շարք անհարմարություններ և թերություններ, որոնցից գլխավորներն են.

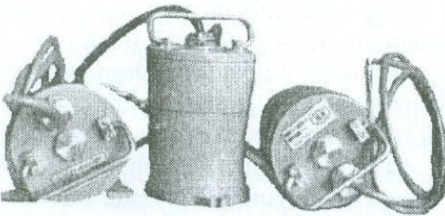
- ցնցման սկզբնական փուլի գրանցման բացակայությունը և այդ իսկ պատճառով երկրաշարժի սկսման ժամանակի բացակայությունը (որոշ դեպքերում երկրաշարժի առաջացման պահի արձանագրման նպատակով մի խումբ արբելերոգրաֆների համար կարելի է տեղադրել էժամագին թղթով աշխատող անընդհատ գրանցման մեկ սեյսմոգրաֆ, որի գրանցումները երկրաշարժի բացակայության դեպքում կարելի է ոչնչացնել),
- եթե մի քանի թույլ կամ ժամկա ընթացքում տեղի են ունենում մեկից ավել



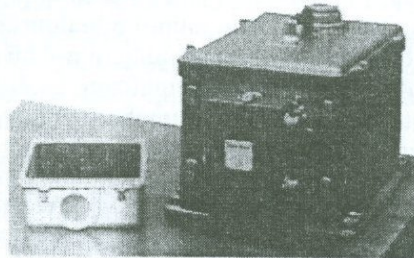
ա. SMA - 16 (երեք կոմպոնենտ)
 $T_w = 0.02$ վրկ, $h = 0.70$, $y''_0 = 2g$
 (Kinemeterics)



բ. SMAC - E (երեք կոմպոնենտ)
 $T_w = 0.05$ վրկ, $h = 0.60$, $y''_0 = 1g$
 (Akashi)



գ. OCP - 2 (մեկ կոմպոնենտ)
 $T_w = 0.16$ վրկ, $h = 0.135$
 (Գյուլմրի)



դ. CCP3 (երեք կոմպոնենտ)
 $T_w = 0.05$ վրկ, $h = 0.6$
 (НФЗ Москва)

Նկ. 1.23 Տարածված արտելերոգրաֆների մոդուլներ:

ուժեղ երկրաշարժեր, դժվարություններ են առաջանում դրանց ըստ ժամանակի դասակարգման գործում,

- եթե գրանցման շենք շատ զգայուն է, այն կարող է գործարկման մեջ մտնել ոչ միայն երկրաշարժի ժամանակ, այլև պատահական կամ արհեստական ցնցումներից, որի պատճառով գրանցման համար նախատեսված թղթի պաշարը կարող է սպառվել հենց իսկական ուժեղ ցնցման պահին,
- անհարմարություններ են ստեղծվում միևնույն ժապավենի վրա տարբեր մակարդակների (կետերի) արագացումները գրանցելը, քանի որ դրանք միմյանց գերազանցում և ծածկում են՝ առաջացնելով խառնաշփոթություններ,
- հաճախ մինչև երկրաշարժը խախտվում է աքսելերոգրաֆի գրիչի գրոյական դրության դիրքը և խոշորացման գործակցի մեծությունը: Այս պատճառով դրանք ենթակա են պարբերական ստուգման ու ստուգաճշտման հատուկ թրթռացնող սեղանի (հարթակի) օգնությամբ:

Վելիսոգրաֆներ: Կիրառական երկրաշարժագիտության մեջ բացի գետնի տեղափոխությունների և արագացումների մեծությունները գրանցող սեյսմոգրաֆներից և աքսելերոգրաֆներից, կիրառվում են նաև երկրաշարժի ժամանակ գետնի արագությունները գրանցող սարքեր, որոնք կոչվում են վելիսոգրաֆներ, իսկ նրանց գրանցումները՝ վելիսոգրամներ: Երկրաշարժի ժամանակ գետնի արագությունների մեծությունները հիմնականում օգտագործվում են երկրաշարժի ուժգնության գնահատման ու ճշտման նպատակով:

Ժամանակակից բոլոր տիպի էլեկտրամագնիսական սեյսմոգրաֆները, աքսելերոգրաֆները և վելիսոգրաֆները, որոնք կոչված են գետնի հորիզոնական և ուղղաձիգ տատանումները գրանցելու համար, բաղկացած են հզոր հաստատուն մագնիսից, քիթեղային զսպանակին ամրացված զանգվածից և զանգվածը շրջապատող ինդուկցիոն խողովակից. երկրաշարժի ժամանակ զանգվածը շարժվում է մագնիսի նկատմամբ և ինդուկցիոն խողովակը հատում է մագնիսական դաշտը: Խողովակում առաջանում է էլեկտրական հոսանք, որը համեմատական է լինում զանգվածի (ճոճանակի) շարժման արագությանը: Այդ հոսանքը գրանցվում է հատուկ օսցիլոգրաֆի կողմից կամ մագնիսական ժապավենի վրա:

Ինչպես տեսանք վերևում, սեյսմոգրաֆի դեպքում, այնպես էլ վելիսոգրաֆի և աքսելերոգրաֆի տատանումները երկրաշարժի ժամանակ ենթարկվում են (1.1) ընդհանուր հավասարմանը, որի (1.5) լուծումը կարելի է ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով՝ y_0 - գետնի տեղափոխությունն է, v_0 - գետնի արագությունը և a_0 - գետնի արագացումը՝ $v_0 = y_0 2\pi / T_u$, $a_0 = y_0 (2\pi / T_u)^2$

$$\frac{|y|}{y_0} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{T_u}{T_w}\right)^2\right]^2 + \left(2h \frac{T_u}{T_w}\right)^2}}, \quad (1.7)$$

Այս արտահայտության ձախ մասը իրենից ներկայացնում է սարքի օգնությամբ $|y|$ գրանցված ամպլիտուդայի հարաբերությունը գետնի տեղափոխության ամպլիտուդային: Նման ձևով (1.7) ընդհանուր լուծումից կարելի է ստանալ գրանցման ամպլիտուդայի հարաբերությունը գետնի արագության v_0 ու արա-

գացման a_0 ամպլիտուդաներին՝

$$\frac{|u|}{v_0} = \frac{\frac{T_u}{2\pi}}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_u^2}{T_w^2}\right)^2 + \left(2h \frac{T_u}{T_w}\right)^2}}, \quad (1.8)$$

$$\frac{|u|}{a_0} = \frac{\left(\frac{T_u}{2\pi}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_u^2}{T_w^2}\right)^2 + \left(2h \frac{T_u}{T_w}\right)^2}}, \quad (1.9)$$

(1.7), (1.8) և (1.9) արտահայտությունները հնարավորություն են տալիս այնպես ընտրել գրանցող գործիքի պարամետրերը T_w և h , որպեսզի այն գրանցի կամ գետնի տեղափոխությունները (սեյսմոգրաֆ), կամ արագությունները (վելոսի-գրաֆ), կամ արագացումները (աքսելերոգրաֆ): Միակ պայմանը, որ ներկայացվում է T_w -ին և h -ին, այդ պայմ է, որ (1.7), (1.8) և (1.9) արտահայտությունների աջ մասերը գետնի շարժման տարբեր T_u պարբերությունների դեպքում չնչին տարբերվեն իրարից:

Աղյուսակ 1.1 բերված են (1.7) - (1.9) բանաձևով հաշված $|u|/y_0$, $|u|/v_0$ և $|u|/a_0$ արժեքները կրիտիկական մարման h գործակցի և գետնի տատանման T_u պարբերությունների տարբեր արժեքների դեպքում, իսկ նկ. 1.24 ցույց են տրված այդ կապակցությունների գրաֆիկները: Ինչպես երևում է աղյուսակից և գրաֆիկներից, որպեսզի գրանցող գործիքը ծառայի որպես սեյսմոգրաֆ, գետնի տատանումների պարբերությունների հնարավոր $0 < T_u \leq 2.0$ վրկ. տիրույթում, նրա ճոճանակի պարբերությունը T_w պետք է մեծ լինի 5 վայրկյանից ($h=0.5$), իսկ վելոսոգրաֆի համար նպատակահարմար է, որ ճոճանակի պարբերությունը լինի մեծ 0.5 վայրկյանից, իսկ մարման գործակիցը շատ ավելի մեծ՝ $h=2$: Նման ձևով նշված տիրույթում գետնի արագացումներ գրանցող գործիքի (աքսելերոգրաֆի) ճոճանակի ազատ տատանման պարբերությունը պետք է չգերազանցի 0.1 վայրկյանից մարման $h=0.5$ գործակցի դեպքում: Այսպիսով, ինչքան մեծ է գրանցող գործիքի ազատ տատանման պարբերությունը, այնքան այն ճիշտ կգրանցի գետնի տեղափոխությունները (սեյսմոգրամա) և ընդհակառու, ինչքան փոքր է ճոճանակի ազատ տատանման պարբերությունը, գործիքը մեծ ճշտությամբ կգրանցի գետնի շարժման արագացումները (աքսելերոգրամա): Ժամանակակից սեյսմոգրաֆների ճոճանակի ազատ տատանումների պարբերությունները հասնում են մինչև 10 վայրկյանի և կարող են գրանցել գետնի շատ փոքր, մինչև 0.001 մմ տեղափոխությունները, իսկ աքսելերոգրաֆներինը մինչև 0.01 վայրկյանի և ընդունակ են գրանցել գետնի շատ մեծ, մինչև 2g-ի հասնող արագացումները: Բացի վերոհիշյալ համագամանքներից, էլեկտրամագնիսական գրանցող գործիքների օգնությամբ երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանման կինեմատիկական պարամետրի ճիշտ ընկալման գործում մեծ դեր են կատարում նաև հատուկ թղթի վրա գրանցումը արտապատկերող օսցիլոգրաֆի բնութագրերը:

Երկրաշարժի գրանցումների մշակման համար ստեղծված ժամանակակից էլեկտրոնամագնիսական գրանցող-մշակող համալիրները հնարավորություն են տալիս գետնի զրանցած մեկ կիներատիկական պարամետրից դիֆերենցման կամ ինտեգրման միջոցով ստանալ մյուսները: Հաճախ այդպիսի հաշվարկումներ կատարվում են գրանցված ուժեղ երկրաշարժի աքսելերոգրամից

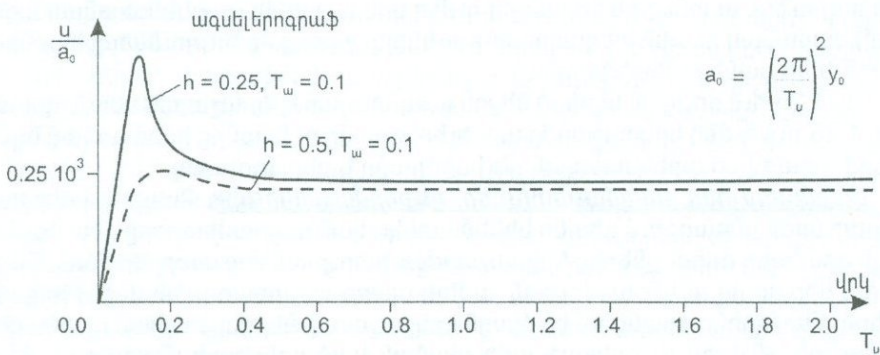
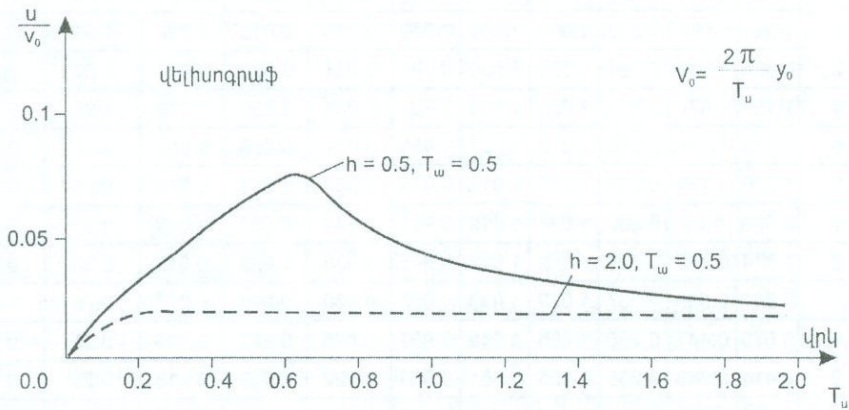
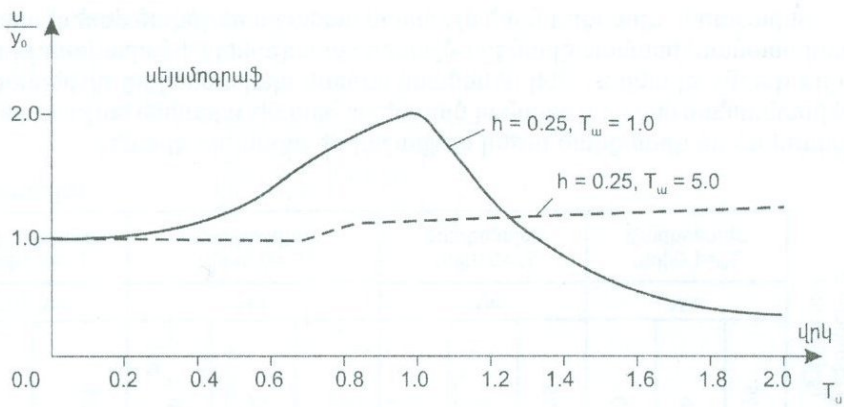
Աղյուսակ 1.1

գետնի տատանումների պարբերությ. T_u վրկներով	Սեյսմոգրաֆ $T_w=1.0$ վրկ.			Սեյսմոգրաֆ $T_w=5.0$ վրկ.			Վելիսոգրաֆ $T_w=0.5$ վրկ.			Աքսելերոգրաֆ $T_w=0.1$ վրկ.	
	u/y_0			u/y_0			u/v_0			$u/a_0 \cdot 10^{-3}$	
	$h=0.25$	$h=0.5$	$h=1.0$	$h=0.25$	$h=0.5$	$h=1.0$	$h=0.5$	$h=1.0$	$h=2.0$	$h=0.25$	$h=0.5$
0.05	1.002	1.001	0.997	1.000	1.000	0.999	0.007	0.007	0.007	0.08	0.07
0.1	1.004	1.004	0.990	1.000	1.000	0.999	0.016	0.015	0.012	0.51	0.25
0.2	1.004	1.019	0.961	1.000	1.000	0.998	0.034	0.027	0.017	0.32	0.28
0.4	1.158	1.074	0.862	1.000	1.003	0.993	0.048	0.038	0.019	0.26	0.26
0.6	1.414	1.139	0.735	1.012	1.007	0.985	0.074	0.039	0.019	0.26	0.25
0.8	1.826	1.139	0.609	1.022	1.012	0.975	0.056	0.035	0.019	0.25	0.25
1.0	2.000	1.00	0.500	1.036	1.019	0.961	0.044	0.031	0.018	0.25	0.25
1.2	1.344	0.782	0.409	1.052	1.028	0.945	0.035	0.028	0.018	0.25	0.25
1.4	0.841	0.589	0.337	1.072	1.038	0.927	0.030	0.025	0.017	0.25	0.25
1.6	0.570	0.447	0.280	1.095	1.049	0.907	0.025	0.022	0.016	0.25	0.25
1.8	0.414	0.347	0.235	1.126	1.061	0.885	0.022	0.020	0.015	0.25	0.25
2.0	0.316	0.277	0.200	1.158	1.074	0.862	0.020	0.018	0.014	0.25	0.25

համապատասխան արհեստական վելիսոգրամը և սեյսմոգրամը ստանալու համար, որովհետև, ինչպես նշվեց վերևում, սովորական բարձր զգայնությամբ սեյսմոգրաֆով անհնարին է գրանցել ուժեղ երկրաշարժի (էպիկենտրոնային զոտում) ժամանակ գետնի տեղափոխությունները, որոնց մեծությունները հասնում են մինչև մի քանի սանտիմետրի:

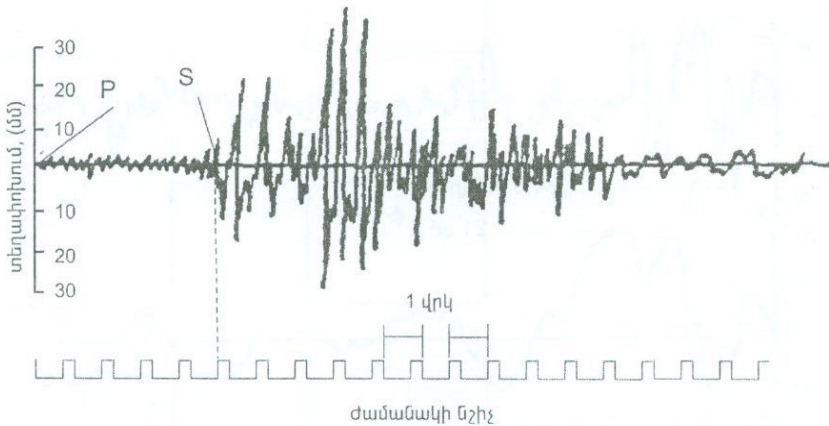
Նկ. 1.25-ում ցույց են տրված միջին ուժգնության երկրաշարժի սեյսմոգրամը և Նկ. 1.26-ում ուժեղ երկրաշարժի աքսելերոգրամը ու նրանից ինտեգրման եղանակով ստացված արհեստական վելիսոգրամը և սեյսմոգրամը:

Սեյսմագույգեր, սեյսմաշափիչներ, դեֆորմաշափիչներ: Բացի վերոհիշյալ երկրաշարժի ընթացքում գետնի կիներատիկական պարամետրերը ըստ ժամանակի գրանցող գործիքներից երկրաշարժագիտության մեջ տարբեր ժամանակներում կիրառվել ու կիրառվում են ավելի պարզ ու շահագործման քիչ խնամք ունեցողներ, որոնք գրանցում են միայն երկրաշարժի ներգործության ամենամեծ արդյունքը, չնշելով ոչ երկրաշարժի սկսման կամ ավարտման պահը, և ոչ էլ նրանց միջև ժամանակի ընթացքում տեղի ունեցող գետնի շարժման պարամետրերի փոփոխությունները: Այդ իսկ պատճառով նրանց արտադրությունը և կի-



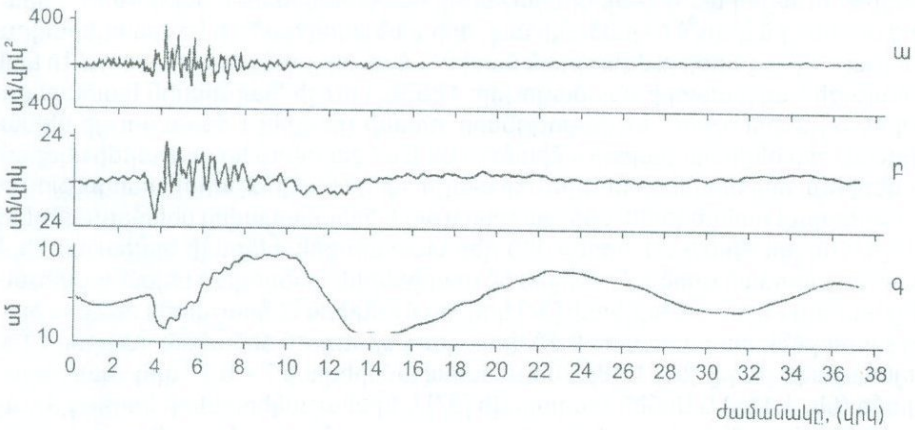
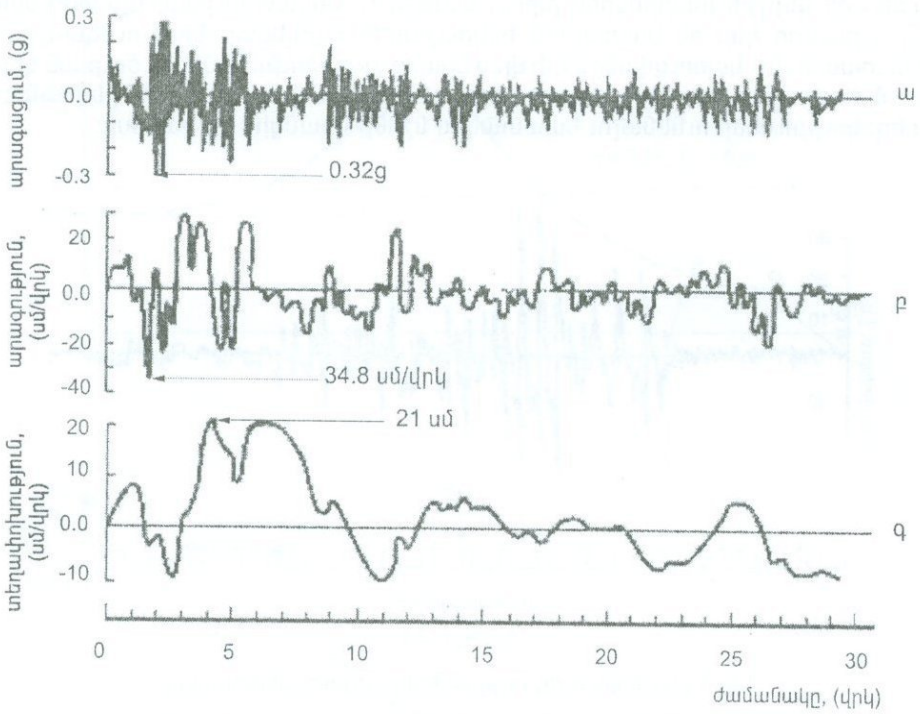
Նկ. 1.24 Գործիքի գրանցած տեղափոխության կապը գրունտի տատանման պարբերությունից (T_u):

րառումը վերջին տարիներին խիստ նվազել է: Սեյսմացույցների գրանցումները գլխավոր դեր են կատարում երկրաշարժի էպիկենտրոնում ուժգնության գնահատման և կառուցվածքների վրա նրանց ազդեցության վերլուծության գործում: Բայց երկրաշարժը գրանցող գործիքների պատմության մասին ընդհանուր տեղեկություններ ունենալու նպատակով նշենք դրանցից մի քանիսը:



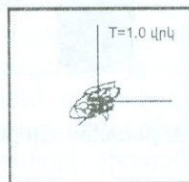
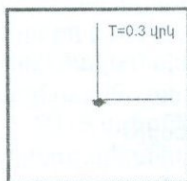
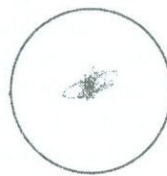
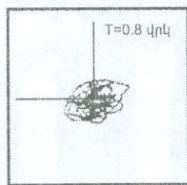
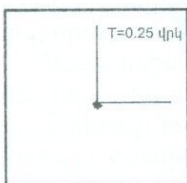
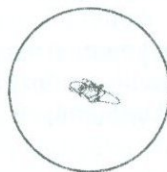
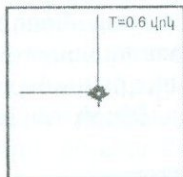
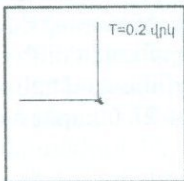
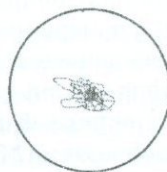
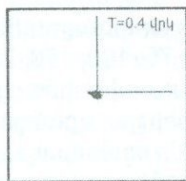
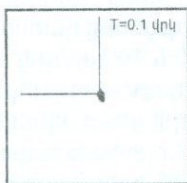
Նկ. 1.25 Միջին ուժգնության երկրաշարժի սեյսմոգրամը:

Ամենաառաջին սեյսմացույցը, ինչպես նշվեց վերևում, դա Չժան Խենի սեյսմացույցն էր (նկ. 1.18ա): 1703թ. ֆրանսիացի ժան Օտֆեյը պատրաստել է սեյսմացույց, որը իրենից ներկայացնում է սնդիկով լցված արտաքին մակերևույթին 8 անցքեր ունեցող անոթ [45]: Երկրաշարժի ժամանակ անոթը թեքվում էր և նրանից սնդիկը թափվում էր բաժակի մեջ, որի քանակով կարելի էր պատկերացում կազմել երկրաշարժի ուժգնության մասին: Նման սկզբունքով աշխատում էր նաև իտալացի Կաչչիատորի սեյսմացույցը: 1853թ. Լուդջի Պալմիերին կատարելագործելով վերոհիշյալ սեյսմացույցները՝ դրանք լրացրել է ժամացույցի մեխանիզմով, որը ինքնաբերաբար և միանում էր, և անջատվում երկրաշարժի սկզբում ու վերջում, որը հնարավորություն էր տալիս որոշել երկրաշարժի տևողությունը: Հետագայում ստեղծվեցին մեծ պարբերության ճոճանակավոր սեյսմաչափիչներ (Միլն, Օմորի, Վիսերտ), որոնք մեծ դեր կատարեցին անցյալի երկրաշարժերի ուսումնասիրման գործում: Վերջին 50 տարիներին ստեղծված սեյսմաչափիչներից կարելի է նշել Ս. Մեդվեդևի [34] կողմից մշակված երկրաշարժի ուժգնությունը չափող մեկ տարածական 0.25 վրկ. պարբերություն ճոճանակ ունեցող СВМ սեյսմաչափիչները (նկ. 1.18բ), նույնատիպ ամերիկյան $T = 0.75$ վրկ. պարբերությամբ (նկ. 1.18դ) և Արմեն Նազարովի [37] և նրա աշակերտների կողմից մշակված երկրաշարժի հակազդումների սպեկտրը ստանալու անհրաժեշտ տվյալներ գրանցող (ուղղաձիգ և հորիզոնական) 0.05 մինչև 1.2 վրկ. պարբերությամբ բազմաճոճանակավոր АНС և ИГНС սեյսմաչափիչները (նկ. 1.18գ): Վերջերս է. Խաչիյանի, Ա. Խաչյանի և Ս. Մելքունյանի կողմից առաջարկվել է երկրաշարժի ժամանակ գետնի ամենամեծ արագացման մեծությունը որոշող նոր սեյսմացույց: Սեյսմացույցը բաղկացած է հորիզոնական սալից (նկ. 1.18ե), որի վրա ազատ



Նկ. 1.26 Ուժեղ երկրաշարժի արսելերոգրամը (ա.) և նրանից ինտեգրման եղանակով ստացած վելիտոգրամը (բ.) և սեյսմոգրամը (գ.):

ա.



գ.

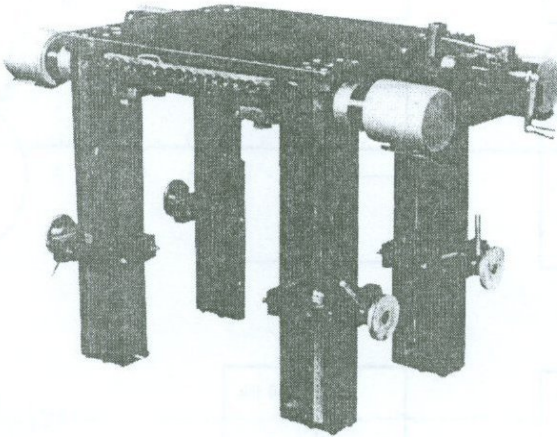
Նկ. 1.27 Սեյսմոսկոպների օգնությամբ երկրաշարժի գրանցման նմուշներ

ա. AHC տիպի սեյսմոմետրի օգնությամբ Սպիտակի (1988) երկրաշարժի գրանցումները երևան քաղաքի Հայսեյսմոլոգիկական ՌԻ ՈՒՍՈՒՆԻ ինժեներասեյսմաչափիչ կայանում,

բ. CBM տիպի սեյսմոմետրի օգնությամբ Սպիտակի (1988) երկրաշարժի գրանցումները Լենինականի գեոֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմոլոգիայի ինստիտուտի տարածքում և քաղաքի կենտրոնական մասում,

գ. Վիլմոտի սեյսմոմետրի օգնությամբ Սան-Ֆերնանդոյի 1971թ. երկրաշարժի գրանցումը Լոս Անջելեսում:

հենված են տարբեր բարձրության և շառավղով իրարից մեկուսացված մետաղական կլոր 9 ձողեր, որոնց բարձրությունների ու շառավղների հարաբերությունները ընտրված են այնպես, որ երկրաշարժի ժամանակ նրանք ուղղաձիգ դիրքից տապալվում են, երբ գետնի արագացումների մեծությունները հասնում են համապատասխանաբար 25; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300 և 400 սմ/վրկ²-ի: Շենքերի և կառուցվածքների երկրաշարժադիմացկունության փորձարարական հետազոտության տեսակետից վերոհիշյալ գրանցող գործիքները դեռ բավական չեն: Անհրաժեշտ են նաև երկրաշարժի ժամանակ կառուցվածքների հարաբերական տեղափոխությունները (դեֆորմացիաներ), մնացորդային տեղափոխությունները, ինչպես նաև գետնի և ստորգետնյա ջրերի ճնշումները գրանցող հատուկ դեֆորմաչափիչներ: Եվ վերջապես, բոլոր նշված երկրաշարժերի ժամանակ գետնի և կառուցվածքների վարքը գրանցող գործիքները, ենթարկվում են պարբերաբար ստուգաբանության հատուկ ստուգաճշտման թրթռաստենդի օգնությամբ, որոնք նույնպես մեծ տեղ են գրավում գործիքային եղանակով երկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունների գործում: 1.18 և 1.27 նկարներում



Նկ. 1.28 АрмНИИСС-3X թրթռասեղանի ընդհանուր տեսքը:

բերված են վերևում քննարկված մի շարք գործիքների ընդհանուր տեսքերը և համապատասխան գրանցումների նշումները: Նկ. 1.28-ում ցույց է տրված Յայսեյսմձին ԳՀԻ մշակված (հեղ. Մ. Գ. Խաչիյան, Է. Ե. Խաչիյան, Ա. Ս. Խաչյան) և Չարենցավանի գործիքաշինական գործարանում մեծ քանակով արտադրված “АрмНИИСС-3X” տիպի թրթռաստենդի ընդհանուր տեսքը, որը մեծ տարածում էր գտել նախկին ԽՍՀՄ տարածքում գործող ինժեներասեյսմաչափիչ դիտարկումների ցանցի կայաններում:

Նշված բոլոր երկրաշարժերը գրանցող գործիքների և սարքավորումների արտադրությունը հիմնականում իրականացվում է ԱՄՆ (*Kinematics, Teledyne Geotech*), ճապոնիայի ֆիրմաների, նախկին ԽՍՀՄ-ի գիտությունների ակադեմիայի երկրի ֆիզիկայի ինստիտուտի (Մոսկվա), Յայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի Գյումրիի հատուկ կոնստրուկտորատի նույնիսկական ինստիտուտի կողմից:

1.6 ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԸ ԵՎ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՕՋԱԽԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ինչպես նշվեց վերևում, երկրաշարժերը հետևանք են մեխանիկական լարված տիրույթների հանկարծակի տրոհումների: Տրոհման հետևանքով առաջացած հսկայական էներգիայի մի փոքր մասը (7%) արձակվում է միջավայրում սեյսմիկ ալիքների տեսքով, որոնք տարածվում են երկրագնդի մարմնում: Երկրաշարժերի գործիքային ստույգ գրանցումները, որոնց մասին խոսվեց նախորդ բաժնում, լայն հնարավորություններ ստեղծեցին սեյսմիկ ալիքների բազմակողմանի ուսումնասիրությունների համար, որոնք մեծ կիրառական նշանակություն ունեն ոչ միայն երկրաշարժագիտության, այլև երկրագնդի և օգտակար հանածոների հայտնաբերման ուսումնասիրություններում:

Գոյություն ունեն սեյսմիկ ալիքների երկու հիմնական տիպեր՝ *ծավալային* և *մակերևութային* ալիքներ: Ծավալային ալիքները տարածվում են երկրի ծավալում ինչպես առածական կամ ձայնային ալիքները: Մակերևութային ալիքները տարածվում են մակերևութով, ինչպես ծովում առաջացող ալիքներ: Երկրի մակերևութի վրա գտնվող մարդը, կառուցվածքը կամ գործիքը երկրի ներսում տրոհման պրոցեսում առաջացած էֆեկտը (երկրաշարժը) զգում է երկու տարբեր ծավալային ալիքների՝ հարվածների ձևով, իսկ հետո նոր գետնի տատանումների ձևով, որոնք հետևանք են մակերևութային ալիքների առաջացման:

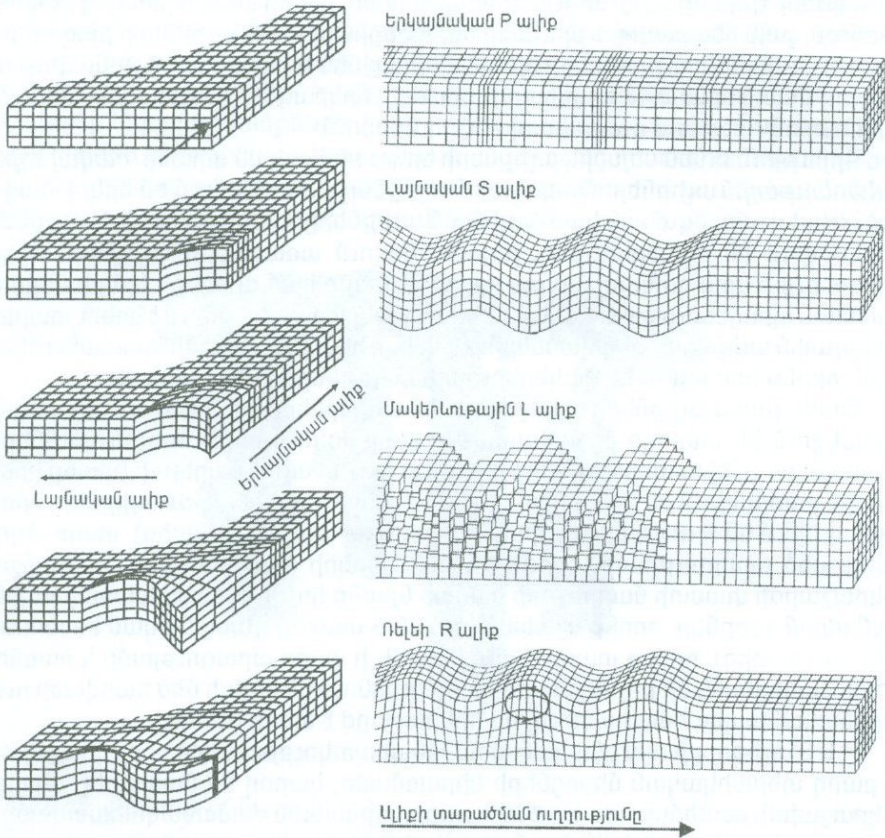
Ծավալային ալիքները առաջանում են ապարների անմիջական տրոհմամբ, արձակվում են ամբողջ միջավայրում և տարածվում բոլոր ուղղություններով (ծավալներով), հեռավորությունից կախված թուլանալով՝ մարելով: Նրանք իրենց հերթին բաժանվում են երկու հիմնական տիպերի՝ *երկայնական* ալիքներ, որոնք նշանակվում են P տառով (լատինական *primae* - առաջին բառից), տարածվում ավելի մեծ արագությամբ և շուտ հասնում երկրի մակերևութին, ազդանշում երկրաշարժի փաստի մասին, որի համար նրանք կոչվում են նաև առաջնային և *լայնական* ալիքներ, որոնք նշանակվում են S տառով (լատինական *secondae* - երկրորդ բառից), որոնք տարածվում են ավելի փոքր արագությամբ և հասնում երկրի մակերեսին մի քիչ ուշացած, բայց ունենում են ավելի մեծ հարվածի ուժ և վերջնականապես հաստատում, որ երկրաշարժ է տեղի ունեցել:

P և S ալիքների այս բնական առանձնահատկությունները որոշ դեպքերում, ոչ բարդ տեխնիկական միջոցների կիրառմամբ, կարող են նպաստել, սկսված երկրաշարժի համեմատաբար անվտանգ սկզբնական ժամանակահատվածում, շենքերից մարդկանց էվակուացման գործին:

Երկայնական P ալիքները ապարներում հաջորդաբար առաջացնում են սեղմման և ձգման դեֆորմացիաներ, իսկ լայնական S ալիքները՝ սահքի դեֆորմացիաներ: Այդ պատճառով դրանց հաճախ անվանում են նաև սահքի ալիքներ (Նկ. 1.29):

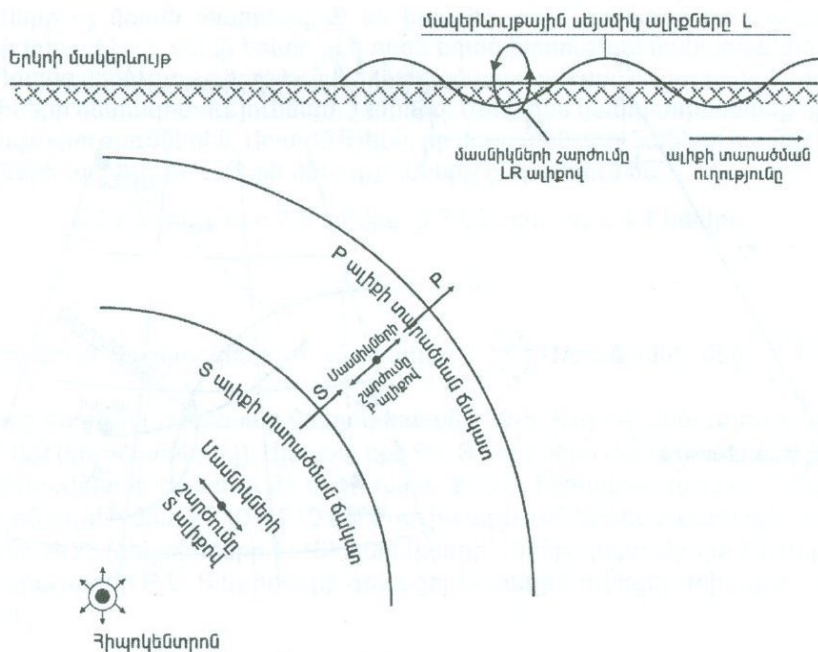
Ինչպես ցանկացած ջարդվածքի կամ կտրման դեպքում, այնպես էլ երկրաշարժ առաջացնող ապարների տրոհման պրոցեսը սկսվում է մի որոշակի կետից և հաջորդաբար շարունակվում՝ արձակելով տարբեր ուժգնության ու պարբերության ծավալային ալիքներ, կախված տրոհման, ընդհանուր դեպքում որոշ հաստության, շերտի ճաքերի չափերից ու քանակից: Չնայած երկրաշարժի օջախից անընդհատ արձակվում են ծավալային ալիքներ, միջավայրի ամեն մի մասնիկ կատարելով հետադարձ համընթաց շարժումներ, մնում է համարյա նույն

տեղում, որտեղից սկսվել է նա շարժվել (նկ. 1.30): Քանի որ բոլոր մարմինները պինդ, թե հեղուկ, ընդունակ են փոխանցել ճնշում, ապա P ալիքները կարող են հատել երկրագնդի ամբողջ զանգվածը՝ պինդ և հեղուկ: Ինչ վերաբերում է S ալիքներին, ապա նրանք կարող են հատել միայն պինդ զանգվածներին:



Նկ. 1.29 Հոծ միջավայրում ալիքների տարածումը:

Մակերևութային ալիքները նշանակվում են L տառով (լատինական Long - երկար բառից), տարածվում են երկրի մակերեսով, ընդգրկելով շատ փոքր ծավալներ և տարածվելով ավելի փոքր արագությամբ, քան P և S: Բացի դրանից, մակերևութային ալիքները ունենում են ավելի մեծ պարբերություններ, քան ծավալային ալիքները: Մակերևութային ալիքների շատ տարատեսակներ կան,



Նկ. 1.30 P և S ալիքների տարածման ճակատները և մակերևութային սեյսմիկ ալիքների տարածումը:

որոնցից գլխավորներն են **Ռելեի** LR և **Լյավի** LQ ալիքները: Ռելեի ալիքներում մասնիկները շարժվում են ուղղաձիգ հարթության մեջ գծելով էլիպս (երկայնական ալիք), իսկ Լյավի ալիքներում մասնիկները կատարում են հետադարձ-համընթաց շարժումներ ալիքի տարածման ուղղահայաց ուղղությամբ (սահիքի ալիքներ): Այն շարժումը, որը մենք զգում ենք երկրաշարժի ժամանակ երկրի վրա, և որը գրանցում են սեյսմոգրաֆները, հանդիսանում են տարբեր ալիքներով մասնիկների շարժումների գումարից ստացված արդյունքը: Նկարներ 1.31 և 1.31ա բերված են երկրաշարժի տիպիկ սեյսմոգրամը P և S ալիքների ժամանման ժամանակների նշումով: Ինչպես երևում է նկարից, եթե գրանցման կայանի հեռավորությունը երկրաշարժի օջախի հիպոկենտրոնից նշանակենք Δ տառով, իսկ P և S ալիքների ժամանման (երևման) ժամանակների տարբերությունը Δt -ով, ապա կունենանք

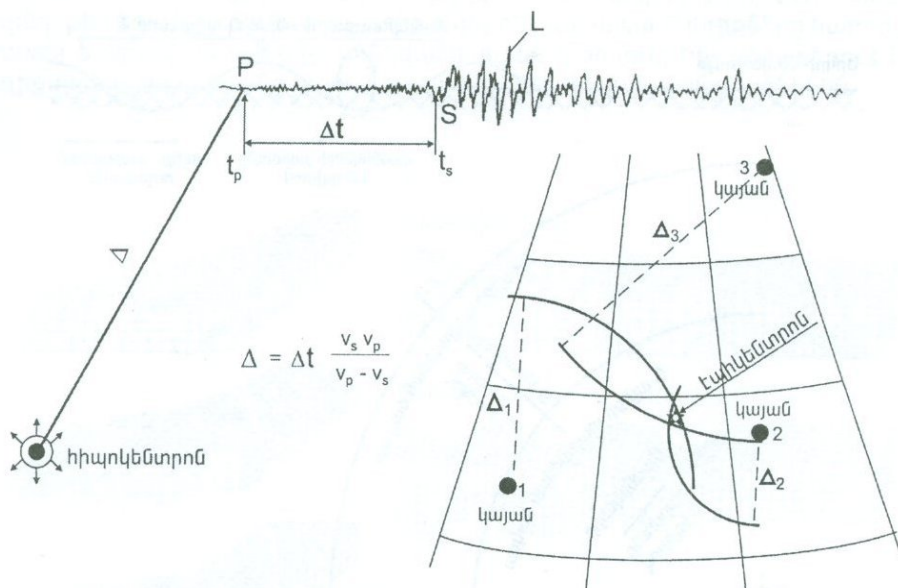
$$t_p = \frac{\Delta}{v_p}, \quad t_s = \frac{\Delta}{v_s}, \quad t_s - t_p = \Delta t, \quad (1.10)$$

այստեղից երևում է, որ

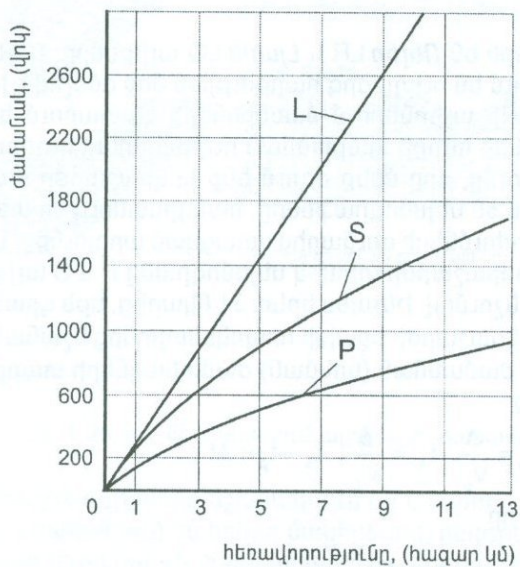
$$\Delta = \Delta t \frac{v_s v_p}{v_p - v_s}, \quad (1.11)$$

որտեղ v_p և v_s համապատասխանաբար երկայնական P և լայնական S ալիքների

ա



բ



Նկ. 1.31 Էպիկենտրոնի տեղի և հեռավորության որոշումը (ա) և P, S և L ալիքների արագությունների հոդոգրաֆները (բ):

տարածման արագություններն են: երկայնական և լայնական ալիքների արագությունները ոչ միայն տարբերվում են իրարից, այլև կախված են միջավայրի նյութի տեսակից և դեպի երկրի կենտրոն եղած խորության մակարդակից:

Դրանց մեծությունները չափվել են բազմաթիվ անգամ և ճշգրտվել են երկար տարիների հետազոտությունների շնորհիվ: Մենք դեռ կանոդրադառնա՞նք դրանց օրինաչափություններին: Առայժմ նշենք, որ ժայռային գրունտների համար P և S ալիքների արագությունների մեծությունները ընդունվում են՝

$$6.3 \text{ կմ/վրկ} < v_p < 7.8 \text{ կմ/վրկ}, 3.7 \text{ կմ/վրկ} < v_s < 4.4 \text{ կմ/վրկ},$$

$$v_p / v_s = 1.73:$$

Պարզագույն հաշվարկներում ընդունված է (1.11) բանաձևի մեջ $\frac{v_s v_p}{v_p - v_s}$ -ի

արժեքը ընդունել հավասար մոտավորապես 10-ի, իսկ Δ -ի մեծությունը հավասար $10\Delta t$ (կիլոմետրերով): Այսպես, եթե P և S ալիքների ժամանման տարբերությունը հավասար է ասենք 21 վրկ., ապա ֆոկալ հեռավորությունը (էպիկենտրոնային) կլինի մոտ $21 \cdot 10 = 210$ կմ: Ըստ իտալական Տրիեստ քաղաքի սեյսմիկ կայանի № 23 (դեկտեմբերի 1÷15) տեղեկագրի՝ 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի P և S ալիքների գրանցումը տեղի է ունեցել Գրինվիչի ժամանակով՝

P ալիքը - 07.46.26.4

S ալիքը - 07.50.39.9

Ալիքների ժամանման ժամանակների տարբերությունը կլինի՝

$$\Delta t = 4 \text{ րոպե } 12.5 \text{ վրկ.} = 240 + 12.5 = 252.5 \text{ վրկ.}$$

Իսկ էպիկենտրոնային հեռավորությունը (Սպիտակից-Տրիեստ)՝

$$\Delta = 10 \cdot 252.5 = 2525 \text{ կմ:}$$

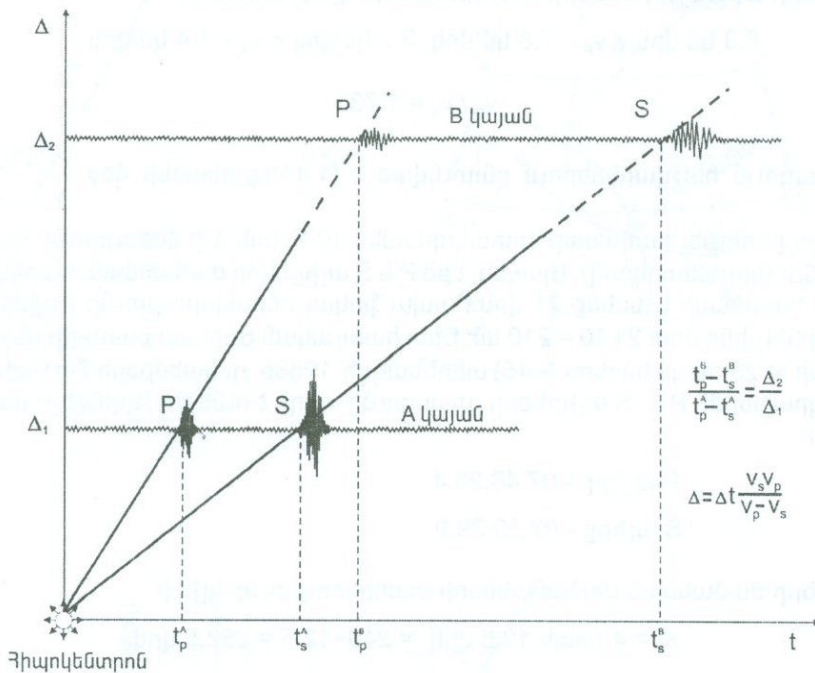
Նույն տեղեկագրի ճշգրիտ տվյալներով $\Delta = 2550$ կմ: Էպիկենտրոնային հեռավորության մեծության ավելի ճշգրիտ հաշվարկումների նպատակով բոլոր սեյսմիկ կայանները օգտվում են տվյալ կայանի համար կազմված հատուկ աղյուսակներից և արագությունների հոդոգրաֆներից: Էպիկենտրոնի կոորդինատները որոշվում են երեք սեյսմիկ կայանների տվյալներով (նկ. 1.31):

Ունենալով ցանկացած երեք գրանցող կայանների տեղերը (կոորդինատները քարտեզի վրա) և նրանց էպիկենտրոնային $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ հեռավորությունները և տանելով $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ շառավղով շրջանագծեր նրանց հատման կետում կլինի որոնելի էպիկենտրոնի տեղը: Սովորաբար շրջանագծերը հնարավոր սխալների պատճառով չեն հատվում մի կետում, այլ կազմում են փոքր ուռուցիկ եռանկյուն, որի կենտրոնում էլ գտնվում (ընդունվում) է էպիկենտրոնը:

Երկրաշարժի օջախի խորության մեծության որոշման գործը ավելի բարդ է: Այն կապված է ինչպես սեյսմիկ ալիքների գրանցման կայանում երկրի մակերևույթի հետ նրանց հատման անկյան մեծության, այնպես էլ ուղիղ և անդրա-

դարձվող P ալիքների ժամանման (երևման) ժամանակների տարբերության հետ:

Իրականում երկրաշարժի էպիկենտրոնի տեղը և օջախի խորությունը որոշվում է ոչ թե երեք, այլ բավական մեծ թվով տարբեր երկրների սեյսմիկ կայանների գրանցումների մշակմամբ և տարբեր ալիքների հոդոգրաֆների՝ տվյալ ալիքի տարածման տևողության կապը էպիկենտրոնային հեռավորությունից (նկ. 1.31ա) օգտագործմամբ: Այս հարցում ամբողջ աշխարհի երկրաշարժա-



Նկ. 1.31ա Հիպոկենտրոնային հեռավորության որոշումը:

գետների միջև գոյություն ունի սերտ համագործակցություն, որը թույլ է տալիս երկրաշարժից անմիջապես հետո, օգտագործելով տեղեկատվության հաղորդման և հաշվարկումների իրականացման ժամանակակից եղանակներ, շատ կարճ ժամանակահատվածում մեծ ճշտությամբ որոշել տեղի ունեցած երկրաշարժի պարամետրերը:

1.7 ԱՆԻՔԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄԸ

Ընդհանուր դեպքում որևէ տարածվող խտություն միշտ բավարարում է հետևյալ դիֆերենցյալ հավասարմանը

$$v^2 \left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = 0, \quad (1.12)$$

որտեղ $A(x,y,z,t)$ տարածվող խոտորման մեծությունն է տարածության (x,y,z) կետում ժամանակի t - մոմենտին, v - խոտորման տարածման արագությունն է:

Հարթ ալիքների դեպքում (խոտորման u մեծությունը կախված է մեկ կոորդինատից) (1.12), ունի ավելի պարզ տեսք՝

$$v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (1.13)$$

Լայնական S կամ սահքի ալիքի դեպքում (1.13) հավասարման դուրս բերումը շատ պարզ է, ինչպես պատկերված է 1.32 նկարում [40]: Ենթադրենք $ABCD$ ուղղանկյունը դեֆորմացիայից (սահքից) հետո գրավում է $A'B'C'D'$ դիրքը: $A'B'$ կողի վրա ազդող ուժերի գումարը կլինի $\tau A'B'$, իսկ $D'C'$ կողի վրա ազդող ուժերի գումարը՝ $(\tau + \Delta\tau)D'C'$: Այս երկու ուժերի տարբերությունը պիտի հավասարակշռվի $A'B'C'D'$ էլեմենտում (միավոր հաստության) իներցիոն՝

$$\rho dx A'B' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1.14)$$

ուժի հետ, որտեղ ρ - միջավայրի խտությունն է, կամ

$$(\tau + \Delta\tau)D'C' - \tau A'B' = \rho dx A'B' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1.15)$$

քանի որ $A'B' = D'C'$, ապա կունենանք

$$\Delta\tau = \rho dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1.16)$$

Մյուս կողմից, ինչպես հայտնի է նյութերի դիմադրությունից

$$\begin{aligned} \tau &= G\gamma_{xy} \\ \gamma_{xy} &= \frac{du}{dx} \end{aligned} \quad (1.17)$$

որտեղ G - սահքի մոդուլն է:

Հետևաբար

$$\Delta\tau = G \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} \partial x = G \frac{\partial^2 u \partial x}{\partial x^2} = \rho dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1.18)$$

նշանակելով՝

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

կստանանք S ալիքի տարածման հավասարման վերջնական տեսքը՝

(1.19)



$u(x,0) = \varphi(x)$ - սկզբնական տեղափոխություն

(1.20)

$u_1'(x,0) = \psi(x)$ - սկզբնական արագություն

ալիքային (1.19) հավասարման լուծումը Դալանդերի եղանակով ունի հետևյալ տեսքը՝

$$u(x,t) = f_1(x+vt) + f_2(x-vt)$$

Կամ հաշվի առնելով նախնական պայմանները՝

$$u(x, t) = \frac{\varphi(x + vt) + \varphi(x - vt)}{2} + \frac{1}{2v} \int_{x-vt}^{x+vt} \psi(x) dx, \quad (1.22)$$

Այժմ պարզենք, թե x -ի առանցքի վրա գտնվող ցանկացած կետ ինչ պայմանների դեպքում կունենա միևնույն խոտորումը (դեֆորմացիան), կամ ինչ արագությամբ է տարածվում խոտորումը x առանցքով: Ենթադրենք $t = t_k$ մոմենտին $x = x_k$ կետի խոտորումը հավասար է (ընդունենք $\psi = 0$):

$$u_k(x_k, t_k) = \frac{\varphi(x_k + vt_k) - \varphi(x_k - vt_k)}{2}, \quad (1.23)$$

իսկ $t = t_{k+1}$ մոմենտին $x = x_{k+1}$ կետի խոտորուհը՝

$$u_{k+1}(x_{k+1}, t_{k+1}) = \frac{\varphi(x_{k+1} + vt_{k+1}) - \varphi(x_{k+1} - vt_{k+1})}{2}, \quad (1.24)$$

Որպեսզի $u_k(x_k, t_k) = u_{k+1}(x_{k+1}, t_{k+1})$, պետք է նույնաբար տեղի ունենան

$$x_k + vt = x_{k+1} + vt_{k+1}$$

$$x_k - vt = x_{k+1} - vt_{k+1}$$

կամ

$$\frac{x_{k+1} - x_k}{t_{k+1} - t_k} = v, \quad \frac{x_{k+1} - x_k}{t_{k+1} - t_k} = -v, \quad (1.26)$$

(1.26) հավասարությունները նշանակում են, որ x -ի առանցքի վրա գտնվող ցանկացած կետի միևնույն խոտորումը $u(x, t)$, տվյալ դեպքում՝ գետնի մասնիկների տեղափոխությունները, երկայնական (P - ալիք) կամ ընդլայնական (S - ալիք) ուղղություններով այն կամ ծախ տարածվում են միևնույն v արագությամբ:

Այժմ առաձգականության տեսության ընդհանուր հավասարումներից ստանանք ծավալային ալիքների տարածման հավասարումները [44]: Ինչպես հայտնի է, առաձգականության տեսության դիմամիկ հավասարումները տեղափոխություններով, ընդհանուր դեպքում, ունեն հետևյալ տեսքը (նկ. 1.33)

$$\begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w &= \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (1.27)$$

որտեղ

u, v և w - տեղափոխություններն են x, y և z առանցքների ուղղությամբ,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad \text{- Լապլասի օպերատորն է,}$$

$\theta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ - ծավալային դեֆորմացիան է, կամ կոչվում է տեղափոխությունների վեկտորի դիվերգենցիա,

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, \gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}$$

- հարաբերական տեղափոխություններն են,

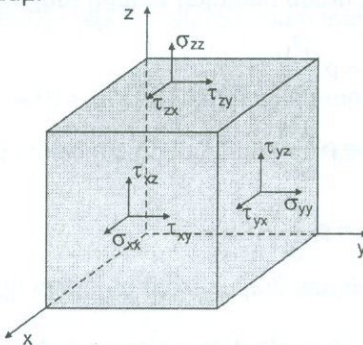
$$\sigma_{xx} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{xx}, \sigma_{yy} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{yy}, \sigma_{zz} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{zz} - \text{նորմալ և շոշափող լարումները,}$$

$$\tau_{xx} = \mu\gamma_{xy}, \tau_{xz} = \mu\gamma_{xz}, \tau_{yz} = \mu\gamma_{yz}$$

ρ - միջավայրի խտությունը,

$$\mu = G, \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

Լամեի գործակիցները, E , G և ν - համապատասխանաբար Յունգի (առաձգականության), սահքի և Պուասոնի գործակիցները, որոնք կապված են $E=2G(1+\nu)$ առնչությամբ:



Նկ. 1.33
Հոծ միջավայրում նորմալ և շոշափող լարումները:

Հետևելով Ռիխտերին [44], ածանցելով (1.27) հավասարումների համակարգը համապատասխանաբար ըստ x , y , z փոփոխականների և գումարելով իրար, կստանանք՝

$$(\lambda + \mu) \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right] + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 u + \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 v + \frac{\partial}{\partial z} \nabla^2 w \right] =$$

$$= \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (1.28)$$

Կամ որոշ ձևափոխություններից հետո

$$(\lambda + 2\mu) \nabla^2 \theta - \rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = 0$$

Առանցքային

$$v_p^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}$$

կունենանք

$$v_p^2 \nabla^2 \theta - \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = 0 \quad (1.29)$$

Այսպիսով, ծավալային փոփոխության θ սկալար մեծության նկատմամբ ստացանք ալիքային հավասարումը ընդհանուր տեսքով: (1.29) հավասարումից երևում է, որ ծավալի փոփոխությունը (ասենք սեղմում - ձգման P ալիքը) տարածվում է

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho}} \quad (1.30)$$

արագությամբ:

Այժմ (1.27) հավասարումների համակարգի առաջին հավասարումը ածանցենք ըստ y -ի և ստացածից հանենք 2-րդ հավասարումը, այն նախօրոք ածանցելով ըստ x -ի: Արդյունքում կունենանք՝

$$\mu \nabla^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) = \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

կամ, քանի որ

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = \gamma_{xy},$$

ապա կունենանք հետևյալ ալիքային հավասարումը՝

$$\mu \nabla^2 \gamma_{xy} - \rho \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.31)$$

Նման ձևով, (1.27) հավասարումների համակարգից կստանանք ևս երկու ալիքային հավասարումներ՝

$$\begin{aligned} \mu \nabla^2 \gamma_{xz} - \rho \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial t^2} &= 0 \\ \mu \nabla^2 \gamma_{yz} - \rho \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial t^2} &= 0 \end{aligned} \quad (1.31a)$$

Ստացված վերջին երեք ալիքային հավասարումներից երևում է, որ սահիքի դեֆորմացիաները բոլոր երեք ուղղությւններով՝ γ_{xy} , γ_{xz} , γ_{yz} տարածվում են միևնույն

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.32)$$

արագությամբ:

1.8 ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ընդունելով, որ $E = 2G(1+\nu)$, $\nu = 0.25$ (1.30) և (1.32) բանաձևերից կստանանք

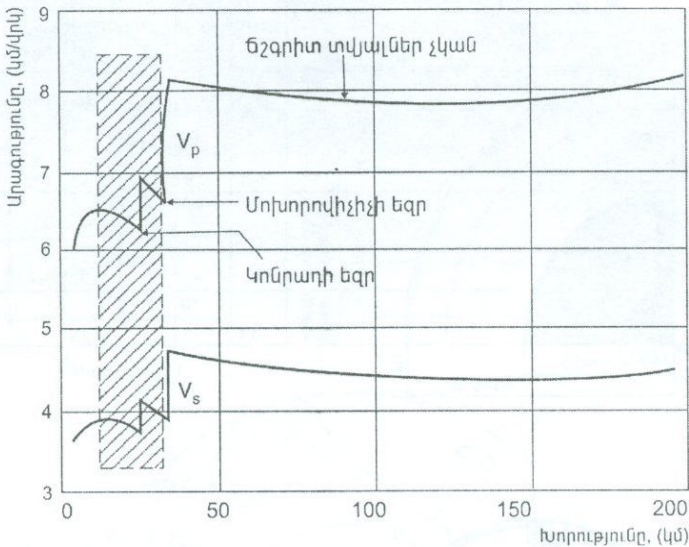
$$v_p = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} v_s = \sqrt{3} v_s = 1.73 v_s$$

Այսպիսով, եթե հոծ առաձգական միջավայրի ցանկացած կետում տեղի է ունենում որևէ խոտորում, ապա այդ կետից բոլոր ուղղություններով սկսվում են արձակվել ալիքներ: Խոտորման աղբյուրից (օջախից) մեծ հեռավորության վրա բոլոր մասնիկները շարժվում են տարածվող ալիքի ուղղությամբ զուգահեռ (երկայնական P ալիքներ) կամ դրան ուղղահայաց (ընդլայնական S ալիքներ): Երկրաշարժերի գրանցումները ցույց են տալիս, որ P ալիքների օջախից մինչև գրանցման կայանը հասնելու ժամա-նակը կախված չէ ճառագայթի թեքությունից, այլ կախված է միայն ֆոկալ հեռավորությունից: Այս նշանակում է, որ ալիքների տարածման արագությունների մեծությունները կախված են միայն խորությունից: Փորձերը ցույց են տալիս, որ դեպի երկրազնդի խորքը սեյսմիկ ալիքների տարածման v_p և v_s արագությունները մեծանում են: Սակայն, ինչպես երևում է նրանց (1.30) և (1.32) բանաձևերից, քանի որ դեպի խորքը միջավայրի խտության ρ -ի արժեքները անպայման մեծանում են, ապա դա նշանակում է, որ դեպի խորքը առաձգական E և G գործակիցների արժեքները աճում են ավելի արագ, քան ρ -ի արժեքները: Սա հքի ալիքների արագությունը v_s հեղուկներում հավասար է զրոյի: Այդ իսկ պատճառով S ալիքները երկրազնդի միջուկ չեն թափանցում: Տարբեր խորություններում սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունների մեծությունները բերված են 1.2 աղյուսակում [44]:

Աղյուսակ 1.2 կոնտինենտալ կեղևի համար բերված են սեյսմիկ ալիքների արագությունների միջին արժեքները: Ինչպես երևում է աղյուսակից, երկրի ներսում գոյություն ունեն երկու հիմնական խզումներ (նկ. 1.34) 30-60 և 2900 կմ խորությունների վրա, որոնցում սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունները թռիչքաձև փոփոխվում են: Այդ խզումները երկիրը բաժանում են երեք հիմնական մասերի՝ արտաքին շերտ կամ կեղև (լիթոսֆերա), միջանկյալ շերտ կամ թաղանթ և կենտրոնական՝ միջուկ: Երկրաֆիզիկական մեթոդներով երկրի կառուցվածքի ու վիճակի մասին ստացված մանրամասն տվյալները ցույց են տրված նկ. 1.35-ում:

Համաձայն [27] աշխատանքում բերված հետազոտությունների Հայաստանի Հանրապետության տարածքում երկրի կեղևի հզորությունը ընդհանուր առմամբ

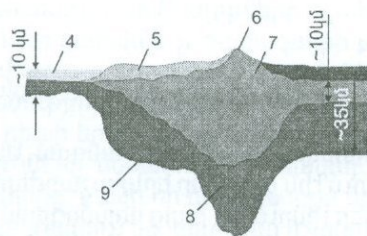
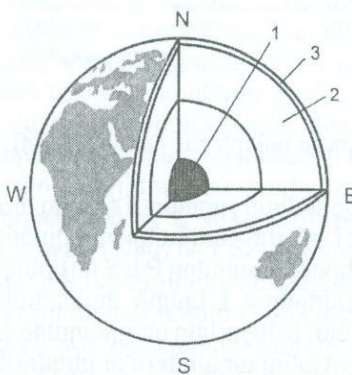
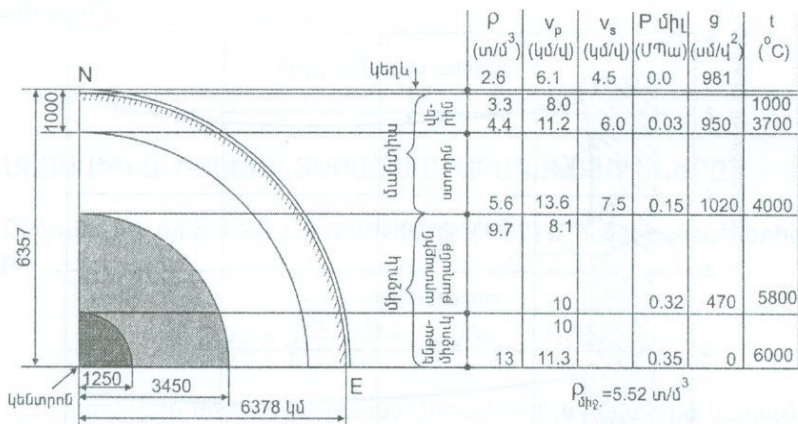
կազմում է 50-54 կմ, ընդ որում «գրանիտային շերտի» հզորությունը կազմում է 37 ± 2 կմ, «բազալտային շերտինը» 15 ± 2 կմ, Մոխրովիչիչի մակերևույթի հզորությունը կազմում է 40 - 45 կմ, իսկ երկայնական ալիքների տարածման արագության հիմքում $v_p = 8.1 - 8.2$ կմ/վրկ: Սեյսմոգրամներում հաճախ P և S ալիք-



Նկ. 1.34 Սեյսմիկ ալիքների արագությունների բաշխումը [39, 44]:

ները հայտնվում են մի քանի անգամ: Սկզբնական շրջանում դրանց սխալ - մամբ վերագրում էին տարբեր երկրաշարժերի: Իհարկե բազմակի հարվածներով երկրաշարժեր լինում են, բայց սեյսմոգրամներում նկատվող P և S ալիքների կրկնակի հայտնվելը հիմնականում պայմանավորված է երկրի մակերեսից, կեղևի տարբեր երկրաբանական շերտերից (1.36ա) և միջուկից անդրադարձվող ու բեկվող ալիքներով: Ընդ որում միևնույն ալիքը անդրադառնում ու բեկվում է ինչպես երկայնական P, այնպես էլ լայնական S ալիքների տեսքով: Երկրի մակերևույթից անդրադարձած ալիքները (նկ. 1.36a) նշանակվում են համապատասխանաբար PP (P - ալիքը անդրադարձել է P տեսքով), PS (P - ալիքը անդրադարձել է S տեսքով), SS (S - ալիքը անդրադարձել է S տեսքով) և SP (S - ալիքը անդրադարձել է P տեսքով):

Երկրի միջուկ հատած ալիքները (նկ. 1.36b) նշանակվում են համապատասխանաբար PKS, PKP, SKP, SKS (քանի որ միջուկը հեղուկ է, միջուկով անցնում են միայն P ալիքները): Միջուկից անդրադարձած ալիքները (նկ. 1.36c) նշանակվում են PcP, PcS, ScP, ScS: Հիպոկենտրոնից երկրի թաղանթով գրանցման կայան ընթացող P և S ալիքների ճառագայթները իրարից շատ քիչ են տարբերվում, քանի որ նրանց արագությունների հարաբերությունը չնչին է փոփոխվում: Քանի որ երկու արագությունների մեծություններն էլ դեպի խորքը մեծանում են, ճառագայթները կորանում են և ուռուցիկությամբ ուղղվում են դեպի ներքև: Հիպոկենտրոնում անկման անկյան փոքրացմանը համընթաց ճառագայթները

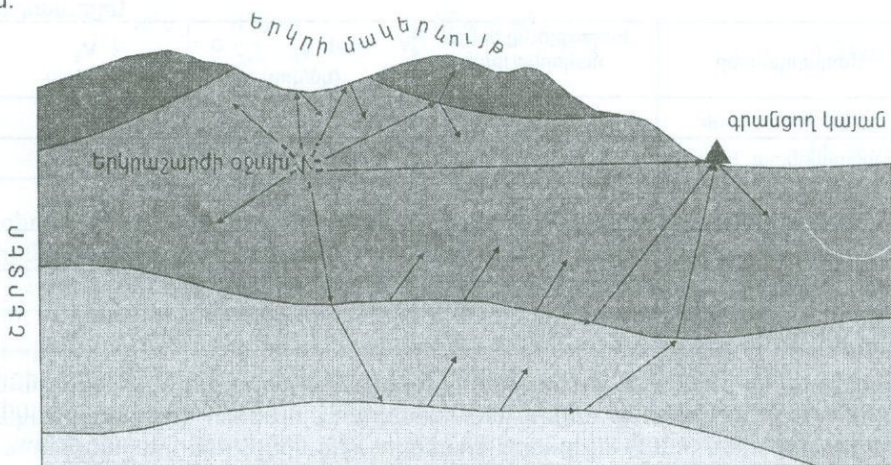


- 1 - միջուկ,
- 2 - մանտիա,
- 3 - կեղև,
- 4 - օվկիանոս,
- 5 - մոտավաճառյին շերտ,
- 6 - լեռ,
- 7 - գրանիտ,
- 8 - բազալտ,
- 9 - Մոխրոտվիչի մակերևույթ

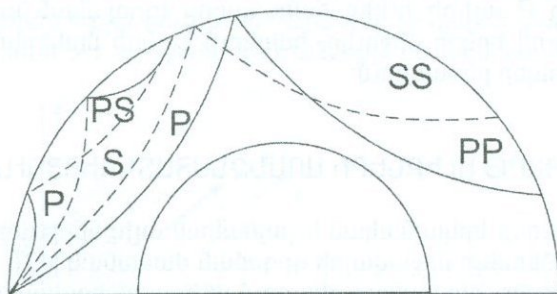
- ρ - խտությունը,
 v_p - երկայնական ալիքի արագությունը,
 v_s - լայնական ալիքի արագությունը,
 P - ճնշումը,
 g - ազատ անկման արագացումը,
 t - ջերմաստիճանը,

Նկ. 1.35 Երկրագնդի կառուցվածքը ըստ գեոֆիզիկական տվյալների:

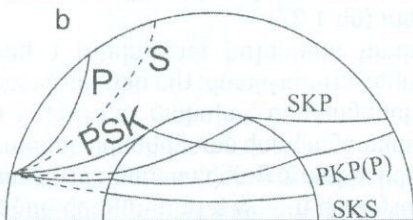
ա.



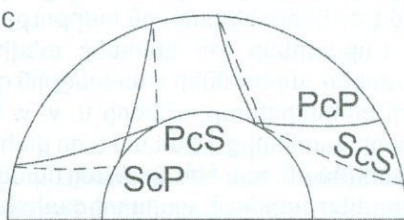
բ. ա



բ



գ



Նկ. 1.36 Կեղևի տարբեր շերտերից անդրադարձվող ու բեկվող ալիքների տարածման ուղիները (ա) և տեխնյումիկ ծավալային ալիքների ճառագայթները (բ) [19,39,44]:

- ա - Երկրի մակերևույթից P և S ալիքների անդրադարձումը
- բ - Միջուկն հատած P և S ալիքները
- գ - Միջուկից անդրադարձած P և S ալիքները

————— հոծ գծերով՝ երկայնական ալիքների ճանապարհը
 - - - - - կետագիծ՝ լայնական ալիքների ճանապարհը

Աղյուսակ 1.2

Մակարդակներ	խորությունը երկրի մակերևույթից (կմ)	V_p (կմ/վրկ)	V_s (կմ/վրկ)
Երկրի մակերևույթ	0	5	3
Կոնտինենտալ կեղև		6	3.5
Մոխորովիչիչի խզման սահման	30 - 60	6.7 - 8.2	3.8 - 4.8
Մանթիա	2900	13.5 - 8	8
Միջուկ	5000	10	-
Կենտրոն	6370	11.5	?

ավելի շատ են կորանում՝ թափանցելով ավելի մեծ խորություններ և դուրս են գալիս երկրի մակերևույթ ավելի մեծ հեռավորությունների վրա: Ամփոփական չանդրադարձված P և S ալիքները գրանցվում են մինչև այն տարածքներում, որոնց համար հիպոկենտրոնի և գրանցման կայանի միջև կազմած անկյունը մեծ չէ 103° , որից հետո P ալիքի ճառագայթը արդեն հատում է երկրի միջուկը: Հիպոկենտրոնից P ալիքի ուղիղ ճառագայթը (զրոյական անկման անկյան դեպքում) հատելով երկրի միջուկը, հասնում է գնդի մակերևույթի հակառակ կողմը մոտ 20 րոպեի ընթացքում:

1.9 ՍԵՅՍՄԻԿ ՀԱՐԹ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱԴՐԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Այժմ քննարկենք երկայնական և լայնական ալիքների առաջացումը շատ պարզ ու հեշտ ըմբռնելի միջավայրի գրգռման ժամանակ [47]:

Ինչպես տեսանք, ընդհանուր դեպքում ալիքային հավասարումներն ունեն (1.29) և (1.31) տեսքերը: Այժմ ենթադրենք, թե առաձգական միջավայրում տեղադրել ենք մի բացարձակ կոշտ վահան (էկրան), որի հարթությունը համընկնում է xy կոորդինատային հարթության հետ (նկ.1.37):

Ենթադրենք, որ վահանը տեղից արագ պոկվելով կատարում է հարթ զուգահեռ շարժումներ x -առանցքին զուգահեռ ուղղությամբ: Այս դեպքում պարզ է, որ տեղափոխությունների u , v , w կոմպոնենտները կախված չեն լինի y և z կոորդինատներից: Բնական է, որ վահանի առաջնամասի մասնիկները կենթարկվեն սեղմման, իսկ հետնամասի մասնիկները՝ ձգման: Քանի որ տեղի ունի հարթ զուգահեռ շարժում, ապա տեղափոխությունների u , v , w և լարումների կոմպոնենտների համար կունենանք

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.33)$$

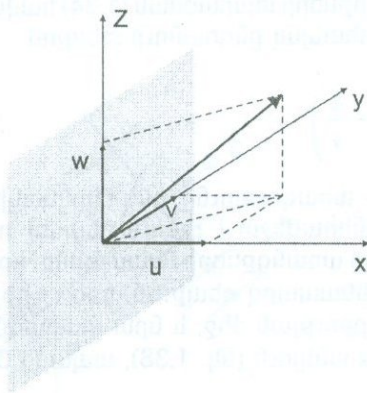
Հետևաբար, (1.27) հավասարումներից կստանանք

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad \text{կամ} \quad v_p^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (1.34)$$

$$\mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \quad \text{կամ} \quad v_s^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0, \quad (1.34\text{ա})$$

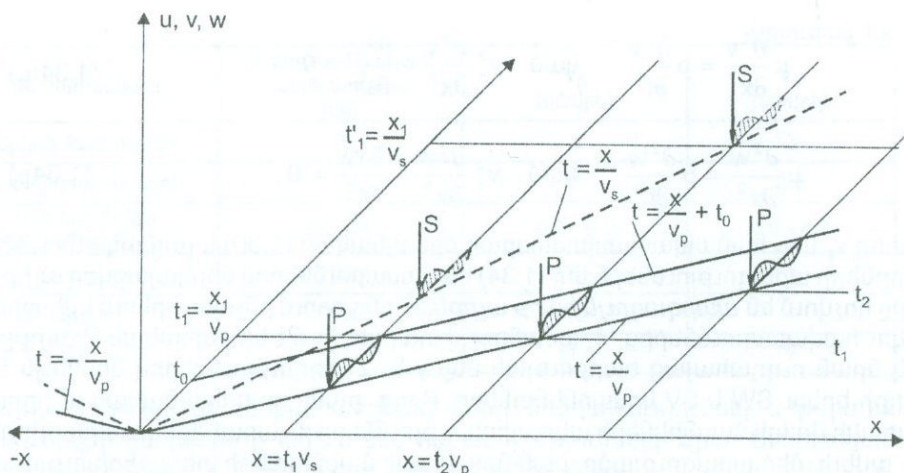
$$\mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad \text{կամ} \quad v_s^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (1.34բ)$$

որտեղ v_p և v_s համապատասխանաբար երկայնական (1.30) և լայնական (1.32) ալիքների արագություններն են: (1.34) հավասարումներով ներկայացվող ալիքները կոչվում են **պարզագույն հարթ ալիքներ**, ընդ որում ինչպես երևում է վերջին երկու հավասարումներից, x -առանցքով տարածվում է երկայնական P ալիքը, իսկ նրան ուղղահայաց հարթության մեջ y և z ուղղություններով միևնույն S ալիքի երկու SW և SV կոմպոնենտները: Բայց, քանի որ երկայնական ալիքով վահանի վրայի մասնիկների տեղափոխությունները x -առանցքով տարածվում են ավելի մեծ արագությամբ, քան նրա վրայի մասնիկների տեղափոխությունների՝ $\sqrt{v^2 + w^2}$ տարածումը x -ին ուղղահայաց ուղղությամբ, ապա այստեղից բխում է առաձգական կամ սեյսմիկ ալիքների կարևոր հատկությունը, այն է՝ վահանի կամայական հարթ զուգահեռ շարժումը չի կարող տարածվել առաձգական միջավայրում: Նա, այդ շարժումը, անպայման կտարրալուծվի երկայնա-



Նկ. 1.37
Տարածվող ալիքի
կոմպոնենտները:

կան u կոմպոնենտով և նրան ուղղահայաց ընդլայնական $\sqrt{v^2 + w^2}$ կոմպոնենտով շարժումների: Նրանք ժամանակի ցանկացած մոմենտում անցնում են տարբեր ճանապարհներ և կազմում են P և S երկայնական ու լայնական սեյսմիկ ալիքներ: Ալիքի տարածման ճառագայթին ուղղահայաց ուղղությամբ մասնիկների տատանումները միշտ հետ են մնում (Նկ. 1.37ա):



Նկ. 1.37ա Սեյսմիկ ալիքների ֆազային տարածությունը [47]:

Ինչպես նշվեց վերևում, հարթ ալիքների տարածման (1.34) հավասարումների լուծումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ ընդհանուր տեսքով՝

$$u(\xi, t) = f\left(t - \frac{\xi}{v}\right) \quad (1.35)$$

որտեղ ξ տարածման առանցքն է, v - արագությունը, իսկ f կրկնակի ածանցելի կամայական ֆունկցիա: Հաճախ անհրաժեշտ է լինում հետևել հարթ ալիքի շարժմանը կոորդինատային այնպիսի առանցքների նկատմամբ, որոնց ուղղությունները տարբերվում են ξ -ից: Ամենապարզ դեպքում, եթե ալիքի շարժումը կատարվում է հորիզոնական zx հարթության մեջ, և նրա տարածման ուղղությունը x առանցքի հետ կազմում է α անկյուն (նկ. 1.38), ապա (1.35) կներկայացվի

$$u(\xi, t) = f\left(t - \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{v}\right) \quad (1.36)$$

Մյուս կողմից, քանի որ

$$\sqrt{x^2 + z^2} = x \cos \alpha + z \sin \alpha \quad (1.37)$$

ապա

$$u(x, z, t) = f\left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v}\right) \quad (1.38)$$

Հորիզոնական հարթության մեջ հարթ ալիքի ներկայացման (1.38) տեսքը

ենթադրում է նրանց տարածումը x և z առանցքներով $v_x = v / \cos \alpha$ և $v_z = v / \sin \alpha$ արագություններով, որոնք ընդունված է անվանել **թվացող արագություններ**: Այդ արագությունները իրոք թվացող են, քանի որ նրանք բավարարում են

$$\frac{1}{v^2} = \frac{1}{v_x^2} + \frac{1}{v_z^2} \quad (1.39)$$

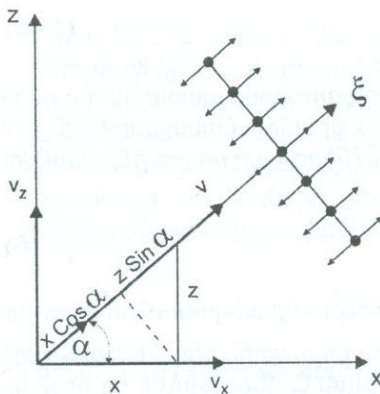
հավասարությանը, այլ ոչ սովորական

$$v^2 = v_x^2 + v_z^2$$

հավասարությանը:

Հարմոնիկ հարթ ալիքների դեպքում (1.35) և (1.38) բանաձևերն ավելի պարզ տեսք են ընդունում՝

$$\begin{aligned} u(\xi, t) &= A \cos \omega \left(t - \frac{\xi}{v} \right) \\ u(x, z, t) &= A \cos \omega \left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v} \right) \end{aligned} \quad (1.40)$$



Նկ. 1.38
Թեք անկյան տակ
տարածվող հարթ սեյսմիկ
ալիքի կոմպոնենտները:

որտեղ A - միջավայրի մասնիկների տատանման ամպլիտուդան է, իսկ ω - անկյունային հաճախությունը: Ալիքային տեսության մեջ ընդունված են հետևյալ նշանակումները

$$\frac{\omega}{v} = k, \quad \lambda = \frac{2\pi}{k} = vT, \quad \frac{\omega \cos \alpha}{v} = k_x, \quad \frac{\omega \sin \alpha}{v} = k_z \quad (1.41)$$

որտեղ k - կոչվում է **ալիքային թիվ**, T - տատանման պարբերությունն է, իսկ λ - **ալիքի երկարությունը**: Առաձգական միջավայրում (1.35) հավասարումով տարածվող հարթ ալիքից ժամանակի որոշակի մոմենտին ξ հեռավորության վրա առաջանում է որոշակի դեֆորմացիա, որի մեծությունը հավասար կլինի՝

$$\frac{\partial u}{\partial \xi} = -\frac{1}{v} f \left(t - \frac{\xi}{v} \right) \quad (1.42)$$

որտեղ f' -ը f ֆունկցիայի ածանցյալն է ըստ $(t - \xi/v)$ արգումենտի: Միավոր ծավալում կուտակված պոտենցիալ էներգիան համապատասխանաբար երկայնական և լայնական ալիքների համար կլինեն՝

$$W_p = \frac{\lambda + 2\mu}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial \xi} \right)^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{2} \frac{f'^2}{v_p^2} = \frac{\rho}{2} f'^2$$

$$W_s = \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial \xi} \right)^2 = \frac{\mu}{2} \frac{f'^2}{v_s^2} = \frac{\rho}{2} f'^2 \quad (1.43)$$

Մասնիկների շարժման կինետիկ էներգիան կլինի՝

$$W = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 = \frac{\rho}{2} f'^2 \quad (1.44)$$

Այսպիսով, միավոր ծավալում կուտակված լրիվ էներգիան ցանկացած հարթ ալիքի դեպքում կլինի՝

$$E = \frac{\rho}{2} f'^2 + \frac{\rho}{2} f'^2 = \rho f'^2 \quad (1.45)$$

Քանի որ այս էներգիան պայմանավորված է v արագությամբ տարածվող ալիքից միջավայրի մասնիկների շարժման հետ, ապա միավոր մակերեսով անցնող էներգիան, կամ ինչպես ընդունված է անվանել, **էներգիայի հոսքի ինտենսիվությունը** կլինի՝

$$Q = v \rho f'^2 \quad (1.46)$$

Ալիքային տեսության մեջ $\sqrt{v\rho}$ արտահայտությունը անվանում են **տատանման իմպեդանս**, իսկ $v\rho$ արտահայտվող՝ գրունտի **ակուստիկական կոշտությունը**:

Ունենալով էներգիայի հոսքի ինտենսիվության Q մեծությունը մի որևէ կետում, կարելի է գնահատել արձակվող աղբյուրից (օջախից) առաձգական տատանումների էներգիան: Եթե ինչ որ երկրաշարժի համար, որը ընդունենք որպես էտալոնային, որոշվի էներգիայի հոսքի ինտենսիվությունը՝ կախված էպիկենտրոնային հեռավորությունից $Q(\Delta)$, ապա ցանկացած երկրաշարժի համար ունենալով $Q(\Delta)/Q(\Delta)$ հարաբերությունը, կարելի է (ընդունելով, որ երկու երկրաշարժերի դեպքում տատանման բնույթը և տևողությունը նույնն են) գնահատել, թե տեղի ունեցած երկրաշարժը քանի անգամ մեծ կամ փոքր ինտենսիվություն ունի էտալոնայինի հետ համեմատած: Հարմոնիկ (1.40) ալիքի դեպքում էներգիայի հոսքի ինտենսիվությունն ունի ավելի պարզագույն տեսք՝

$$Q = 4\pi^2 v \rho \frac{A^2}{T^2} \quad (1.47)$$

որտեղ A - տատանման ամպլիտուդան է, իսկ T - պարբերությունը: Այստեղից պարզ է, որ որպես երկրաշարժի ուժի գնահատման բնութագիր նպատակահարմար է ընդունել ուսումնասիրվող և էտալոնային երկրաշարժերի էներգիայի հոսքի ինտենսիվությունների հարաբերության տասնորդական լոգարիթմը $\lg Q/Q$, որը ի վերջո բերել է երկրաշարժի մագնիտուդայի գաղափարին, որին մենք դեռ կանդրադառնանք ստորև:

Վերևում մենք քննարկեցինք ալիքների տարածումը իդեալական առաձգական միջավայրում, երբ տատանման էներգիան մի տեղից փոխանցվում է մյուսին առանց կորուստների: Բայց ցանկացած միջավայր իրականում միշտ կլանում է էներգիայի որոշ, մասը այն վերածելով ջերմության կամ էներգիայի այլ տեսակների: Ամենատրամաբանական կլինի ընդունել, որ ալիքի էներգիայի նվազումը համեմատական է նրա անցած ճանապարհին: Եթե միջավայրի միավոր ճանապարհի վրա E_0 մեծության էներգիայի կորուստի $E - E_0$ հարաբերությունը նրա սկզբնական E_0 մեծությանը նշանակենք 2γ , ապա $\Delta\xi$ ճանապարհ անցնելուց հետո կունենանք՝

$$\frac{E - E_0}{E_0} = 2\gamma\Delta\xi, \text{ կամ } -\frac{dE}{E} = 2\gamma d\xi \quad (1.48)$$

ինտեգրումից հետո կունենանք՝

$$E = E_0 e^{-2\gamma\xi} \quad (1.49)$$

որտեղ E_0 $\xi=0$ տեղում էներգիայի մեծությունն է, իսկ 2γ կոչվում է *միջավայրի էներգիայի կլանման գործակից*: Բնական է, որ (1.49) արտահայտությամբ էներգիայի կորուստը կբերի միջավայրի մասնիկների տեղափոխությունների $u(\xi, t)$ նվազեցմանը: Հետևաբար միջավայրում էներգիայի կորուստի մեծությունը կարելի է բնութագրել նաև ալիքի λ երկարության ճանապարհ անցնելուց հետո նրանից միջավայրի մասնիկների տեղափոխությունների երկու հարևան ամպլիտուդաների բնական լոգարիթմների հարաբերությամբ՝

$$\delta = \ln \frac{u(\xi, t)}{u(\xi + \lambda, t)} \quad (1.50)$$

որը կոչվում է *մարման դեկրեմենտ*: Այժմ գտնենք δ և γ կապը: Քանի որ, ինչպես տեսանք վերևում, միջավայրում կուտակված էներգիան (1.46) համեմատական է մասնիկների տատանման ամպլիտուդայի քառակուսուն $[f'(\xi, t) = \omega f(\xi, t)]$, ապա (1.50) կձևափոխվի՝

$$\delta = \ln \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho\omega^2}} e^{-2\gamma\xi}}{\sqrt{\frac{E_0}{\rho\omega^2}} e^{-2\gamma(\xi+\lambda)}} = \lambda\gamma \quad (1.51)$$

Այսպիսով, մարման դեկրեմենտը հավասար է միջավայրի էներգիայի կլանման գործակցի և ալիքի երկարության արտադրյալին:

Սեյսմիկ հարթ ալիքների առանձնահատկությունների շարադրանքը ավարտենք դրանց կիրառության մեջ շատ տարածված Ֆուրիեի ինտեգրալի միջոցով ներկայացմամբ: Ինչպես հայտնի է, ցանկացած տատանողական պրոցես կարելի է ներկայացնել մի քանի պարզ տատանումների գումարի՝ **սուպերպոզիցիայի տեսքով**: Մյուս կողմից երկրաշարժագիտության մեջ բոլոր տատանումների ընդունիչները (գործիքները), ինչպես տեսանք 1.5-ում, հանդիսանում են հարմոնիկ տատանողական համակարգեր: Հետևաբար խնդիրը կայանում է նրանում, ինչպես այդ ոչ սկիզբ և ոչ վերջ ունեցող տատանումների սուպերպոզիցիայի միջոցով կառուցել հանկարծակի սկսվող որևէ տատանողական պրոցես՝ երկրաշարժ: Մաթեմատիկական լեզվով դա նշանակում է՝ կառուցել մի ֆունկցիա, որը բավարարի

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{երբ } t < t_0 \\ f(t), & \text{երբ } t \geq t_0 \end{cases} \quad (1.52)$$

Այս խնդիրը լուծվում է Ֆուրիեի թեորեմի համաձայն՝ ընդունելով

$$f(t) = \sum_i A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1.53)$$

որտեղ A_i , ω_i , φ_i ընտրվում են այնպես, որ երբ $t < t_0$ նրանք գումարվեն այնպես, որ ոչնչացնեն իրար, կամ ինչպես ընդունված է ասել՝ «**ինտերֆերենցվեն զրոյի**», իսկ երբ $t \geq t_0$ ներկայացնեն որոնելի տատանումը կամ «**ինտերֆերենցվեն արդյունավետ**»: Անվերջ (1.53) շարքը կարելի է ձևափոխել և ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով՝

$$f(t) = \sum_i A(\omega_i) \varphi(\omega_i, t) \quad (1.54)$$

Այժմ եթե ω_i և $A(\omega_i)$ դիսկրետ արժեքներից անցնենք նրանց անընդհատ արժեքներին, ապա $\Delta\omega$ աճին կհամապատասխանի ΔA աճ և i -ի ամբողջական արժեքներից անցնելով նրա անընդհատ արժեքներին, $\Delta\omega \rightarrow 0$ դեպքում անվերջ փոքր մեծությունների՝ $\frac{\Delta A \Delta \varphi}{\Delta \omega}$ $\Delta\omega$ անվերջ մեծ թվով գումարելիները կփոխարինվեն ինտեգրալով ցանկացած $[\omega_1 \omega_2]$ տիրույթում

$$f(t) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} S(\omega) \varphi(\omega, t) d\omega \quad (1.55)$$

որտեղ

$$S(\omega) = \frac{dA(\omega)}{d\omega} \quad (1.56)$$

կոչվում է $f(t)$ **տատանման սպեկտրալ խտություն**: Շեշտենք, որ այժմ ինտեգրման փոփոխականը հանդիսանում է ω , իսկ t հանդիսանում է պարամետր: Արդյուն-

քում կստանանք t – ից կախված $f(t)$ ֆունկցիան:

Շատ անպարբերական, ոչ ստացիոնար տատանումներ իրենցից ներկայացնում են որոշակի ժամանակից հետո կրկնվող պրոցեսներ: Այդպիսի տատանումների ներկայացումը հարմոնիկ տատանումների սուպերպոզիցիայի ձևով մշակել է Ֆուրիեն: Եթե $f(t)$ ֆունկցիան օժտված է

$$f(t) = f(t \pm nT)$$

հատկությամբ, որտեղ T - կրկնման պարբերությունն է, իսկ n - ամբողջ թիվ, ապա **Ֆուրիեի շարքը** $f(t)$ ֆունկցիայի համար ներկայացվում է

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n \left(a_k \cos k \frac{2\pi}{T} t + b_k \sin k \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (1.57)$$

տեսքով, որտեղ

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(\tau) d\tau, \\ a_k &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(\tau) \cos \frac{k2\pi}{T} \tau d\tau, \end{aligned} \quad (1.58)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(\tau) \sin \frac{k2\pi}{T} \tau d\tau$$

Շատ հաճախ (1.57) ներկայացվում է

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n A_k \cos \left(k \frac{2\pi}{T} t - \varphi_k \right) \quad (1.59)$$

որտեղ

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{b_k}{a_k}$$

կամ նկատի առնելով էյլերի բանաձևերից բխող

$$a_k \cos \frac{k2\pi}{T} t + b_k \sin \frac{k2\pi}{T} t = \frac{a_k - ib_k}{2} e^{ik \frac{2\pi}{T} t} + \frac{a_k + ib_k}{2} e^{-ik \frac{2\pi}{T} t}$$

հավասարությունը, Ֆուրիեի շարքը ներկայացվում է նաև **կոմպլեքս ձևով՝**

$$f(t) = \sum_{k=-n}^n C_k e^{ik \frac{2\pi}{T} t}$$

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(\tau) e^{-ik \frac{2\pi}{T} \tau} d\tau \quad (1.60)$$

Այժմ ընդունենք, որ Ֆուրիեի շարքի կրկնման T պարբերությունը փոփոխական է: Երբ $T \rightarrow \infty$ $f(t)$ արտահայտող (1.57) գումարի մեջ տեղադրելով (1.58) արժեքները և ընդունելով

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \omega_k = k \frac{2\pi}{T}, \quad \omega_k \rightarrow \omega, \quad \Delta\omega \rightarrow d\omega$$

որոշ ձևափոխություններից հետո այն կվերածվի՝

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left\{ \left[\int_{-\infty}^\infty f(\tau) \cos \omega \tau d\tau \right] \cos \omega t + \left[\int_{-\infty}^\infty f(\tau) \sin \omega \tau d\tau \right] \sin \omega t \right\} d\omega =$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty f(\tau) \cos \omega(t - \tau) d\tau d\omega \quad (1.61)$$

Եթե նշանակենք

$$f_c(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^\infty f(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad f_s(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^\infty f(\tau) \sin \omega \tau d\tau$$

$$S(\omega) = \sqrt{f_c^2 + f_s^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi(\omega) = \frac{f_s(\omega)}{f_c(\omega)} \quad (1.62)$$

ապա **Ֆուրիեի ինտեգրալը** կընդունի հետևյալ վերջնական տեսքը՝

$$f(t) = \int_0^\infty S(\omega) \cos[\omega t - \varphi(\omega)] d\omega \quad (1.63)$$

Այս նշանակում է, որ տրված $f(t)$ ոչ ստացիոնար (ժամանակի ընթացքում չկրկնվող) ֆունկցիան Ֆուրիեի ինտեգրալի օգնությամբ կարելի է ներկայացնել անընդհատ փոփոխվող հաճախականությամբ և $S(\omega)d\omega$ անվերջ փոքր ամպլիտուդայով անվերջ մեծ թվով կոսինուսների գումարի տեսքով:

Ֆուրիեի ինտեգրալը նույնպես ներկայացվում է նաև կոմպլեքս տեսքով՝

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right] e^{i\omega t} d\omega \quad (1.64)$$

Միջակ փակագծերի միջի ամրամը կոչվում է կոմպլեքս ամպլիտուդաների սպեկտրալ խտություն՝

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (1.65)$$

հետևաբար՝

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (1.66)$$

Երբեմն (1.64) ներկայացվում է կրկնակի ինտեգրալի տեսքով՝

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) e^{-i\omega(t-\tau)} d\tau d\omega \quad (1.67)$$

Հարթ սեյսմիկ (1.38) ալիքը ընդհանուր դեպքում Ֆուրիեի ինտեգրալի օգնությամբ ներկայացվում է

$$f\left(t - \frac{\xi}{v}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega\left(t - \frac{\xi}{v}\right)} d\omega \quad (1.68)$$

կամ

$$f\left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega\left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v}\right)} d\omega$$

Հարմոնիկ (1.40) ալիքը կներկայացվի

$$u(x, z, t) = A \cos \omega \left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v} \right) = A e^{i\omega \left(t - \frac{x \cos \alpha + z \sin \alpha}{v} \right)} \quad (1.69)$$

փոխարինելով ω/v ալիքային (1.41) k թվով, կունենանք

$$u(\xi, t) = A e^{i(\omega t - k\xi)} \quad (1.70)$$

Այժմ ընդունելով, որ ալիքային k թիվը կոմպլեքս մեծություն է՝ $k = k_1 - ik_2$ և տեղադրելով (1.70) մեջ, կունենանք

$$u(\xi, t) = A e^{i(\omega t - k_1 \xi)} e^{-k_2 \xi} \quad (1.71)$$

Համադրելով (1.71) հավասարումը (1.41), (1.50), (1.51) բանաձևերի հետ, կունենանք

$$k_1 = \omega/v, \quad k_2 = \gamma \quad (1.72)$$

Այսպիսով, հեռավորություններից կախված մարվող ալիքի տարածման կոմպլեքս տեսքը կլինի՝

$$u(\xi, t) = Ae^{i\omega\left(t - \frac{\xi}{v}\right)} e^{-\gamma_2 \xi} \quad (1.73)$$

որտեղ γ - միջավայրի էներգիայի կլանման գործակիցն է: Նշենք, որ ալիքի (1.73) լուծումը համապատասխանում է, այսպես կոչված, առաձգամացուծիկ միջավայրին, որի համար լարման և դեֆորմացիայի կապը համապատասխանաբար երկայնական ու լայնական ալիքների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= (\lambda + 2\mu)\epsilon_{xx} + \eta_{xx} \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial t} \\ \tau_{xz} &= \mu\gamma_{xz} + \eta_{xz} \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial t} \end{aligned} \quad (1.74)$$

որտեղ η_{xx} և η_{xz} մածուցիկության գործակիցներն են ձգման և սահքի դեֆորմացիաների դեպքում: Համապատասխան ալիքային հավասարումները կլինեն՝

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} &= \frac{1}{v_p^2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\gamma_p v_p^2}{\omega_p} \frac{\partial^3 u}{\partial \xi^2 \partial t} \right) \\ \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} &= \frac{1}{v_s^2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{\gamma_s v_s^2}{\omega_s} \frac{\partial^3 v}{\partial \xi^2 \partial t} \right) \end{aligned} \quad (1.75)$$

որտեղ γ_p և γ_s միջավայրի էներգիայի կլանման (1.49) գործակիցներն են համապատասխանաբար նրա երկայնական և սահքի դեֆորմացիաների դեպքում:

1.10 ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱՆԴՐԱԴՐՁՈՒՄԸ ԵՎ ԲԵԿՈՒՄԸ

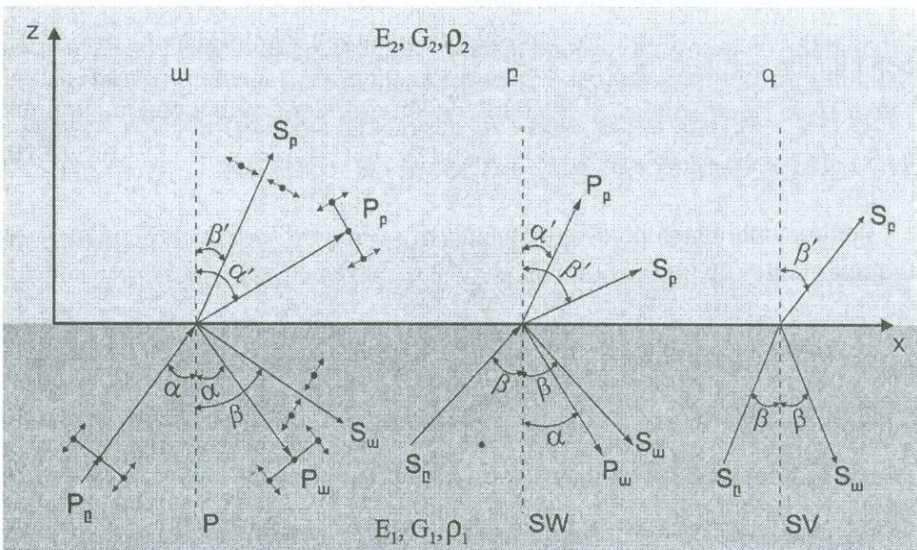
Երկրաշարժագիտության մեջ, ինչպես օպտիկայում, ընդունվում է, որ սեյսմիկ ալիքները տարածվում են ճառագայթի ձևով [44, 47]: Նրանք մի միջավայրից մյուսը անցնելիս անդրադառնում ու բեկվում են հանրահայտ օրինաչափությամբ: Երկու միջավայրերի դեպքում անդրադարձող և բեկվող ալիքները ցույց են տրված նկ. 1.39-ում, որտեղ E_1 , G_1 , ρ_1 և E_2 , G_2 , ρ_2 համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ միջավայրերի առանձգականության, սահքի մոդուլներն են ու խտությունները, α , β , α' , β' , P և S ալիքների անկման ու բեկման անկյունները մորմալի հետ: Անկման և բեկման անկյունների սինուսները ենթարկվում են Սնելլիուսի հայտնի օրինաչափություններին՝

$$\frac{\sin \alpha}{V_{p1}} = \frac{\sin \alpha'}{V_{p2}} = \frac{\sin \beta}{V_{s1}} = \frac{\sin \beta'}{V_{s2}} \quad (1.76)$$

որտեղ V_{p1} , V_{p2} , V_{s1} , V_{s2} P և S ալիքների տարածման արագություններն են 1 և 2 միջավայրերում: Ընդունենք, որ բոլոր ալիքների ճակատները իրենցից ներկայացնում են հարմոնիկ տատանումներ միևնույն ω հաճախությամբ: Այս դեպքում ընկնող P ալիքը (ի տարբերություն (1.38) տեսքի) կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$U_{\text{ը}}^p(x, z, t) = A_{\text{ը}}^p \sin \omega \left(t - \frac{x \sin \alpha + z \cos \alpha}{V_{p1}} \right) \quad (1.77)$$

որտեղ $A_{\text{ը}}^p$ - ընկնող P ալիքի ամպլիտուդան է: P ալիքից անդրադարձած $U_{\text{ա}}^p$ երկայնական, $U_{\text{ա}}^s$ լայնական ու բեկված $U_{\text{բ}}^p$ երկայնական ու $U_{\text{բ}}^s$ լայնական ալիքները նման ձևով կլինեն՝



Նկ. 1.39 Սեյսմիկ ալիքների բեկումը և անդրադարձումը:

$$\begin{cases} U_w^p(x, z, t) = A_w^p \sin \omega \left(t - \frac{x \sin \alpha + z \cos \alpha}{v_{p1}} \right) \\ U_w^s(x, z, t) = B_w^s \sin \omega \left(t - \frac{x \sin \beta + z \cos \beta}{v_{s1}} \right) \\ U_p^p(x, z, t) = A_p^p \sin \omega \left(t - \frac{x \sin \alpha' + z \cos \alpha'}{v_{p2}} \right) \\ U_p^s(x, z, t) = B_p^s \sin \omega \left(t - \frac{x \sin \beta' + z \cos \beta'}{v_{s2}} \right) \end{cases} \quad (1.78)$$

որտեղ A_w^p , B_w^s , A_p^p և B_p^s համապատասխանաբար P և S անդրադարձած և բեկված ալիքների ամպլիտուդներն են: Այժմ խնդիրը կայանում է նրանում, որ ընկնող P ալիքի տրված հայտնի A_0^p ամպլիտուդայի և ընկնման α անկյան մեծություններով գտնել անդրադարձած և բեկված ալիքների A_w^p , B_w^s , A_p^p և B_p^s ամպլիտուդաները և բեկման α' և β' անկյունները: Խնդրի լուծման համար օգտվենք հետևյալ երկու ֆիզիկական պայմաններից՝

1. բոլոր ալիքներով պայմանավորված տեղափոխությունների վեկտորական գումարը երկու միջավայրում պետք է իրար հավասար լինեն, հակառակ դեպքում միջավայրում ճեղք կառաջանա,
2. երկու միջավայրերի խզման գծում ($z=0$) լարումների կոմպոնենտները պետք է իրար հավասար լինեն:

Բավարարելով առաջին պայմանին, տեղափոխությունների վեկտորի պրոեկցիաների համար կունենանք՝

$$\begin{cases} (A_0^p - A_w^p) \cos \alpha + B_w^s \sin \beta + A_p^p \cos \alpha' + B_p^s \sin \beta' = 0 \\ (A_0^p + A_w^p) \sin \alpha + B_w^s \cos \beta + A_p^p \sin \alpha' - B_p^s \cos \beta' = 0 \end{cases} \quad (1.79)$$

Բավարարելով երկրորդ պայմանին ($\sigma_{xx}^1 = \sigma_{xx}^2$, $\tau_{xz}^1 = \tau_{xz}^2$), օգտվելով (1.33) հավասարություններից, կունենանք՝

$$\begin{cases} -(A_0^p + A_w^p) \sin 2\alpha + B_w^s \frac{v_{p1}}{v_{s1}} \cos 2\beta - A_p^p k \left(\frac{v_{s2}}{v_{s1}} \right)^2 \sin 2\alpha' + \\ \quad + B_p^s \left(\frac{v_{s2}}{v_{s1}} \right)^2 \left(\frac{v_{s2}}{v_{s1}} \right) \cos 2\beta' = 0 \\ -(A_0^p - A_w^p) \cos 2\beta + B_w^s \frac{v_{s1}}{v_{p1}} \sin 2\beta + A_p^p k \frac{v_{p2}}{v_{p1}} \cos 2\beta' + \\ \quad + B_p^s k \frac{v_{s2}}{v_{s1}} \sin 2\beta' = 0 \end{cases} \quad (1.80)$$

որտեղ k -ով նշանակված է

$$k = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Ստացված չորս (1.78) և (1.79) հավասարումներին ավելացնելով (1.76) երեք հավասարումները, տրված A_ω^p և α -ի դեպքում 7 հավասարումների համակարգից կստանանք 7 անհայտները՝ A_ω^p , A_p^p , B_ω^s , B_p^s , α' , β , β' : Նման ձևով ընկնող SW ալիքի համար կունենանք՝

$$\left\{ \begin{aligned} (B_\omega^s + B_\omega^s) \sin \beta - A_\omega^p \cos \alpha + A_p^p \cos \alpha' + B_p^s \sin \beta' &= 0 \\ (B_\omega^s - B_\omega^s) \cos \beta + A_\omega^p \sin \alpha - A_p^p \sin \alpha' + B_p^s \cos \beta' &= 0 \\ (B_\omega^s + B_\omega^s) \cos 2\beta - A_\omega^p \frac{V_{s1}}{V_{p1}} \sin 2\alpha + A_p^p k \left(\frac{V_{s1}}{V_{s1} V_{p2}} \right)^2 \sin 2\alpha' - \\ &\quad - B_p^s k \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \cos 2\beta' = 0 \\ - (B_\omega^s - B_\omega^s) \sin 2\beta + A_\omega^p \frac{V_{p1}}{V_{s1}} \cos 2\alpha + A_p^p k \frac{V_{p2}}{V_{s1}} \cos 2\alpha' - \\ &\quad - B_p^s k \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \sin 2\beta' = 0 \end{aligned} \right. \quad (1.81)$$

Հորիզոնական SV ընկնող ալիքից առաջանում են միայն երկու՝ անդրադարձվող ու բեկվող S ալիքներ (նկ. 1.26գ), որոնց առաջացրած տեղափոխությունները ուղղահայաց են xz հարթությանը: Հետևաբար, բոլոր ալիքներով պայմանավորված տեղափոխությունների վեկտորի գումարի զրո լինելու պայմանը կտա՝

$$B_\omega^s - B_\omega^s + B_p^s = 0 \quad (1.82)$$

Նման ձևով շոշափող լարումների $\tau_{yz} = \mu \frac{\partial v}{\partial z}$ հավասարության $\tau_{zy1} = \tau_{zy2}$ պայմանը բոլոր երեք ալիքների համար $z=0$ դեպքում կտա՝

$$B_\omega^s - B_\omega^s + k B_p^s \frac{V_{s2}}{V_{s1}} \frac{\cos \beta'}{\cos \beta} = 0 \quad (1.84)$$

Ստացված երկու հավասարումներին ավելացնելով ևս մեկ հավասարում (1.76)-ից կորոշվեն անհայտ անդրադարձված և բեկված S ալիքի B_ω^s և B_p^s ամպլիտուդաները և բեկման β' անկյունը:

1.11 ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԸ

Այժմ քննարկենք սեյսմիկ ալիքների տարածման մասնավոր դեպք, երբ սեյսմիկ ալիքները տարածվում են երկու միջավայրում [47], որից մեկը հանդիսանում է երկիրը, իսկ մյուսը՝ մթնոլորտը (նկ. 1.40): Քանի որ օդի խտությունը զգալի փոքր է երկրի խտության հետ համեմատած, ապա այն կարելի է ընդունել հավասար զրոյի: Այդ պատճառով $z=0$ գծով լարումներ չեն առաջանա, և կոնենմանք $\sigma_{zz}=0$, $\tau_{xz}=0$, $\tau_{zy}=0$: Այս դեպքում բոլոր բեկվող ալիքները հավասար կլինեն զրոյի: Ընկնող երկայնական P_{θ} -ից կանդրադառնան P_{ω} և S_{ω} ալիքները, ընկնող լայնական SW ալիքից կանդրադառնան մույնպես P_{ω} և S_{ω} ալիքները, իսկ ընկնող լայնական SV ալիքից միայն S_{ω} ալիքը: Օգտվելով (1.78) - (1.83) հավասարումներից, համապատասխանաբար կունենանք՝

1. P ընկնող ալիքի դեպքում

$$\begin{cases} A_{\omega}^p = \frac{4\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} - (d^2 - 2)^2}{4\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} + (d^2 - 2)^2} A_{\theta}^p \\ B_{\omega}^s = \frac{4\sqrt{c^2 d^2 - 1}(d^2 - 2)}{4\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} + (d^2 - 2)^2} A_{\theta}^p \end{cases} \quad (1.85)$$

$$\text{որտեղ } d = \frac{1}{\sin \beta}, \quad cd = \frac{1}{\sin \alpha}:$$

Եթե $\alpha \rightarrow 0$, ապա $\beta > 0$ և անցնելով սահմանին կունենանք $A_{\omega}^p = -A_{\theta}^p$, $B_{\omega}^s = 0$, որը հաստատում է այն հայտնի դրույթը, որ ուղղաձիգ ընկնող P լայնական ալիքից ընդլայնական S ալիքներ չեն անդրադառնում, իսկ անդրադարձ երկայնական ալիքի ամպլիտուդը հավասար է ընկնող ալիքի ամպլիտուդին հակառակ նշանով:

2. SW ընկնող ալիքի դեպքում

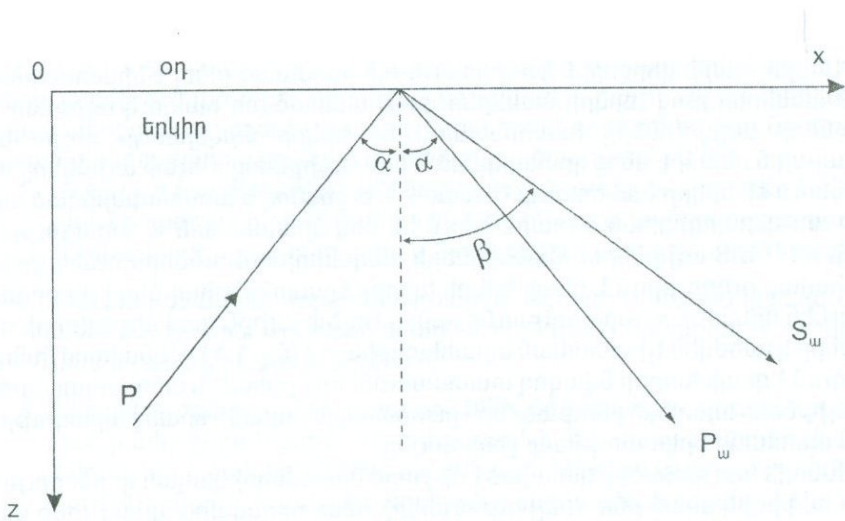
$$\begin{cases} A_{\omega}^p = -\frac{4\sqrt{d^2 - 1}(d^2 - 2)}{\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} + (d^2 - 2)^2} B_{\theta}^s \\ B_{\omega}^s = \frac{4\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} - (d^2 - 2)^2}{4\sqrt{d^2 - 1}\sqrt{c^2 d^2 - 1} + (d^2 - 2)^2} B_{\theta}^s \end{cases} \quad (1.86)$$

Այս դեպքում մույնպես, երբ $\beta \rightarrow 0$ $B_{\omega}^s = -B_{\theta}^s$, $A_{\omega}^p = 0$ և մակերևույթի մասնիկների տատանումների ամպլիտուդան հավասար է ընկնող ալիքի ամպլիտուդայի կրկնապատիկին:

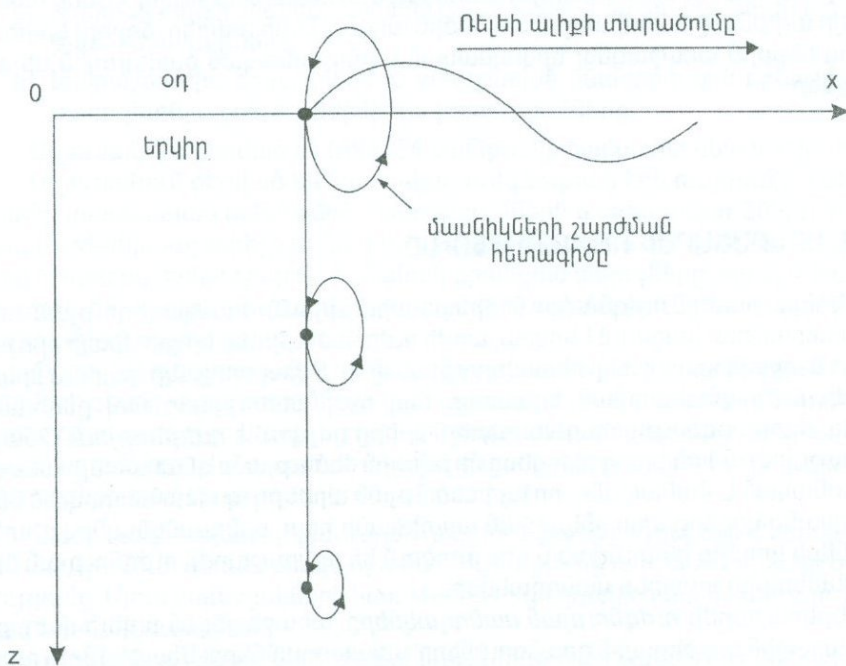
3. SV ընկնող ալիքի դեպքում, ամեն ինչ ավելի պարզ է

$$B_{\omega}^s = B_{\theta}^s \quad (1.87)$$

անկախ անկման β անկյան մեծությունից:



Նկ. 1.40 Երկրի մակերևույթից P ալիքի անդրադարձումը:



Նկ. 1.41 Ռելեի ալիքների տարածությունը [47]:

Անցյալ դարի վերջերին ֆիզիկոս Ռեյեյը հայտնագործել է կիսատարածության մակերևութով (երկրի մակերևութով) տարածվող հատուկ ալիքներ: Այդ ալիքների աղբյուրները հանդիսանում են երկրի մակերևութի դուրս եկող ծավալային սեյսմիկ վերը դիտարկված P և SV ալիքները: Ռեյեյի ալիքները հանդիսանում են երկրի մակերևութի հասած P և S ընկնող և անդրադարձված ալիքների սուպերպոզիցիան և տարածվում են մեկ միասնական v_L արագությամբ: Քանի որ P և S ալիքներով մասնիկների տեղափոխություններն ունեն փոխուղահայաց ուղղություն և դեպի երկրի խորքը էքսպոնենցիալ ձևով փոքրանում են, ունեն միևնույն v_L արագությունը, ապա Ռեյեյի ալիքներով միջավայրի մասնիկները կշարժվեն էլիպտական տրաեկտորիայով (Նկ. 1.41): Այսպիսով, խնդիրը հանգում է դեպի խորքը նվազող տատանումներով ընկած և անդրադարձած P և SV ալիքների այնպիսի բնութագրերի ընտրմանը, որպեսզի նրանց արագությունը $z = 0$ սահմանի երկայնությամբ լինի նույնը:

Խնդրի այս դրվածքը կապված է մի շարք մաթեմատիկական գործողությունների ու ֆիզիկական ընդունելիությունների հետ, որոնց վրա կանգ չենք առնի: Հետաքրքրվողներին խորհուրդ ենք տալիս դիմել Ե. Սավարենսկու աշխատությանը [47]: Նշենք միայն, որ արդյունքում ընդունելով $v_p = \sqrt{3}v_s$, ստացվում է, որ $v_L = 0.9194v_s$, իսկ երկրի մակերևութի վրայով մասնիկների շարժման տրաեկտորիայի՝ էլիպսի ուղղածիզ և հորիզոնական կիսաառանցքների հարաբերությունը ստացվում է հավասար 1.46, ընդ որում ալիքի տարածման v_L արագությունը կախված չէ մասնիկների տատանման ω հաճախությունից: Նշենք նաև, որ Ռեյեյի ալիքները հանդիպելով առանձին արգելքների (սարեր, ձորեր) կարող են իրենց հերթին առաջացնել երկայնական և ընդլայնական ծավալային սեյսմիկ ալիքներ:

1.12 ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՈՒԺԳՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Երկրաշարժի ուժգնություն (ինտենսիվություն) հասկացողության տակ սովորաբար հասկացվում է երկրաշարժի ուժի մեծությունը երկրի վրայի որոշակի տեղում, օջախից որոշակի հեռավորության վրա: Տվյալ որոշակի վայրում երկրաշարժի ուժի գնահատման եղանակը այդ ուժի մեծությանը մեկ ընդհանուր պարամետրի օգնությամբ գնահատելն է, որը կոչվում է **ուժգնություն**: Չնայած երկրաշարժի նման բարդ պրոցեսը մի թվային մեծությամբ գնահատելը անտրամաբանական է, մասնավորապես, որ այդ մեծության արժեքը պայմանավորվում է նաև մարդկանց կողմից նրա ընկալման աստիճանի հետ, այնուամենայնիվ գիտնականների կողմից ընդունված և դեռ գործում են երկրաշարժի ուժգնության միապարամետրյա տարբեր սանդղակներ:

Երկրաշարժի **ուժգնության սանդղակները**, առաջացել են ավելի վաղ, քան նրա առաջին գործիքային գրանցումները՝ սեյսմոգրամները: Սկսած 18-րդ դարից երևան եկան երկրաշարժի ուժի գնահատման մոտ 50 զանազան սանդղակներ, որոնք հիմնվում էին երկրաշարժի հետևանքների մարդկանց ընկալումների, շրջապատի ռելիեֆի փոփոխությունների և շենքերի ու կառուցվածքների վնաս-

վածքների և ավերվածությունների աստիճանի վրա: Մի շարք երկրներում, որպես երկրաշարժի ուժգնության միավոր, ընդունվում է **բալը** (ֆրանսիական ball-գնդակ բառից): Ներկայումս տարբեր երկրներում գործում են ուժգնության զանազան սանդղակներ: Դրանցից ամենատարածվածը երեքն են՝

1. **Մերկալի բարեփոխված MM սանդղակը** մշակվել և ընդունվել է 1931թ. և լայն կիրառում է գտել Զյուսիսային Ամերիկայում: Սանդղակը բաղկացած է 12 միավորից - բալերից, որոնք նշանակվում են հռոմեական տառերով:
2. **Ճապոնական JMA** (Japan Meteorological Agensty) սանդղակը ընդունված է 1949 թվականին: Այն բաղկացած է 8 միավորից՝ ներառյալ 0, որոնք նշանակվում են արաբական թվերով:
3. **Սեյսմիկ ուժգնության միջազգային MSK-64** (Medvedev, Sponheuer, Karnik) սանդղակը ընդունված է 1964 թվականին և մեծ տարածում ունի Արևելյան Եվրոպայի և նախկին ԽՍՀՄ երկրներում: MSK-64 սանդղակը հանդիսանում է Մերկալի, Կանկանի-Ջիբերգի սանդղակների բարեփոխված տարբերակ: Սանդղակը բաղկացած է 12 միավորից, ինչպես MM սանդղակը:

MSK-64 սանդղակը, որը համարվում է ամենակատարելագործվածը, հիմնվում է հետևյալ 3 չափանիշների վրա՝

- ա) երկրաշարժի՝ մարդկանց զգացողության և թեթև առարկաների վրա նրա ազդեցության հետևանքները,
- բ) տարբեր տիպի շենքերի և կառուցվածքների վրա երկրաշարժի ազդեցության հետևանքները,
- գ) երկրաշարժից գրունտներում առաջացած մնացորդային երևույթները և ստորգետնյա ջրերի ռեժիմի փոփոխությունները:

Աղյուսակ 1.3 բերված են MSK-64 սանդղակի համառոտ նկարագրությունը:

Աղյուսակում բերված են նաև տվյալ ուժգնության երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանման ամենամեծ արագացումների և արագությունների, ինչպես նաև СБМ-սեյսմաչափիչի (0.25 վրկ. պարբերությամբ և 0.5 մարման դեկրեմենտով ճոճանակ) երկրաշարժի ժամանակ գրանցած տվյալները, որոնք հնարավորություն են տալիս գնահատել երկրաշարժի ուժգնությունը նաև գործիքային չափումների օգնությամբ:

Փոքր, I-V ուժգնության, և մասնավոր շատ ուժեղ, X-XII ուժգնության երկրաշարժերը գետնի արագացումների կամ արագությունների մեծությունների օգնությամբ գնահատելը չափազանց դժվար խնդիր է և կարող է բերել մեծ սխալների և աղավաղումների: Այդ պատճառով նրանց արժեքները նշված ուժգնության երկրաշարժերի համար աղյուսակում չեն բերվում:

Ցածր ուժգնության երկրաշարժի դեպքում, քանի որ շենքերի վնասվածքներ չեն առաջանում, մնում է միայն նրանց ուժգնությունը որոշել մարդկանց զգացողությամբ: Մյուս սանդղակների հետ MSK-64 սանդղակի համեմատությունը բերված է 1.4 աղյուսակում:

Բոլոր սեյսմիկ սանդղակների հիմնական թերությունը կայանում է նաև նրանում, որ առանձին երկրաշարժերի գնահատման ժամանակ օգտագործվում է սանդղակի այն մասի տվյալները, որոնք նպատակահարմար են լինում տվյալ գնահատողի համար: Ճապոնական սանդղակի I_J և MSK կամ MM սանդղակի I_M

Աղյուսակ 1.3 Սեյսմիկ ուժգնության MSK-64 սանդղակը

Երկրաշարժի ուժգնությունը բալներով	Երկրաշարժի անվանումը	Երկրաշարժի համառոտ բնութագիրը	Գետնի ամենամեծ արագացումը սմ/վրկ ²	Գետնի ամենամեծ արագություն (սմ/վրկ)	СБМ սեյսմոմետրի ճոճմանակի շեղման չափը (մմ)
I	Անզգալի երկրաշարժ	Գետնի տատանումները բացահայտվում են միայն գործիքների կողմից:			
II	Հազիվ զգալի երկրաշարժ	Առանձին դեպքերում զգացվում են մարդկանց կողմից, որոնք գտնվում են հանգիստ վիճակում:			
III	Թույլ երկրաշարժ	Տատանումները զգացվում են ոչ շատ մարդկանց կողմից՝ որոշ դեպքերում չզգալով, որ դա երկրաշարժ է:			
IV	Նկատելի երկրաշարժ	Երկրաշարժը զգացվում է շատ մարդկանց կողմից: Հնարավոր է ապակիների զնգզնգոց:			
V	Արթնացում	Քնած մարդկանցից շատերը արթնանում են, կախված առարկաները տատանվում են:	12 - 25	1 – 2	0.5 - 1.0
VI	Վախ	Թեթև վնասվածքներ շենքերում, բարակ ճեղքեր սվաղի մեջ: Շենքերում գտնվող մարդիկ վախից փախչում են փողոց:	25 - 50	2.1 - 4	1.1 - 2.0
VII	Շենքերի վնասվածքներ	Ճեղքեր սվաղի մեջ և առանձին կտորների պոկումներ, բարակ ճեղքվածքներ պատերի մեջ: Բոլոր մարդիկ վախեցած են և դուրս են թռչում շենքերից՝ հազիվ կանգնելով գետնի վրա:	50 - 100	4.1 - 8	2.1 - 4.0
VIII	Շենքերի ուժեղ վնասվածքներ	Խոշոր ճեղքեր պատերում, քիվերը և ծխնելույզները թափվում են: Վախ և իրարանցում: Անհանգստացած են վարորդները: Ծառերի ճյուղերը պոկվում են:	100 - 200	8.1 - 16	4.1 - 8.1

Աղյուսակ 1.3 (շարունակություն)

IX	Շենքերի համատարած վնասվածքներ	Որոշ շենքերում փլուզումներ, քանդվում են պատերը, ծածկերը, տանիքները: Համատարած խուճապ: Կենդանիները ցատկոտում են ու հառաչում:	200 - 400	16.1 - 32	8.1 – 16
X	Շենքերի համատարած փլուզումներ	Շատ շենքերում փլուզումներ: ճեղքվածքներ գետնի վրա մինչև 1մ լայնությամբ: Երկաթգծերի շեղում, գետնի ալիքաձև տեսքի ընդունում, սողանքների առաջացում, ջրային շատրվանների և լճերի առաջացում:	400 - 800	32.1 - 64	16.1 - 32
XI	Աղետ	Կամուրջների, ամբարտակների, ստորգետնյա խողովակաշարերի ուժեղ վնասվածքներ և փլուզումներ բազմաթիվ լեռնային փլվածքներ:			
XII	Ռեկիլինգի փոփոխություններ	Վերգետնյա և ստորգետնյա կառուցվածքների համատարած փլուզումներ: Երկրի մակերևույթի արմատական փոփոխություններ, նոր լճերի, ջրվեժների առաջացում: Գետերի հունի փոփոխում:			

Աղյուսակ 1.4

Սանդղակներ				
MSK-64	MM-31	JMA-49	Ռուսի-Ֆորելի 1883	Մերկալի Կանկանի Ձիբերգ1917
I	I	0	I	I
II	II	1	II	II
III	III	2	III	III
IV	IV	2+3	IV	IV
V	V	3	V-VI	V
VI	VI	4	VII	VI
VII	VII	4-5	VIII	VII
VIII	VIII	5	IX	VIII
IX	IX	6	X	IX
X	X	6	X	X
XI	XI	7	X	XI
XII	XII	7	X	XII

միջև գոյություն ունի հետևյալ մոտավոր կապը՝

$$I_M = 1.5 I_J + 0.5 \quad (1.88)$$

Ռիխտերը MM սանդղակի I ուժգնության և գետնի a արագացումների միջև, ինչպես ավելի վաղ նկատել է նաև Կանային, հենվելով Կալիֆոռնիայում գրանցված երկրաշարժերի սեյսմոգրամների տվյալների վրա, ստացել է հետևյալ էմպիրիկ կապը՝

$$\lg a = \frac{I}{3} - \frac{1}{2} \quad (1.89)$$

որտեղ a տրվում է սմ/վրկ²-ով, իսկ I -բալերով: Ըստ այս բանաձևի (ինչպես ցույց է տալիս Ռիխտերը [44]) կարելի է ստանալ երկու հետաքրքիր սահմանային տվյալներ: Այսպես, եթե ընդունենք

$$I = 1 \frac{1}{2},$$

ապա կունենանք $\lg a = 0$, և $a = 1$ սմ/վրկ² այսինքն երկրաշարժի նշմարելի սահմանի (I և II բալերի միջև) արագացումը $= 1$ սմ/վրկ², որը, ինչպես ցույց են տալիս զանազան հետազոտությունները, իսկապես հանդիսանում է արագացման՝

մարդու կողմից ընկալման ամենացածր շեմը: Իսկ, եթե ընդունենք $I = 7 \frac{1}{2}$, ապա

$\lg a = 2$, կամ $a = 100$ սմ/վրկ², որը համապատասխանում է VII բալի ժամանակ ընդունվող արագացման մեծությանը: Այս արագացման դեպքում առանց հակասեյսմիկ միջոցառումների, շենքերում արդեն առաջանում են վնասվածքներ: Սակայն մեկ ց արագացում՝ $a = 1000$ սմ/վրկ² (1.89) բանաձևով ստացվում է, եթե ընդունենք $I = 10.5$, որը, ինչպես նշում է Ռիխտերը, շատ ցածր ուժգնություն է գետնի այդպիսի արագացման համար:

Ակնհայտ է, որ երկրաշարժի ուժգնության ամենամեծ արժեքը պիտի ստացվի էպիկենտրոնային շրջանում: Սովորաբար այդպես էլ լինում է, երբ երկրաշարժի օջախը չի գտնվում օվկիանոսի հատակում: Էպիկենտրոնից հեռանալով երկրաշարժի ուժգնությունը նվազում է: Նվազման աստիճանը որոշելու համար երկրաշարժի թողած հետևանքների տվյալների հիման վրա կառուցում են երկրաշարժի այսպես կոչված **իզոսեյստերը** - էպիկենտրոնից միևնույն ուժգնության մակերեսները փակ կորերով: Իզոսեյստերը հազվադեպ են լինում շրջանագծեր: Սովորաբար, եթե նրանք կառուցվում են միևնույն կարծր գրունտային պայմանների վրա գտնվող շենքերի վնասվածքների աստիճանով, ունենում են էլիպսի տեսք՝ ձգված օջախի երկարության ուղղությամբ: Իսկ իրականում իզոսեյստերը ունենում են չափազանց անհամաչափ բնույթ (նկ. 1.42):

Դիտարկումները ցույց են տալիս, որ էպիկենտրոնային հեռավորության կրկնակի աճի դեպքում երկրաշարժի ուժգնությունը նվազում է 1 միավորով: Բայց ուժգնության նվազումը կախված է նաև օջախի խորությունից: Ինչքան օջախը մոտ է երկրի մակերևույթին, այնքան ուժգնությունը էպիկենտրոնից հեռանալով արագ է նվազում: Այստեղից կարևոր եզրակացություն՝ ինչքան խիտ են իզոսեյստերը, այնքան օջախը մոտ է երկրի մակերևույթին: Բայց քանի որ իզոսեյստերը կառուցվում է ուժգնության սանդղակների նկարագրական մասի

տվյալներով և շատ դեպքերում առանց գրունտային պայմանների ճշգրիտ տվյալների առկայության, նրանք տառապում են ուժգնության սանդղակների վերը նշված թերություններով, և այդպես իրականում և պատահական չէ, որ միևնույն երկրաշարժի իզոսեյստերը կառուցված տարբեր մասնագետների կողմից հաճախ զգալի տարբերվում են իրարից:



Սկ. 1.42
Զինաստանի 1920
թվականի երկրաշարժի
իզոսեյստերը [12]
ուժգնությունը ցույց է
տրված հռոմեական
տառերով, սլաքներով
նշված են առաջինը
զգացող շարժումների
ուղղությունները:

1.13 ԵՐԿՐԱՇԱՐՇԻ ՄԱԳՆԻՏՈՒԴԸ ԵՎ ԷՆԵՐԳԻԱՆ. ՌԻՍԿՏԵՐԻ ՍԱՆԴՂԱԿԸ

Վերը քննարկված երկրաշարժի ուժգնության գաղափարը բնութագրում է երկրաշարժի թողած ազդեցության չափը տվյալ վայրում, ոչինչ չի տալիս ամբողջությամբ վերցրած երկրաշարժի ուժի մասին: Երկրաշարժի ուժի մասին դատում են տուժված շրջանների մակերեսների մեծությամբ՝ ինչքան մեծ շառավղով տարածքներ են տուժվում, այնքան տվյալ երկրաշարժը դասվում է ավելի ուժեղների դասին: Մյուս կողմից, ինչպես երևում է աղյուսակ 1.3 բերված ուժգնության բնութագրերից, երկրաշարժի ուժը շատ դեպքերում պայմանավորված է մարդկանց զգացողության աստիճանով: Երկրաշարժերի այսպիսի դասակարգումը նախ չունի քանակական չափանիշներ, և մյուս կողմից, քանի որ վնասված տարածքների մեծությունները խիստ կախված են երկրաշարժի օջախի խորությունից, վնասված կառույցների էպիկենտրոնից ունեցած հեռավորությունից, և տեղի ինժեներա-երկրաբանական պայմաններից, ապա այն կարող է բերել կոպիտ սխալ-

ների: Այսպիսով, անհրաժեշտություն էր դառնել երկրաշարժի ուժը գնահատել մի որևէ անկախ, գործիքով չափման ենթակա, պարամետրի օգնությամբ: Այսպես ծագեց երկրաշարժի մագնիտուդի գաղափարը: Երկրաշարժի մագնիտուդը դա երկրաշարժի ժամանակ գետնի մասնիկների տեղափոխության մեծության միջոցով երկրաշարժի ուժի գնահատման չափն է: Լատիներեն *magnitude* - թարգմանաբար նշանակում է «մեծություն»: Փաստորեն երկրաշարժի մագնիտուդ ասելով պետք է հասկանալ նրա մեծությունը. ինչքան մեծ է երկրաշարժի ժամանակ գետնի մասնիկների տեղափոխությունների աստիճանը, այնքան մեծ է մագնիտուդը, այսինքն այնքան մեծ է ինքը՝ երկրաշարժը:

Շատ գիտնականներ են մասնակցել երկրաշարժի մագնիտուդի գաղափարի ստեղծմանը, բայց այն ամիջապես կառուցել ու առաջարկել է Կալիֆոռնիայի տեխնոլոգիական ինստիտուտի (Պասադենա) պրոֆեսոր Չարլզ Ռիխտերը 1935թ. [44]:

Քանի որ երկրաշարժի էպիկենտրոնից հեռանալով գետնի տեղափոխությունների մեծությունները փոքրանում են, ապա պետք էր ընտրել մի որևէ հեռավորություն բոլոր երկրաշարժերի համար որպես չափման միավոր: Ռիխտերը այդ հեռավորությունը ընդունեց 100 կմ: Մյուս կողմից՝ միջև անգամ միևնույն հեռավորության վրա գտնվող տարբեր ինժեներա-երկրաբանական բնութագրերով տեղամասերի գետնի տեղափոխությունների մեծությունները զգալի տարբերվում են իրարից, և կարող են գրանցվել տարբեր սեյսմոգրաֆներով: Ռիխտերը ընտրել է այն տարիներին լայն տարածում ստացած Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆը, որը պետք է տեղադրված լինի կարծր գրունտի վրա: Այս սեյսմոգրաֆի ճոճանակը ունի ազատ տատանման 0.8 վրկ. պարբերություն: Նրա մարման գործակիցը $h=0.8$, իսկ խոշորացման ցուցանիշը հավասար է 2800-ի (գետնի իրական տեղափոխության արժեքը գրանցված ժապավենի վրա մեծացվում է 2800 անգամ): Ահա ինչպես է բնութագրել մագնիտուդը ինքը Ռիխտերը՝ *«Որևէ հարվածի մագնիտուդը որոշվում է որպես այդ հարվածի ժամանակ էպիկենտրոնից 100 կմ հեռավորության վրա գտնվող Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆի գրանցած պատկերի վրայի, ամենամեծ, միկրոններով արտահայտված, շեղման տասնորդական լուգարիթմը»*:

Այսպիսով, երկրաշարժի մագնիտուդը, որը նշանակվում է M տառով, կլինի՝

$$M = \log y \quad (1.91)$$

որտեղ y -ն երկրաշարժի էպիկենտրոնից 100 կմ հեռավորության վրա (կարծր գրունտային պայմաններ ունեցող տեղանքում տեղակայված) Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆի գրանցած պատկերի ամենամեծ ամպլիտուդայի մեծությունն է չափված միկրոններով: Եթե Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆի երկրաշարժի գրանցած պատկերի վրայի ամենամեծ տեղափոխության չափը հավասար է 1 միկրոնի (1 միկրոնը = 0.001 միլիմետրի), ապա այդ երկրաշարժի մագնիտուդն ընդունվում է հավասար $M = \log 1 = 0$, սակայն սա չի նշանակում, որ երկրաշարժ չի եղել, ուղղակի այն շատ թույլ էր: Իսկ եթե երկրաշարժը գրանցած սեյսմոգրամի պատկերի վրայի ամենամեծ տեղափոխության չափը հավասար է 10 միկրոնի, ապա այդպիսի երկրաշարժի մագնիտուդը հավասար է $M = \log 10 = 1$: Այսպիսով, իրականում $M=1$ մագնիտուդ կունենա այն երկրաշարժը, որի ժամանակ էպիկենտրոնից 100 կմ հեռավորության վրա գետնի իրական տեղափոխու-

թյունը կլինի՝

$$y_0 = \frac{10}{2800} = 0.00357 \text{ միկրոն}$$

Գետնի մասնիկների իրական տեղափոխությունների մեծությունները 100 կմ էպիկենտրոնային հեռավորության վրա, տարբեր մագնիտուդի երկրաշարժի ժամանակ, բերված են աղյուսակ 1.5-ում:

Ելնելով մագնիտուդայի վերոհիշյալ բնութագրից, կարելի է նկատել, որ այն, ի զարմանս, կարող է ունենալ նաև բացասական արժեքներ: Այսպես, եթե Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆի 100 կմ հեռավորության վրա գրանցած երկրաշարժի պատկերի վրա տեղափոխության ամենամեծ արժեքը հավասար է 0.1 միկրոնի, ապա այդպիսի երկրաշարժի մագնիտուդը կլինի՝

$$M = \log 0.1 = \log \frac{1}{10} = \log 1 - \log 10 = -1$$

Այս դեպքում գետնի իսկական տեղափոխությունը կլինի՝

$$\frac{0.1}{2800} = 0.0000357 \text{ միկրոն}$$

Իհարկե այսպիսի տեղափոխության գրանցումը շատ դժվարին գործ է, այն պահանջում է մեծ խոշորացնող սարքավորումներով սեյսմոգրաֆների ստեղծում: Ժամանակակից գերզգայուն սեյսմոգրաֆները ընդունակ են գրանցել մինչև $M = -3$ մագնիտուդ ունեցող երկրաշարժեր:

Ամենաթույլ երկրաշարժը, որը զգացվում է մարդկանց կողմից, ունենում է $M = 1.5$ մագնիտուդ, իսկ $M = 4.5$ և ավելի մագնիտուդ ունեցող երկրաշարժերն արդեն առաջացնում են ավերումներ:

Ռիստերի սանդղակը (եթե այն առհասարակ կարելի է սանդղակ անվանել) վերին սահման չունի: Դրա համար նրան հաճախ անվանում են «բաց» սանդղակ, քանի որ ոչ ոք չի կարող հաշվարկել, թե երբ և ինչ ուժի կլինի ամենաուժեղ երկրաշարժը: Երևի նույնը կարելի է ասել նաև ներքևի սահմանի մասին, քանի որ ժամանակի ընթացքում կստեղծվեն գերզգայուն սեյսմոգրաֆներ ամենաթույլ երկրաշարժերը գրանցելու համար: Ամենաուժեղ երկրաշարժը, որը գրանցվել է մինչ այսօր երկրի վրա, ունեցել է $M = 8.9$ մագնիտուդ: Երկրաշարժերի գործիքային գրանցումների սկզբնաշրջանից հայտնի են այդպիսի ուժի երկու երկրաշարժ, որոնք երկուսն էլ տեղի են ունեցել օվկիանոսի տակ, սուբդուկցիայի գոտում: Առաջինը տեղի է ունեցել 1906թ. Էկվադորի ափերում, իսկ երկրորդը՝ 1933թ. Ճապոնական ափերում: Գուցե մեր երկրագունդը ընդունակ չէ ավելի ուժեղ երկրաշարժերի՝ ժամանակը կտա այս հարցի պատասխանը:

Ակնհայտ է, որ եթե գետնի տեղափոխությունը 100 կմ հեռավորության վրա գրանցված է ոչ թե Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆով, այլ ցանկացած որևէ այլ սեյսմոգրաֆի օգնությամբ, ապա երկրաշարժի մագնիտուդայի մեծությունը կլինի՝

$$M = \log 2800 y_0$$

որտեղ y_0 -ը գետնի իրական տեղափոխության ամենամեծ արժեքն է (ոչ թե

գրանցման պատկերի վրայի) միկրոններով:

Այսպես, 1988թ. Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Հայսենյան զոնի ինժեներա-սեյսմափիչ N5 կայանի նկուղային հարկում տեղակայված CM-5 գրանցող սարքի օգնությամբ ստացված սեյսմոգրամից որոշված գետնի տեղափոխության մեծությունը հասել է (տես նկ.3.19) 3.5մ կամ 3500 միկրոնի: Հետևաբար, եթե Սպիտակ-Երևան հեռավորությունը ընդունենք մոտ 100կմ, ապա Սպիտակի երկրաշարժի մագնիտուդը մոտավորապես կլինի հավասար $M = \log 2800 \cdot 3500 \approx \log 10^7 = 7$, որը հաստատվել է աշխարհի շատ սեյսմիկ կայանների տվյալներով:

Եթե սեյսմոգրաֆը տեղակայված է էպիկենտրոնից ոչ թե 100կմ հեռավորության վրա, այլ կամայական Δ , ապա մագնիտուդի արժեքը կարելի է որոշել հետևյալ մոտավոր բանաձևով՝

$$M = \log 2800 y_0 - 1.73 \log \frac{100}{\Delta} \quad (1.92)$$

երբ $\Delta > 100$ (1.92) արտահայտության երկու անդամները գումարվում են (մագնիտուդը մեծանում է), իսկ երբ $\Delta < 100$ -ը ընդհակառակը, իրարից հանվում են (մագնիտուդը փոքրանում է):

Երկրաշարժի մագնիտուդի վերը նշված եղանակը կիրառվում է հիմնականում ոչ մեծ խորության օջախների (որոնց դեպքում էպիկենտրոնային և ֆոկալ հեռավորությունները հավասար են) և մինչև 600կմ էպիկենտրոնային հեռավորության երկրաշարժերի դեպքում: Ավելի մեծ էպիկենտրոնային հեռավորության դեպքում (600-2000 կմ) Գուտենբերգը և Ռիխտերը առաջարկել են մոր սանդղակ (M -ի փոխարեն m), որոնց միջև հաստատվել են հետևյալ կապը՝

$$m = 2.5 + 0.63M \quad (1.93)$$

երբ $M > 6.75$, $m < M$, իսկ երբ $M < 6.75$, $m > M$:

Երկու մագնիտուդները 6.75 մեծության դեպքում իրար հավասար են՝

$$m = M = 6.75$$

Նույն հեղինակների կողմից մշակվել է նաև շատ մեծ խորության երկրաշարժերի ուժի գնահատման մագնիտուդների սանդղակ:

Վերը բերված բոլոր դատողությունները ու բանաձևերը, չնայած իրենց պարզության պրակտիկ կիրառման պարագայում, բերում են մի շարք բարդությունների և անորոշությունների՝ կապված, ինչպես տվյալ գրանցված արդյունքների համադրմանը Վուդ-Անդերսոնի սեյսմոգրաֆի տվյալների հետ, գրանցված սեյսմոգրամի վրա P, S և L ալիքների առաջին մուտքի ժամանման պահերի սևեռման, այնպես էլ գրանցման տեղի ինժեներաերկրաբանական պայմանների հետ: Այդ իսկ պատճառով, բոլոր սեյսմիկ կայաններն ունեն իրենց շտկիչ բանաձևերը, որոնց հիման վրա որոշում են երկրաշարժի մագնիտուդը: Այդ բանաձևերը հաշվի են առնում ինչպես էպիկենտրոնային հեռավորության մեծությունը և ալիքների ճակատի անկման անկյունը, այնպես էլ օջախի խորությունը և կայանի ինժեներաերկրաբանական պայմանները: Բոլոր հաշվարկները կատարվում են հաշվիչ մեքենաների օգնությամբ, կամ հատուկ նոմոգրամների օգտագործմամբ (նկ. 1.43): Չնայած այս բոլորին, երկրաշարժի երևույթի չափազանց բարդության և սեյսմիկ ալիքների տարածման ճանապարհի բազմազանության շնորհիվ, միշտ

էլ միևնույն երկրաշարժի համար տարբեր սեյսմիկ կայանների կողմից ստացվում են մագնիտուդի տարբեր արժեքներ, որոնք կարող են տարբերվել մինչև 0.5-ի հասնող մեծությամբ: Այս պատճառով սովորաբար տվյալ երկրաշարժի մագնիտուդը վերջնականապես հաստատվում է մի քանի կայանների կողմից ստացված մագնիտուդների միջինացմամբ:

Աղյուսակ 1.5

Երկրաշարժի մագնիտուդը M	Գետնի իրական տեղափոխությունը 100կմ հեռավորության վրա		
	միկրոններով	միլիմետրերով	սանտիմետրերով
-1	0.0000357		
0	0.000357		
1	0.00357		
2	0.0357		
3	0.357	0.000357	
4	3.57	0.00357	
4.5	11.3	0.0113	
5	35.7	0.0357	
5.5	113	0.113	
6	357	0.357	0.0357
6.5	1130	1.130	0.113
7	3570	3.570	0.357
7.5	11300	11.300	1.13
8	35700	35.700	3.57
8.5	113000	113	11.3
9	357000	357	35.7

Վերջում մի անգամ ևս նշենք, որ երկրաշարժի ուժը մագնիտուդով գնահատելը հսկայական մեծ քայլ էր երկրաշարժագիտության ասպարեզում: Այն հնարավորություն է տալիս, ունենալով երկրաշարժի թեկուզ մեկ գործիքային գրանցում, անկախ նրա գրանցման տեղից ունեցած հեռավորությունից ու պատճառած հետևանքներից, գնահատել երկրաշարժի ուժը:

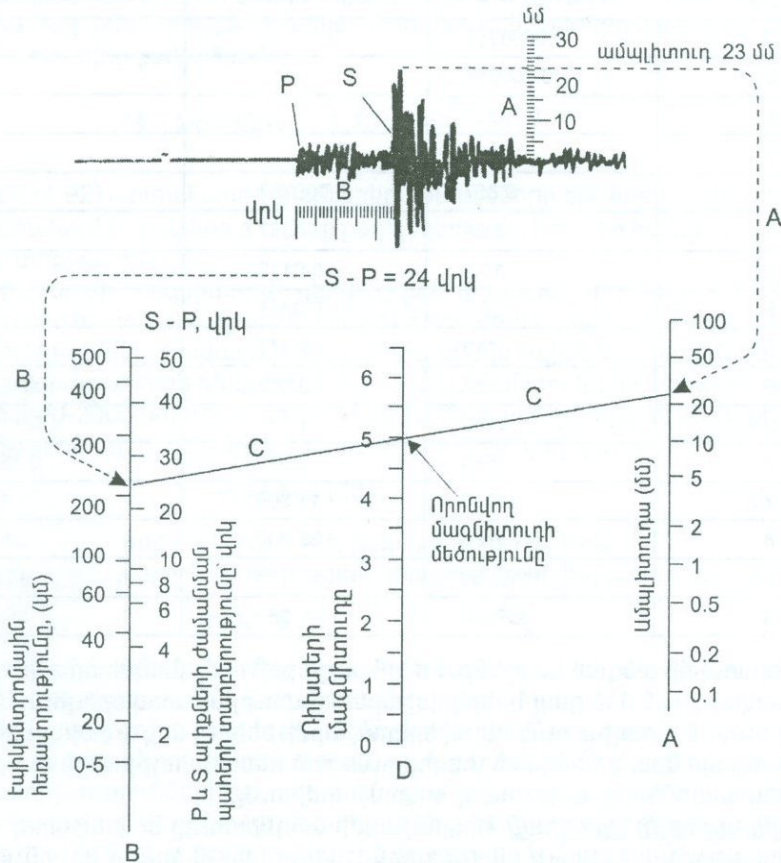
Երկրաշարժի էներգիան: Երկրաշարժի մագնիտուդը երկրաշարժի օջախի շատ հասարակ և հուսալի բնութագիրն է: Բայց այս մեծությունը, ինչպես տեսանք, հարաբերական է, և ամենագլխավորը չունի պարզ ֆիզիկական իմաստ: Այլ բան է էներգիան, որը չափվում է բացարձակ սանդղակով:

Երկրաշարժի ժամանակ ապարների տրոհման հետևանքով արձակվում է բավական քանակով կինետիկ էներգիա, որի միայն չնչին մասն է արձակվում սեյսմիկ ալիքների տեսքով: Սեյսմոլոգները կատարել են բազմաթիվ հետազոտություններ երկրաշարժի ժամանակ ազատվող էներգիայի մեծության գնահատման ուղղությամբ: Հիմնական հարցն էր. գտնել արձակվող էներգիայի քանակի և երկրաշարժի մագնիտուդի միջև եղած կապը: Ռիխտերի գործընկեր հանրահայտ սեյսմոլոգ Բ. Գուտենբերգը առաջին անգամ ստացել է երկրաշարժի ժամանակ

ազատված ամբողջ էներգիայի և մագնիտուդի մեծությունների միջև հետևյալ էմպիրիկ կապը՝

$$\lg E = 9.9 + 1.9M - 0.024M^2 \quad (1.94)$$

որտեղ E-երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիան է էրգերով, M-ը Ռիխտերի մագնիտուդը: Պարզության համար նշենք, որ $1 \text{ կվտ} = 3.6 \cdot 10^{13} \text{ էրգ} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ ջուլ}$, $1 \text{ կգմ} = 9.8 \cdot 10^7 \text{ էրգ} = 9.8 \text{ ջուլ}$: Առաջարկվել են նաև ավելի պարզ բանաձևեր՝



Նկ.1.43 Երկրաշարժի մագնիտուդը որոշելու նոմոգրամ [17]:

$$\lg E = 11.4 + 1.5M \quad \text{Ռիխտեր}$$

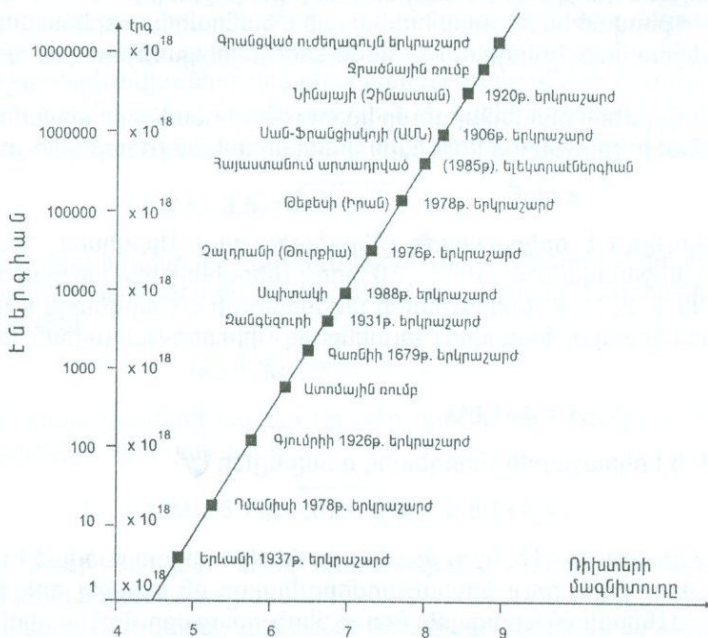
$$\lg E = 11.3 + 1.8M \quad \text{Գոլտենբերգ-Ռիխտեր} \quad (1.95)$$

$$\lg E = 9.15 + 2.15M \quad \text{Ֆիլիպպո-Մարչելլի}$$

Ներկայումս մասնագետ սեյսմոլոգներից շատերի մոտ գերակայությունը տրվում է հետևյալ ավելի պարզ բանաձևին՝

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (1.96)$$

Նկատենք, որ միջին ուժգնության երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիան համեմատելի է ատոմային ռումբի պայթյունի ժամանակ անջատվող էներգիային: Ճապոնական Չերոսիմա քաղաքի վրա 1945թ. ամերիկացիների կողմից նետված ատոմային ռումբի պայթյունի էներգիան կազմել է $8 \cdot 10^{20}$ էրգ, իսկ ժա-



Նկ. 1.44 Երկրաշարժի էներգիայի և մագնիտուդի կապը [5, 23]:

մանակակից մեկ մեգատոննանոց ատոմային ռումբի պայթյունից առաջացած էներգիան կկազմի մոտ $5 \cdot 10^{22}$ էրգ, այսինքն ժամանակակից ատոմային զենքը 60-ից ավելի անգամ հզոր է առաջին անգամ Չերոսիմայի վրա նետած զենքից: Կարելի է երևակայել, թե ինչ հետևանքների այն կբերի նրա կիրառման դեպքում: Բայց և այնպես ոչ մի ատոմային ռումբ իր էներգիայով չի կարող համեմատվել 8 և մեծ մագնիտուդայով երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիայի հետ: Այսպես, $M=8.9$ մագնիտուդայի ամենահզոր երկրաշարժի ժամանակ անջատված էներգիան համագոր է 12.000 հատ Չերոսիմայի վրա նետված ռումբերի էներգիաների գումարին, կամ մոտ 200 մեկ մեգատոննանոց ժամանակակից ատոմային ռումբերի պայթյունից առաջացած գումարային էներգիային: 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիան $110 \cdot 10^{20}$ էրգ համագոր էր Չերոսիմայի վրա նետված 14 հատ ռումբերի պայթյունից արձակված էներգիային: Երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիայի մեծության և

նրա մագնիստուդի միջև բերված կախվածությունների ամենամշմարելի առանձնահատկությունը էներգիայի մեծության շեշտակի մեծամասն է մագնիստուդի աճի նկատմամբ: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ եթե երկրաշարժի մագնիստուդի արժեքը մեծանում է 20%-ով, ապա էներգիայի մեծությունը կրկնապատկվում է, իսկ եթե M մեծանա 1 միավորով, ապա էներգիան կմեծանա միջին հաշվով 40 անգամ: Քանի որ երկրաշարժի էներգիան ավելի ճշմարիտ է բնութագրում նրա ավերիչ ունակությունները, քան մագնիստուդան, ապա այդ նշանակում է, որ $M = 7$ երկրաշարժը 40 անգամ ավելի ավերիչ է, քան $M = 6$ երկրաշարժը, այլ ոչ թե 10 անգամ, ինչպես դա բխում է մագնիստուդայի բնորոշումից:

Նկ.1.44 բերված են մի շարք հայկական և հանրահայտ երկրաշարժերի ժամանակ անջատված էներգիայի և մագնիստուդայի գրաֆիկական կախվածությունը:

Երկրաշարժերի դասակարգումը կատարվում է նաև ըստ անջատված էներգիայի քանակի՝ ջոուլներով, վերջինիս տասնորդական լոգարիթմի չափով՝

$$k = \lg E \quad (1.97)$$

որտեղ k -կոչվում է *երկրաշարժի էներգետիկ դաս*: Այսպիսով, երկրաշարժի ժամանակ անջատված $10^1, 10^2, \dots, 10^k$ ջոուլ էներգիայի համար նրա էներգետիկ դասը կլինի 1, 2, ..., k : Երկրաշարժի մագնիստուդի և էներգետիկ k դասի միջև ընդունված է հետևյալ մոտավոր (Գոտենբերգ-Ռիխտեր-Ռաուտիան) կախվածությունը՝

$$k = 4 + 1.8M \quad (1.98)$$

Այսպես $M = 5$ երկրաշարժի էներգետիկ դասը կլինի՝

$$k = 4 + 1.8 \cdot 5 = 4 + 9 = 13,$$

իսկ $M = 7.2$ դեպքում $k = 17$: Որոշ մասնագետների մոտ տարածված է այն տեսակետը, որ որոշ թվով թույլ երկրաշարժերը կարող են սպառել երկրի խորքում կուտակված էներգիան և բացառել նոր՝ ուժեղի առաջացումը: Այստեղից էլ բխում է, թե իբր տվյալ տարածքում հաճախ տեղի ունեցող համեմատաբար թույլ երկրաշարժերը ինչ-որ ձևով ուժեղների համար ապահովիչ կափույրի կամ պաղիչ դեր կարող են կատարել: Սակայն պարզ հաշվարկները ցույց են տալիս, որ դա այդպես չէ: Այսպես, եթե $M = 4$ երկրաշարժի ժամանակ արձակված էներգիան ընդունենք հավասար մեկ միավորի, ապա ավելի մեծ մագնիստուդով երկրաշարժերի էներգիաների համար կունենանք աղյուսակ 1.6 բերված տվյալները [23, 94]:

Աղյուսակ 1.6

Երկրաշարժի մագնիստուդը M	Արձակված էներգիայի հարաբերությունը $M = 4$ երկրաշարժի էներգիային
4	1
5	4
6	2100
7	85000
8	2800000

Աղյուսակից երևում է, որ $M=4$ մագնիստուղով 2800000 երկրաշարժեր պիտի տեղի ունենան, որ էներգիայի համարժեքությամբ փոխարինեն մեկ $M=8$ մագնիստուղով երկրաշարժին, կամ $M=5$ մագնիստուղայով 1770 երկրաշարժեր պիտի տեղի ունենան, որ փոխարինեն $M=7$ մագնիստուղով երկրաշարժին: Մյուս կողմից, ինչպես ցույց են տալիս գրանցումների համաշխարհային տվյալները, ուժեղագույն ավերիչ երկրաշարժերը հիմնականում պայմանավորված են երկրագնդի գլխավոր խզվածքներով (սալերով) և տեղի են ունենում նրանց տիրույթներում, այն դեպքում, երբ թույլ երկրաշարժերը հիմնականում պայմանավորված են երկրորդական տեկտոնիկ կազմավորումներով: Մինչև անգամ կան կարծիքներ, որ ընդհակառակը, թույլ երկրաշարժերի ակտիվությունը տվյալ վայրում ինչ-որ չափով վկայում է ուժեղի մախապատրաստման գործընթացի մասին:

Երկրաշարժերի տվյալների վիճակագրական մշակումները ցույց են տվել, որ երկրաշարժի ուժգնության I , մագնիստուղայի M , էպիկենտրոնային հեռավորության Δ և օջախի խորության h միջև տեղի ունի հետևյալ էմպիրիկ կապը՝

$$I = 1.5M - 3.5 \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + 3 \quad (1.99)$$

որի հեղինակները համարվում են Գուտենբերգը, Ռիխտերը և Շերալինը: Ըստ Ն.Կարապետյանի հետազոտությունների հայկական լեռնաշխարհի երկրաշարժերի համար՝ [30]

$$I = 2.12M - 3.53 \quad (1.100)$$

Մեքսիկայի երկրաշարժերի համար (կարծր գրունտների դեպքում) էստեվան [125] առաջարկել է հետևյալ կապը՝

$$I = 1.45M - 5.7 \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + 7.9 \quad (1.101)$$

Աշխարհում տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժերի մասին վիճակագրական տվյալները բերված են 1.7 աղյուսակում:

Ստացված են մաս գետնի ամենամեծ արագացումների a և արագությունների v էպիկենտրոնային հեռավորությունից կախված մարման (նվազման) վերաբերյալ էմպիրիկ բանաձևեր՝ [49, 134]

1. $\frac{a}{g} = \frac{0.0069e^{1.6M}}{1.1e^{1.1M} + \Delta^2}$ - հեղինակներ՝ Միլն և Դեվենպորտ
2. $\frac{a}{g} = \frac{e^{1.64M}}{\Delta^2}$ - մեծ Δ -ների համար
3. $\frac{a}{g} = e^{0.54M}$ - փոքր Δ -ների համար
4. $\frac{a}{g} = \frac{0.279e^{0.8M}}{\Delta^{1.64M}}$ - հեղինակ՝ Դեվենպորտ
5. $\frac{a}{g} = \frac{5.7e^{0.8M}}{(\Delta + 40)^2}$ - հեղինակներ՝ էստեվա և Վիլլավերդե

$$6. v = \frac{32e^M}{(\Delta + 25)^{1.7}} - \text{հեղինակներ՝ Էստեվա և Վիլլավերդե}$$

Այս բոլոր ամօշխությունները ճիշտ են, եթե օջախի չափերը, համեմատած էպի-կենտրոնային հեռավորության հետ, համեմատաբար փոքր են:

Աղյուսակ 1.7

Ռիխտերի մագնիտուդը	Մեկ տարում աշխարհում տեղի ունեցած երկրաշարժերի թիվը	Ամենամեծ ուժգնությունը (բալերով)	Գետնի ուժեղ ցնցումների տևողությունը (վրկ)	Ուժեղ ցնցումների ենթարկված տարածքների շառավիղը (կմ)
8.0-8.9	1	XI-XII	30-90	80-160
7.0-7.9	15	IX-XI	20-50	50-120
6.0-6.9	140	VII-X	10-30	20-80
5.0-5.9	900	VI-VIII	2-15	5-30
4.0-4.9	8000	V-VII	1-5	0.5-15

Վերջին տարիներին տեղի ունեցած մեծ թվով երկրաշարժերի գրանցումների փնտրական տվյալների հիման վրա տարբեր մայրցամաքների համար ստացված ավելի հավաստի բանաձևերը բերված են սույն գրքի երկրորդ գլխում:

1.14 ԵՐԿՐԱՇԱՐՄԻ ՄՈՄԵՆՏԸ ԵՎ ՕՋԱԽԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԸ

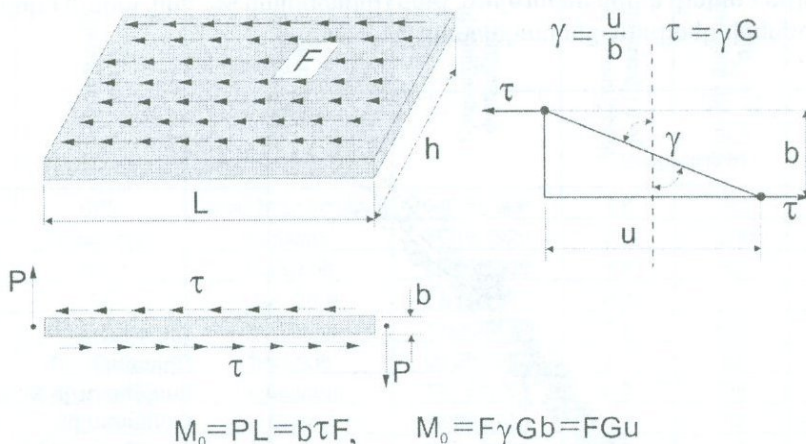
Ինչպես նկատեցինք վերևում, երկրաշարժի՝ գրանցված սեյսմոգրամների օգնությամբ, նրա մագնիտուդի որոշումը նույնպես կապված է մի շարք սկզբունքային դժվարությունների հետ և միշտ չէ, որ այդ եղանակով երկրաշարժի ուժի գնահատումը զերծ է զգալի սխալներից: Այդ պատճառով երկրաշարժագետները վերջերս փորձ են անում երկրաշարժի ուժը գնահատել անմիջապես նրա օջախի պարամետրերով: Ինչպես տեսանք վերևում, երկրաշարժի ժամանակ երկրի որոշ տիրույթում նյութի հանկարծակի տրոհում է տեղի ունենում այս կամ այն մեծությամբ մակերեսով: Պարզ է, որ ինչքան մեծ լինի երկու հարթությունների տրոհման մակերեսը, և նրանց հարաբերական տեղափոխությունը, այնքան մեծ կլինի երկրաշարժի ուժը: Նկար 1.45 ցույց էր տրված տրոհման պրոցեսի մեխանիկան [49, 134]:

Քանի որ մինչև տրոհումը սալը գտնվում էր հավասարակշռության մեջ, ապա կարելի է ենթադրել, որ նրա կողերին կիրառված է M_0 մոմենտով ուժագույժ: Երկրաշարժ տեղի է ունենում, երբ ուժագույժի M_0 մոմենտը գերազանցում է շոշափող $\tau = \gamma G$ լարումների գումարային ուժից՝ $F\gamma G$ տրոհման հարթության նկատմամբ առաջացող մոմենտին՝ $F\gamma Gb$ -ին: Մյուս կողմից, քանի որ

$$\gamma b = u \quad (1.103)$$

որտեղ u երկու տրոհված մասերի միջև եղած տեղաշարժման է, ապա օջախի մոմենտը կլինի ըստ Կ. Ակի [134]

$$M_0 = F\gamma Gb = FG u \quad (1.104)$$



Նկ. 1.45 Տրոհման պրոցեսի մեխանիկական և երկրաշարժի M_0 մոմենտի առաջացման լուսաբանումը [49]:

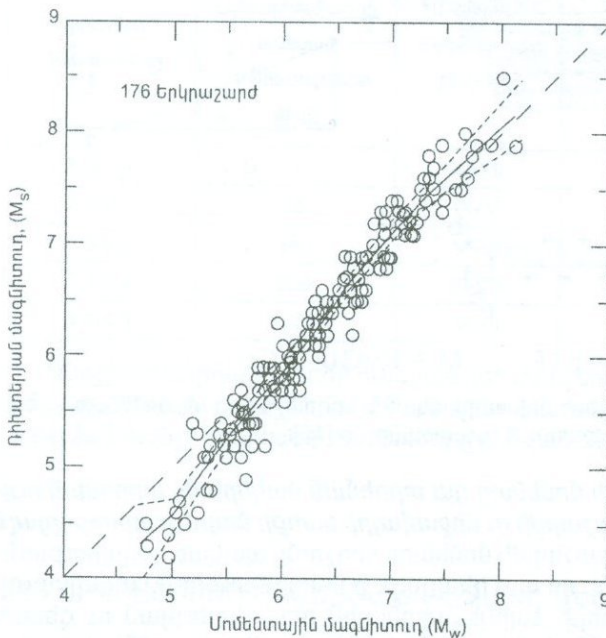
Այսպիսով, երկրաշարժի մոմենտը դա տրոհման մակերեսի, տրոհման ուղղությամբ փոխադարձ տեղաշարժի ու միջավայրի սահքի մոդուլի արտադրյալն է: Ինչպես տեսնում ենք, երկրաշարժի մոմենտի որոշումը պակաս դժվարությունների հետ չի առնչվում, քանի որ այս դեպքում, ի տարբերություն մագնիսոուղի երկու չափվող պարամետրերի՝ էպիկենտրոնային հեռավորության ու զետնի տեղափոխության, զործ ունենք երեք չափման ենթակա մեծությունների՝ տրոհված մակերեսի խորության ու երկարության ու տեղաշարժի մեծության հետ: Երկրաշարժի M_0 մոմենտը չափվում է դին x սմ միավորներով: Սահքի մոդուլի մեծությունը ընդունվում է $G=3 \cdot 10^{11}$ դին/սմ²: Առաջին անգամ երկրաշարժի մոմենտի մեծությունը հաշվարկվել է Ճապոնացի սեյսմոլոգ Կ. Ակի կողմից, 1964թ. Նիիգատայի երկրաշարժի համար: Վերջին տարիներին երկրաշարժագիտության շատ մասնագետների կողմից կատարված են բազմաթիվ հետազոտություններ անցյալում տեղի ունեցած երկրաշարժերի մոմենտի գնահատման վերաբերյալ: Ամենալրիվ այդպիսի տվյալները բերված են Դ. Լ. Վելլսի և Կ. Ի. Կոպերսմիթի մեծածավալ հոդվածում [150]: Մի քանի ուժեղ երկրաշարժերի օջախի պարամետրերի և հաշվարկված մոմենտի M_0 արժեքները բերված են 1.8 աղյուսակում [150]:

1988թ. դեկտեմբերի Սպիտակի երկրաշարժի սեյմիկ մոմենտը հաշվարկված է օջախի հետևյալ պարամետրերի դեպքում՝ խզվածքի տարածումը՝ 38 կմ, օջախի խորությունը՝ 11 կմ և տրոհված մասերի միջին հարաբերական տեղաշարժի մեծությունը՝ 1.22 մ (մաքսիմումը եղել է 2 մ), հետևաբար $M_0 = 38 \cdot 11 \cdot 1.22^3 \cdot 10^{23} = 15.3 \cdot 10^{25}$ դին·սմ: Ելնելով հարյուրավոր երկրաշարժերի տվյալների վիճակագրական մշակման արդյունքներից, առաջարկվել է հետևյալ էմպիրիկ

բանաձևը [150]:

$$M_w = 2/3 \lg M_0 - 10.7 \quad (1.105)$$

որտեղ M_w երկրաշարժի մագնիտուդն է (մոմենտային), իսկ M_0 նրա սեյսմիկ մոմենտը: Ինչպես ցույց են տվել վիճակագրական տվյալների մշակումները, փոքր ուժի երկրաշարժերի դեպքում (1.105) բանաձևով հաշվարկած մագնիտուդը տալիս է ավելի փոքր մեծություն, քան Ռիխտերյան M_s , իսկ, ավելի հզոր երկրաշարժերի դեպքում՝ ընդհակառակը, $M_w > M_s$:



Նկ. 1.46
Ռիխտերի
մագնիտուդի M_s և
մոմենտային
մագնիտուդի M_w
կապը [150]:

Երկու դեպքում էլ սխալի չափը չի գերազանցում 10%-ից: Նկ. 1.46 ցույց է տրված 176 երկրաշարժերի տվյալների հիման վրա կառուցված Ռիխտերի կլասիկ մագնիտուդայի M_s և սեյսմիկ մոմենտի մեծությամբ որոշված, այսպես կոչված, մոմենտային մագնիտուդայի՝ M_w կապը:

Նորից անդրադառնալով սեյսմիկ մոմենտի գաղափարին՝ նշենք, որ առաջին անգամ երկրաշարժի մեխանիկան ժամանակակից ձևով նկարագրել է Ռեյդը 1910թ., որը հայտնի է «առածգական տացքի» մոդելի տեսքով: Ռեյդի տեսության մշակման հիմք է հանդիսացել 1906թ. Սան Ֆրանցիսկոյի երկրաշարժը և հիմնվում է հետևյալ ենթադրությունների վրա՝

1. Երկրաշարժը տեղի է ունենում այն մոմենտին, երբ լիթոսֆերան ճեղքվում է մի մակերևույթով, որը կարելի է համարել որպես երկրաբանական խզվածք,
2. Երկրաշարժին նախորդում է խզվածքի երկու կողմերում առածգական լարումների աստիճանական ուժգնացում,

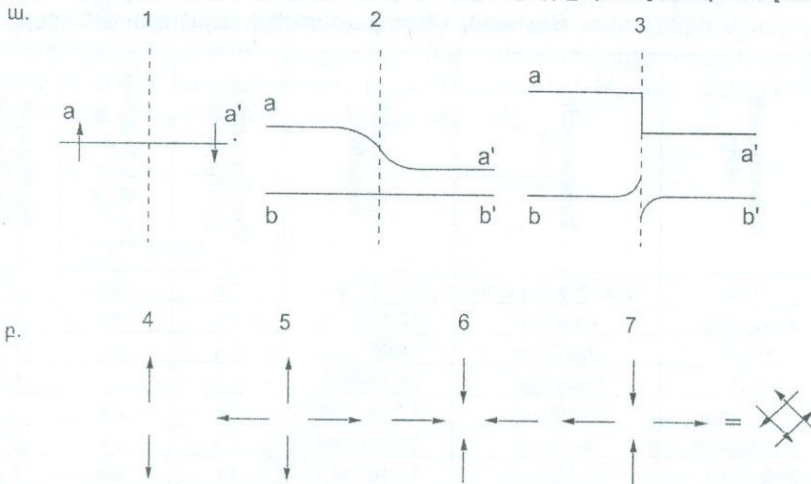
3. Երկրաշարժի ժամանակ խզվածքի երկու կողմերի՝ իրար նկատմամբ առաջացած տեղափոխությունը համապատասխանում է ամբողջ խզվածքի երկարությամբ, մինչև երկրաշարժը կուտակված առաձգական լարումների լրիվ պարպմանը (նկ.47ա):

Աղյուսակ 1.8 Երկրաշարժերի սեյսմիկ մոմենտները [150]

	Երկրաշարժի տեղը	Երկրաշարժի անունը	Երկրաշարժի ժամանակը	Սազմիտուող M_s ըստ Ռիխտերի	Սեյսմիկ մոմենտը $M_0 \cdot 10^{25}$ դ.սմ	Երկրաշարժի մագնիտուդը M_w ըստ M_0 -ի
1	ԱՄՆ	Սան Ֆրանցիսկո	04/18/1906	7.8	790	7.9
2	Չինաստան	Կանսուի	12/16/1920	8.5	1200	8.02
3	Իրան	Սալմասի	05/06/1930	7.4	60	7.15
4	ԱՄՆ	Լոնգ Բիչի	03/11/1933	6.3	4.1	6.38
5	Թուրքիա	Երզնկայի	12/26/1939	7.8	575	7.81
6	Ճապոնիա	Ֆուկույի	06/28/1948	7.3	33	6.98
7	Չինաստան	Ղեյմսկուզի	11/18/1951	8.0	365	7.67
8	Մեքսիկա	Սան Միգուելի	02/09/1956	6.9	10	6.63
9	Հարավսլավիա	Սկոպյեի	07/26/1963	6.1	1.1	5.99
10	Ճապոնիա	Նիիգատայի	06/16/1964	7.5	273	7.59
11	Թուրքիա	Վառտոյի	08/19/1966	6.8	23.5	6.88
12	Թուրքիա	Գեղիզի	03/28/1970	7.1	67	7.18
13	ԱՄՆ	Սան Ֆեռնանդո	02/09/1971	6.5	10.4	6.64
14	Թուրքիա	Բինգուլի	05/22/1971	6.7	10	6.63
15	Իրան	Օիր-Կառզինի	04/10/1972	6.9	15	6.75
16	ԽՍՀՄ	Գալլիի	04/08/1976	7.0	19.5	6.83
17	Ալժիր	Էլ Ասնամի	10/10/1980	7.3	50.8	7.1
18	Հայաստան	Սպիտակի	12/07/1988	6.8	15.3	6.76
19	ԱՄՆ	Լոմոնոսոսկի	10/18/1989	7.1	276	6.92
20	Ճապոնիա	Կոբեի	01/17/1995	7.2	250	6.9

Ռեյդը չէր նշում խզվածքում կուտակված էներգիայի առաջացման պատճառները, այդ պատճառով նրան հաճախ մեղադրում էին «միստիցիզմի» մեջ: Բայց հետագա տարիների «սալերի տեկտոնիկայի» մոդելների առաջացման գործընթացը արդեն պարունակում էր Ռեյդի տեսության գլխավոր դրույթները: Բացի դրանից հատվածամասերի տեղափոխությունները արդյունք են ոչ միայն լարումների կուտակումից առաջացած սեյսմիկ հարվածների, այլև խզվածքի ուղղությամբ տեղի ունեցող գրունտի սողունության: Ռեյդի մոդելի հետագա կատարելագործումը պատկանում է Բրունին [21, 134], Կեյլիս-Բորոկին և Ուրիշներին: Դ.Բրունի և մյուսների աշխատանքները թույլ տվեցին ոչ միայն նշանակալից բացահայտել երկրաշարժի պրոցեսի ֆիզիկական ու մեխանիկական առանձնահատկությունները, այլև ստանալ քանական տվյալներ լոկալ սեյսմիկ վտանգի գնահատման համար: Երկրաշարժի օջախի, որպես էներգիայի կետային աղբյուրի, մի քանի տարբերակներ ցույց են տրված նկ. 1.47բ-ում: Հիմնական պայմանը,

որին պետք է բավարարի այս կամ այն մոդելը, դա նրա հավասարակշռության պայմանն է, որը արտահայտվում է ինչպես բոլոր ուժերի համագործի, այնպես էլ նրա մոմենտի զրո լինելու պայմանի մեջ, որը հետևանք է այն պարզ ֆիզիկական երևույթի, որ մինչ երկրաշարժը օջախի միջավայրը գտնվում էր հավասարա-



Նկ. 1.47 Առաձգական տաքցի Ռեյլիի մոդելը (ա) և երկրաշարժի առաջացման կետային աղբյուրների (4-7) տարբեր տիպերը (բ) [49]
 1-դեֆորմացիաները բացակայում են
 2-կուտակված դեֆորմացիաների դեպքում
 3-խզվածքով տեղաշարժ առաջացումից հետո:

կշռության մեջ: Երկրաշարժի առաջացման և նրա ուժի գնահատման գործում հիմնական դերը պատկանում է առաձգական միջավայրի տրոհման օրինաչափությանը, ավելի շուտ տրոհման տևողությանը: Եթե տրոհումը կատարվում է քվադր-ստատիկ ձևով, այսինքն խզվածքի ուղղությամբ տեղափոխությունը՝ ս կախված չէ ժամանակից, ապա արձակվող էներգիան կլինի հավասար զրոյի: Ամենապարզ մոտեցումը կլինի, եթե ընդունենք, որ տրոհումը կատարվում է ակնթարթային, կամ նույնն է ընդունենք, որ լարումների վերացումը (պարպումը) կատարվում է ակնթարթային ձևով, և խզվածքը նույնպես առաջանում է միանգամից: Այդ դեպքում հարաբերական տեղափոխության մեծությունը խզվածքի ուղղությամբ ս ինչ-որ ֆունկցիա կլինի ժամանակից $u(t)$ [21, 134]

$$u = 0 \quad \text{երբ } t < 0$$

$$u = \frac{\tau_0}{G} v_s t \quad \text{երբ } t > 0 \quad (1.106)$$

որտեղ τ_0 շոշափող լարումն է, G սահքի մոդուլը, v_s լայնական ալիքների տարածման արագությունը: Այս դեպքում սկզբնական արագության համար կունենանք՝

$$u' = \frac{\tau_0}{G} v_s \quad (1.107)$$

Եթե ընդունենք $\tau_0 = 100$ բար (10^8 դին/սմ²), $G = 3 \cdot 10^{11}$ դին/սմ², իսկ $v_s = 3$ կմ/վրկ = $3 \cdot 10^5$ սմ/վրկ, ապա $u' = 100$ սմ/վրկ: Իրականում ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ

չափված գետնի արագությունը եղել է այսպիսի սահմաններում, ոչ մեծ, քան 150 սմ/վրկ:

Եթե տրոհման տևողությունը ընդունենք վերջավոր և հավասար Δt , իսկ տրոհման արագությունը ընդունենք հավասար v , ապա խզվածքի ուղղությամբ տեղաշարժի արագացման u'' համար կունենանք (նկ.1.48ա) [21].

$$u'' = \frac{F}{m} = \frac{v^* \Delta t \cdot \tau_0}{\rho \Delta t \sqrt{v^{*2} - v_s^2} \frac{v_s \Delta t}{2}} \quad (1.108)$$

որտեղ $v^* \Delta t \tau_0$ մեծությունը Δt ժամանակամիջոցում միավոր խորության ու $v^* \Delta t$ երկարությամբ տրոհված մակերեսի վրա ազդող լարումների գումարն է, իսկ

$$\rho \cdot 1 \cdot \frac{v_s \Delta t \sqrt{v^{*2} - v_s^2} \Delta t}{2} \text{ մեծությունը այդ նույն ժամանակամիջոցում միավոր}$$

խորության և $v^* \Delta t$ ու $\Delta t \sqrt{v^{*2} - v_s^2}$ էջերով ուղղանկյուն եռանկյունով սահմանափակված ծավալի զանգվածն է (նկ.148ա):

Եթե v^* շատ մեծ է, քան v_s , ապա (1.108)-ից կունենանք

$$u'' = \frac{2\tau_0}{\rho v_s \Delta t} \quad (1.109)$$

որտեղից երևում է, որ արագացման մեծությունը խիստ աճում է Δt -ի փոքրացման հետ: Եթե խզվածքի երկարությունը ընդունենք 0.3կմ ($v^* \Delta t = 0.3$) $\tau_0 = 100$ բար = 10^8 դին/սմ² (≈ 100 կգ/սմ²), $\Delta t = 0.1$ վրկ (հաճախականությունը $= 10$ հերց) գրունտի մաքսիմալ արագացման համար ըստ (1.109) բանաձևի կունենանք

$$u'' = \frac{2 \cdot 10^2 \cdot 10}{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^3 \approx 2g \quad (1.110)$$

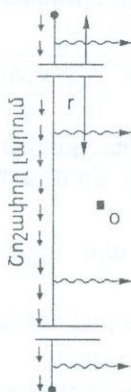
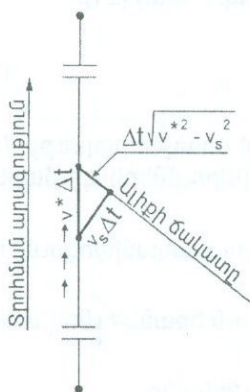
Եթե $\Delta t = 0.2$ (5 հերց) կամ $\Delta t = 0.4$ (2.5 հերց), u'' համար համապատասխանաբար կունենանք՝

$$u'' = 1.0g, \quad u'' = 0.5g$$

Նշենք, որ ոչ մի երկրաշարժի ժամանակ 2g արագացում գետնի վրա չի գրանցվել: Ամենամեծ արագացումը, որ գրանցվել է, տեղի է ունեցել 1971թ. Սան-Ֆեռնանդոյի երկրաշարժի ժամանակ: Նրա մեծությունը հասել է 1.25g, ընդ որում գրանցող գործիքը տեղադրված էր ժայռի կատարին, և չի բացառվում, որ այն արդյունք է մաս ժայռի կատարի կողմից արագացման արհեստական մեծացման:

Այսպիսով, խզման գոտում առաջացած արագացման մեծությունը շատ խիստ կախված է տրոհման ժամանակամիջոցից (Δt) կամ մասնիկների տատանման հաճախականությունից: Շատ կարծր ապարների դեպքում տրոհման հաճախականությունները կարող են շատ մեծ լինել (10 և ավելի հերց) և այս դեպքում, ինչպես երևում է բերված հաշվարկներից, արագացման մեծությունը խզման տիրույթում կարող է հասնել մինչև 2g-ի: Մյուս կողմից՝ կառուցվածքների երկրաշարժադիմացկունության մասնագետների մոտ այդպիսի մեծության արագացումները ուշադրության չեն արժանանում, քանի որ, մախ նրանք էպիկենտրոնից հեռանալով շատ արագ մարում են (մանավանդ քիչ ամուր և նստվածքային

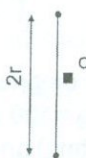
iii.


$$u = \frac{\tau_0}{G} v_s t$$

$$u' = \frac{\tau_0}{G} v_s$$

q.

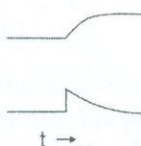
o ԿԵՄՈՒԼՆ



$$u = \frac{\tau_0}{G} v_s \Delta t (1 - e^{-t/\Delta t})$$

$$u' = \frac{\tau_0}{G} v_s e^{-t/\Delta t}$$

$$\Delta t \sim \frac{r}{v_s}$$



ա. Գերծայնային արագությամբ տրոհման դեպքում լարումների կիրառման արագության սահմանափակման էֆեկտի լուսաբանումը

բ. Տրոհման մակերևույթի Օ կետում լարումների իմպուլսի ազդեցության
լուսաբանումը

գ. Վերջավոր չափերով աղբյուրի Օ կետում տեղափոխման մոտավոր ներկայացումը երկրաչափի մերձակա գոտում:

98

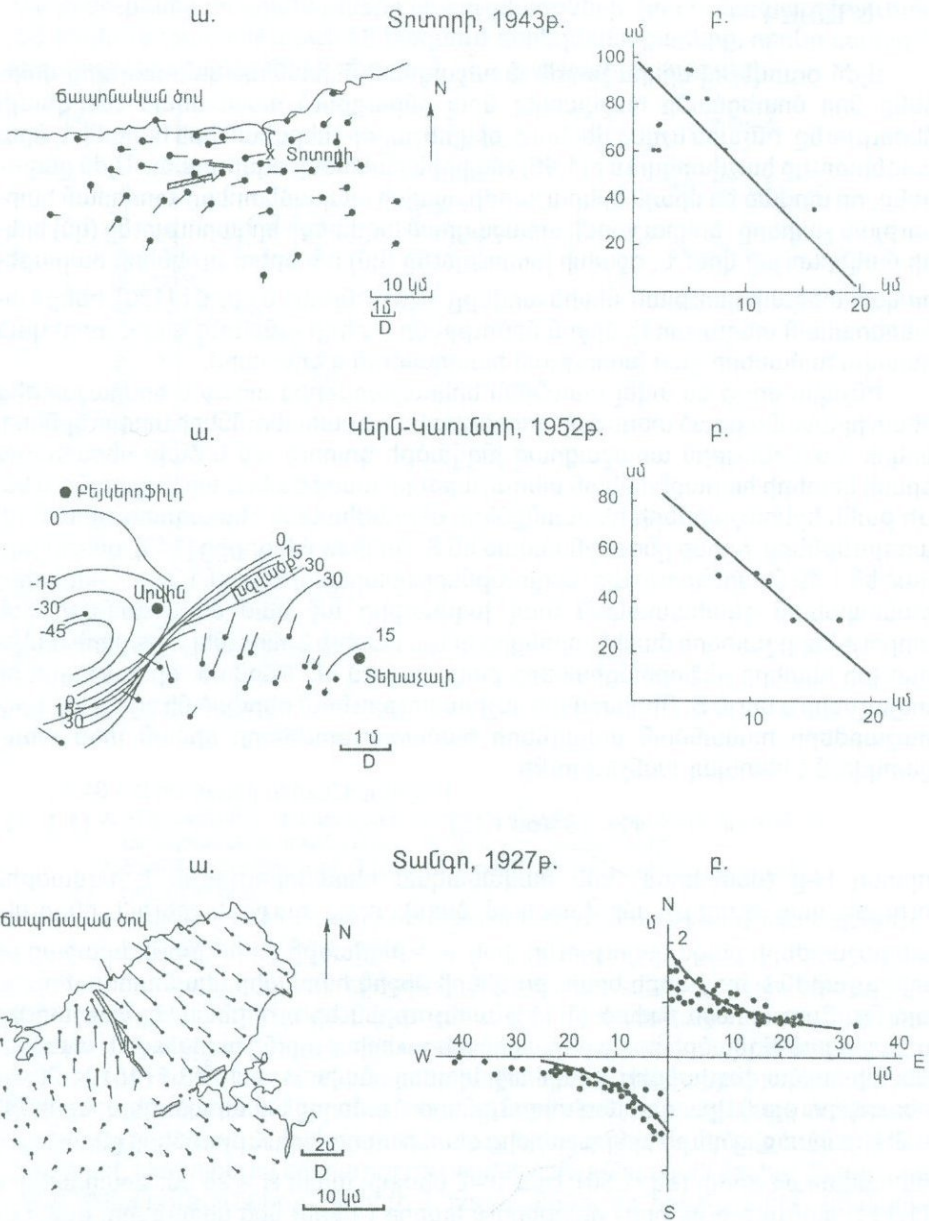
1.15 ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՄԵԾՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՆՈՐ ԵՂԱՆԱԿ

Այժմ օգտվելով երկրաշարժի առաջացման մեխանիկական մոդելից փորձենք նոր մոտեցմամբ հաշվարկել նրա ընթացքում անջատված էներգիայի մեծությունը: Ինչպես նշվեց վերևում, երկրաշարժի էներգիան եթե հայտնի է, նրա մագնիտուդը հաշվարկվում է (1.96) էմպիրիկ բանաձևի օգնությամբ: Այժմ ընդունենք, որ տրված են միայն երկրաշարժի օջախի պարամետրերը՝ տրոհման հարթության չափերը՝ երկրաշարժի առաջացրած խզվածքի երկարությունը (կմ) երկրի մակերևույթի վրա՝ L , օջախի խորությունը (կմ) h և երկու բլոկների հարաբերական տեղափոխության միջին արժեքը՝ $\bar{u}$ (մ): Ինչպես նշվում է [150], հենց հարաբերական տեղաշարժի միջին մեծությամբ է տեղի ունենում երկու տրոհված հատվածամասերի ըստ խորության հաստատուն տեղաշարժ:

Ինչպես ցույց են տվել տասնյակ երկրաշարժերից առաջ և երկրաշարժից հետո իրականացված տեղանքի գեոդեզիական գծահանումների արդյունքները, երկրի մակերևույթին առաջացրած խզվածքի գոտուց աջ և ձախ հեռանալով երկրի կետերի հարաբերական տեղաշարժերը աստիճանաբար փոքրանում են: Մի քանի երկրաշարժերի հետևանքների գեոդեզիական հետազոտությունների արդյունքները, որոնք ընդօրինակված են S . Ռիկիտակի գրքից [143], ցուցադրված են 1.49 նկարներում: Այդ արդյունքները հնարավորություն են ընձեռում որոշ քանակական գնահատական տալ խզվածքից աջ կամ ձախ գտնվող այն տիրույթների չափերի մասին, որոնցից դուրս կարելի է ընդունել, որ երկրի մակերևույթի կետերի դեֆորմացիաները բացակայում են: Բերված երկրաշարժերի տվյալների և նույն S . Ռիկիտակիի աշխատությունում բերված մի շարք այլ երկրաշարժերի համանման տվյալների համադրությունների հիման վրա առաջարկվում է հետևյալ առնչությունը

$$H = 10^3 (5\bar{u} + 15) \quad (1.111)$$

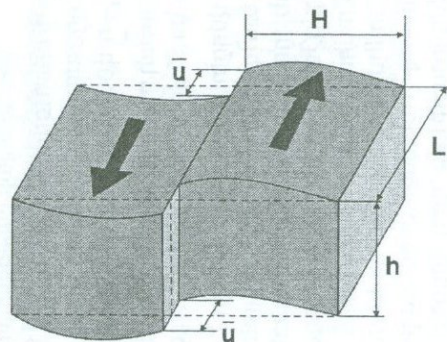
որտեղ H -ը (մետրերով) այն հավանական հեռավորությունն է խզվածքին ուղղահայաց ուղղությամբ (աջ կամ ձախ), որից դուրս կարելի է ընդունել տեղաշարժերի բացակայությունը, իսկ $\bar{u}$ – խզվածքի տիրույթում առաջացած տեղաշարժն է՝ խզվածքի երկու բլոկների միջին հարաբերական տեղափոխությունը: Ըստ առաջարկված (1.111) առնչության եթե, օրինակ, երկրաշարժից առաջացած խզվածքի հարաբերական տեղափոխությունը հավասար է, ասենք, 1 մետրի, ապա խզվածքից դեպի աջ և դեպի ձախ $H = 10^3(5 \cdot 1 + 15) = 20$ կմ հեռավորության վրա գտնվող տիրույթներում ամբողջ L տարածումով, այսինքն $L/2H$ տարածքից դուրս երկրաշարժից գետնի տեղափոխությունները ընդունվում են հավասար զրոյի (նկ. 1.50): Եթե $\bar{u} = 2$ մետրի, ապա $H = 25$ կմ: Առաջարկվող (1.111) առնչությունը որոշ դեպքերում կարող է բերել մեծ սխալների, քանի որ այն ստացված է շատ սահմանափակ երկրաշարժերի հետևանքների վերլուծություններից: Իրականում այս խնդրին կարելի է մոտենալ առաձգականության տեսության տեսանկյունից հետևյալ հարցադրումով: Ունենք անվերջ չափերով L երկարության տիրույթում իրար շղթայակցված միավոր խորության երկու սալեր, որոնք ենթարկվում են ինչ-որ ոչ մեծ արագությամբ հակադարձ ուղղություններով



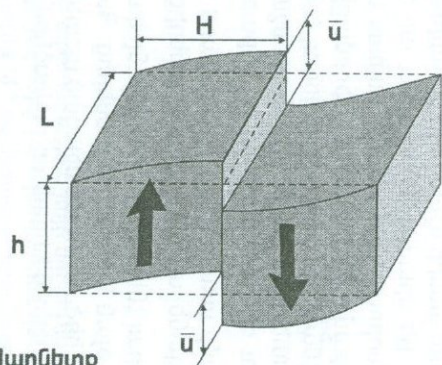
Նկ. 1.49 Երկրաշարժերի ժամանակ III դասի տրիանգուլյացիայի արդյունքում տեղամասերի հորիզոնական տեղաշարժերը (ա) և խզվածքին զուգահեռ ուղղությամբ տեղաշարժերի նվազումը (մ.) համապատասխանաբար Տոտորի, Կերն-Կաունտիի և Տանգոյի երկրաշարժերի դեպքում [43]:

շարժումների: Ընդունում ենք, որ սալերը ենթարկվում են միայն սահքի դեֆորմացիաների: Բավական ժամանակ անցնելուց հետո L երկարության վերջավոր տիրույթում շոշափող լարումների τ_T մեծությունները հասել են սահմանային թույլատրելի արժեքներին $\tau_T = 50 \div 100$ բար = $50 \div 100$ կգ/սմ²: (Սան-Ֆրանցիսկոյի 1906 թվի երկրաշարժի համար Ռեյդի հաշվարկներով τ_T հասել է 133 բարի), սալերը կտրուկ անջատվել են իրարից և ենթարկվել սահքի տատանումների: Պահանջվում է, օգտվելով առաձգականության տեսության հավասարակշռության հավասարումներից և τ_T և L տրված մեծություններից, գտնել ամբողջ տիրույթում շոշափող լարումների բաշխվածությունը և որոշ մոտավորությամբ գնահատել այն տիրույթների դիրքը (խզվածքից դեպի աջ և ձախ), որոնցում կարելի է ընդունել, որ շոշափող լարումները բացակայում են (նկ.1.50): Քանի որ երկրաշարժի ժամանակ շոշափող լարումների մեծությունները անցնում են թույլատրելիության սահմանը, ապա տեղի է ունենում երկու սալերի ինչ-որ $\bar{u}$ մեծության հարաբերական տեղափոխություն: Հետևաբար, վերը շարադրված խնդրի հարցադրումը կարելի է փոխարինել նաև հետևյալ ձևակերպումով՝ ունենք կիսահարթություն, որի կենտրոնում L երկարության տիրույթում տրված $\bar{u}$ հարաբերական տեղափոխությունը: Պահանջվում է գտնել սալում առաջացրած դեֆորմացիաների բաշխվածությունը և գնահատել այն տիրույթների դիրքը, որոնցում կարելի է ընդունել, որ դեֆորմացիաները բացակայում են: Այս խնդիրների ստատիկ և դինամիկ դրվածքներով լուծումները թույլ կտան ճշգրտել մեր կողմից առաջարկված (1.111) կապակցվածությունը: Իսկ առայժմ ընդունենք, որ տեղի ունի (1.111) առնչությունը և փորձենք օգտվելով դրանից գնահատել երկրաշարժի սկզբնապահին երկու սալերում կուտակված պոտենցիալ էներգիան, որը իրենից ինչ-որ մոտավորությամբ պետք է ներկայացնի երկրաշարժի արդյունքում անջատված ամբողջ էներգիան: Այս նկատառումներով ընդունենք նաև հետևյալ պարզեցումները: Ինչպես երևում է 1.50-ը նկարից, մինչ սալերի իրարից խզվելը զրոյից մեծ լարումների կամ դեֆորմացիաների տիրույթը ընկած է $L+2a$ և C կորերով սահմանափակված տիրույթում: Ընդունենք նաև, որ լարումների կամ դեֆորմացիաների նշված օրինաչափությունները չեն փոփոխվում, եթե սալերը ունեն ոչ թե միավոր խորության, այլ h խորության, որտեղ h -ը երկրաշարժի օջախի խորությունն է: Ավելի հստակ ասած ընդունենք, որ մինչ երկրաշարժը երկու միջավայրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը տարածված է եղել երկու $L \times h$ ընդլայնական կտրվածք ունեցող և H երկարության (բարձրության) զուգահեռանիստերի ծավալներում: Երկրաշարժի պահին և նրա ավարտվելուց հետո այդ երկու զուգահեռանիստերը ենթարկվելով սահքի դեֆորմացիաների իրար նկատմամբ ստացել են $\bar{u}$ տեղաշարժ (նկ.1.51): Այժմ խնդիրը ունի շատ պարզ լուծում. գտնել սահքի տատանումներից այդ զուգահեռանիստերում կուտակված պոտենցիալ էներգիայի մեծությունը կախված խզվածքի տեղաշարժի $\bar{u}$ -ի, նրա երկարության L -ի մեծություններից: Հայտնի է, որ սահքի տատանումների ենթարկվող հեծանում առաջացած պոտենցիալ էներգիայի առավելագույն մեծությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [52]

ա.

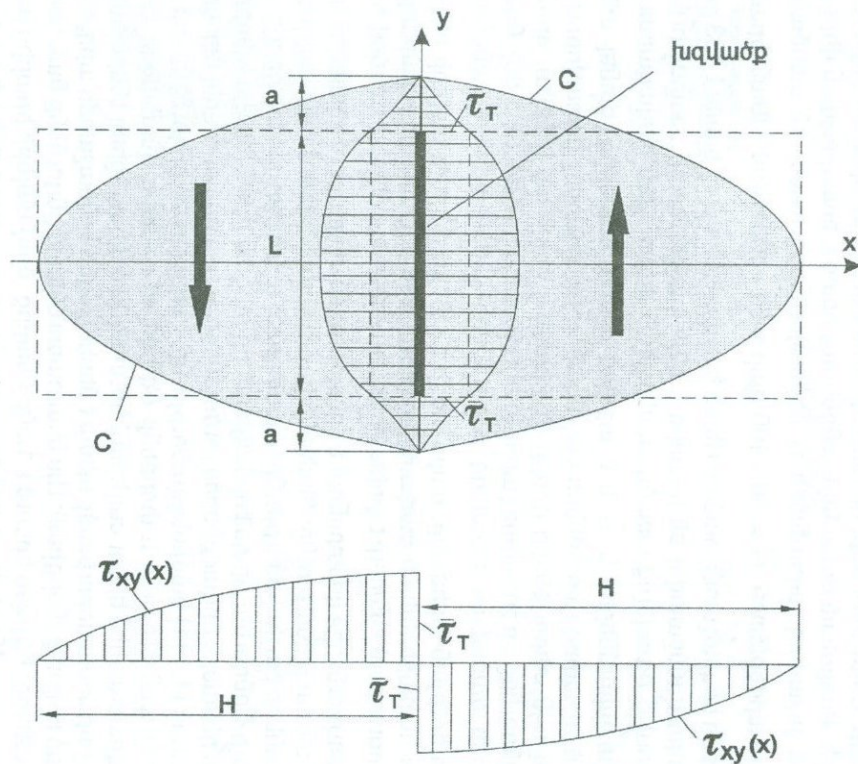


սահք

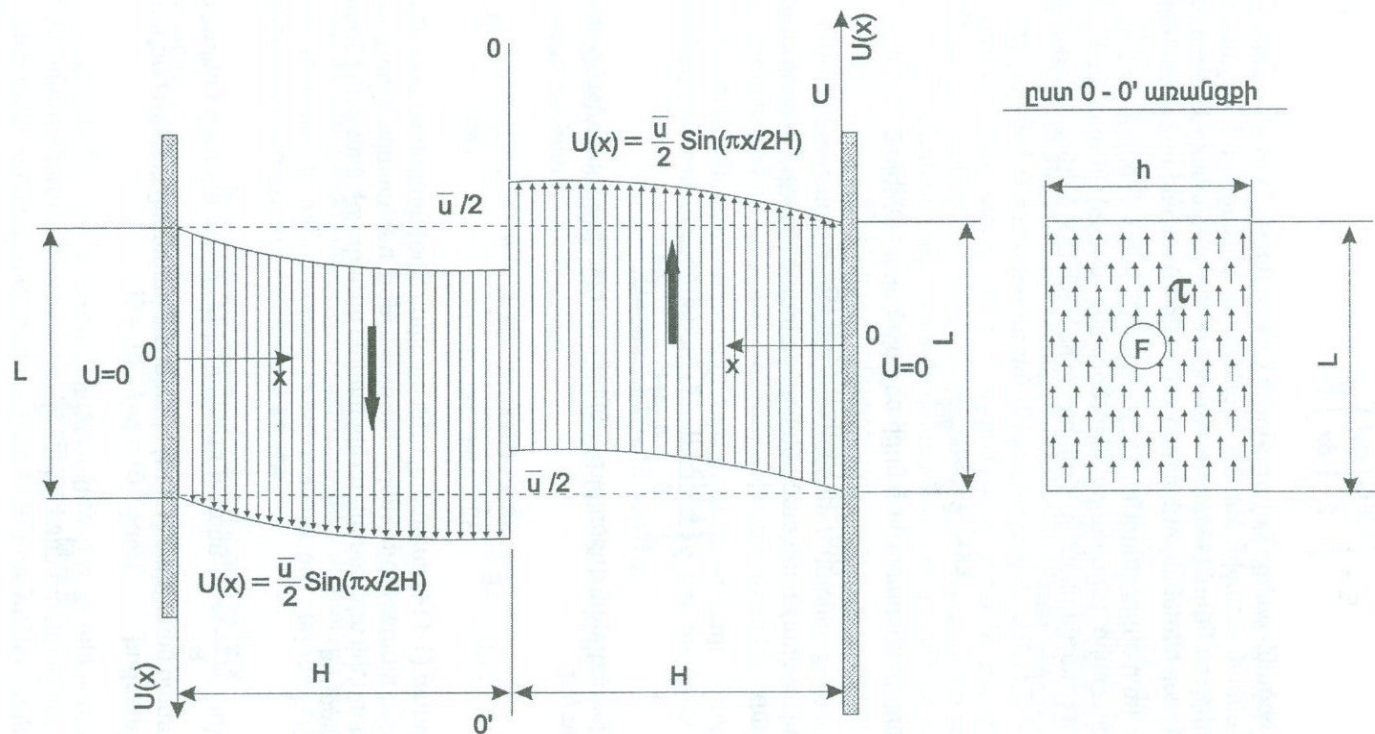


վարճնեք

բ.



Նկ. 1.50 Միջավայրի դեֆորմացման սխեմատիկ պատկերը (a) և սահքի լարումների բաշխվածությունը:



Նկ. 1.51 Խզումից առաջ բլոկների դեֆորմացման սխեման:

$$E = \int_0^H \frac{k'FG}{2} \left(\frac{dU}{dx} \right)^2 dx \quad (1.112)$$

որտեղ $k'FG$ հեծանի սահքի կոշտությունն է, ($k' = 0.83 + 1$), H - երկարությունը, $U(x)$ - տատանման առաջին ձևի ֆունդամենտալ ֆունկցիան է: Ինչպես նշվեց վերևում, խնդիրը հանգում է երկու նույնատիպ $F=Lh$ ընդլայնական մակերեսով և H - երկարությամբ հեծաններում, որոնց $x=0$ ծայրում տեղափոխությունները բացակայում են, (այդ ծայրը ընդունում ենք անշարժ), իսկ $x=H$ ծայրը ստացել է $\bar{u}/2$ (նկ.1.51) տաղաշարժ. (այդ ծայրը ընդունում ենք ազատ) կուտակված պոտենցիալ էներգիայի հաշվարկմամբ: Չետևաբար հեծանի $U(x)$ ֆունդամենտալ ֆունկցիան կարտահայտի [56]

$$U(x) = \frac{\bar{u}}{2} \sin \frac{\pi x}{2H} \quad (1.113)$$

բանաձևով, որը բավարարում է խնդրի եզրային պայմաններին՝

$$U(0)=0, U(H)=\bar{u}/2, U'(H)=0$$

Այսպիսով, երկրաշարժի ժամանակ անջատված էներգիայի մեծության համար կունենանք՝

$$E = 2 \int_0^H \frac{k'LhG}{2} \frac{\bar{u}^2}{4} \frac{\pi^2}{4H^2} \cos^2 \frac{\pi x}{2H} dx$$

Կատարելով ինտեգրման գործողությունները, արդյունքում կստանանք հետևյալ ոչ բարդ բանաձևը՝

$$E = \frac{\pi^2}{32} \frac{k'LGhu^{-2}}{H} \quad (1.114)$$

Որ ստացված (1.114) բանաձևը ունի իրական ֆիզիկական իմաստ վկայում են նաև հետևյալ դատողությունները: Ինչպես նշվեց, հավասարակշռության մեջ պահող նրա կողերին արհեստական կիրառված ուժազույգի մոմենտն է և որոշում է (1.104) բանաձևով

$$M_0 = FG\bar{u}$$

Ընդունելով $\frac{k'\pi^2}{8} \approx 1$ և նկատի ունենալով M_0 -ի այս արժեքը երկրաշարժի

էներգիայի համար ստացված (1.114) հիմնական բանաձևը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$E = M_0 \cdot \frac{\bar{u}}{4H} = \frac{M_0 \varphi}{2} \quad (1.115)$$

$$\varphi = \frac{\bar{u}}{2H}$$

որտեղ $\varphi = \frac{\bar{u}}{2H}$, սահքի ենթարկման հետևանքով զուգահեռամիստի առանցքի թեքման անկյունն է: Ինչպես տեսնում ենք, երկրաշարժի էներգիայի առաջարկված բանաձևի (1.115) տարբերակը դեֆորմացիայի ենթարկվող հեծանում, երբ նրա ծայրում է կիրառված է ուժի M_0 մոմենտ, պոտենցիալ էներգիայի (կրկնապատիկի) հաշվարկման դասական բանաձևն է [52]: Այսպիսով, եկանք մի շատ կարևոր հիմնարար եզրակացության. **երկրաշարժի էներգիան երկրաշարժի մոմենտի M_0 -ի կատարած առածգական աշխատանքն է խզվածքից աջ ու ձախ առավել լարված H հեռավորության վերջավոր տիրույթներում:**

Այժմ փորձենք ստացված (1.114) բանաձևը կիրառել տարբեր երկրաշարժերի համար: Սկսենք Սպիտակի երկրաշարժից: 1988 թվականի դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի ժամանակ (երկրաշարժի մասին մանրամասն տեղեկություններ բերվում են սույն գրքի III գլխում) երկրի մակերևույթին առաջացած խզվածքի երկարությունը L հասել է 38 կմ, հիպոկենտրոնային խորությունը ընդունվում է հավասար 11 կմ, երկրաշարժը ունեցել է հիմնականում վարմետքային բնույթ $\bar{u}_{\max} = 2$ մետր ամենամեծ տեղաշարժով: Որպես վարմետքային սահքի միջին մեծությունը 38 կմ տարածվածության վրա ըստ [150] աշխատության հեղինակների ընդունվում է $\bar{u} = 1.22$ մետր: Օգտվելով (1.111) բանաձևից պայմանական լարվածադեֆորմացված զուգահեռամիստի H երկարության համար կունենանք՝

$$H = 10^3(5 \cdot 1.22 + 15) = 21.1 \text{ կմ}$$

Ընդունելով սահքի մոդուլի համար $G = 3 \cdot 10^{11}$ դին/սմ², $k' = 0.833$ (1.114) բանաձևի համաձայն կունենանք՝

$$E = \frac{\pi^2 k' L G \bar{u}^2}{32H} = \frac{9.8 \cdot 0.83 \cdot 38 \cdot 11 \cdot 3 \cdot 1488 \cdot 10^{21}}{32 \cdot 21.1 \cdot 10^5} = 0.25 \cdot 10^{22} \text{ դին} \cdot \text{սմ}$$

$$E = 0.25 \cdot 10^{22} \text{ էրգ} = 0.25 \cdot 10^{15} \text{ ջոուլ}$$

Համեմատության նպատակով այժմ հաշվենք Սպիտակի երկրաշարժի էներգիայի մեծությունը ավանդական (1.96) բանաձևով, ընդունելով երկրաշարժի մագնիտուդի մեծությունը հավասար $M = 6.8$

$$E = 11.8 + 1.5M = 11.8 + 1.5 \cdot 6.8 = 22 \text{ էրգ}$$

հետևաբար

$$E = 10^{22} \text{ էրգ} = 10^{15} \text{ ջոուլ}$$

Ինչպես նշվեց գլուխ 12-ում, երկրաշարժերը ըստ անջատված էներգիայի հիմնականում բնութագրվում են իրենց էներգետիկ դասերով ըստ (1.97) բանաձևի: Սպիտակի երկրաշարժի համար ըստ (1.97) բանաձևի էներգետիկ k դասը կլինի.

$$k = \log E = \log 10^{15} = 15$$

առաջարկված (1.114) բանաձևով

$$k = \log E = \log 0.25 * 10^{15} = \log 0.25 + 15 = -0.60 + 15 = 14.40$$

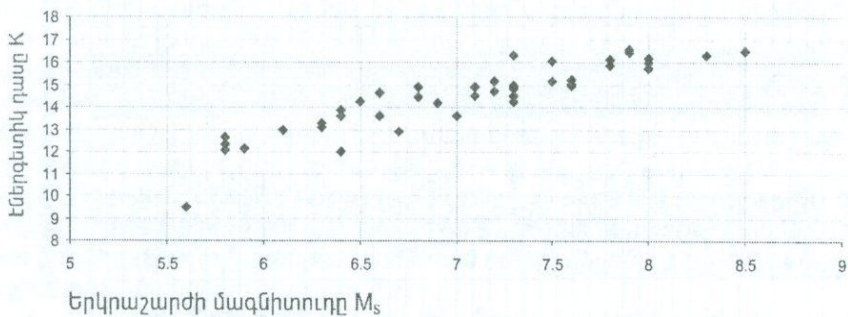
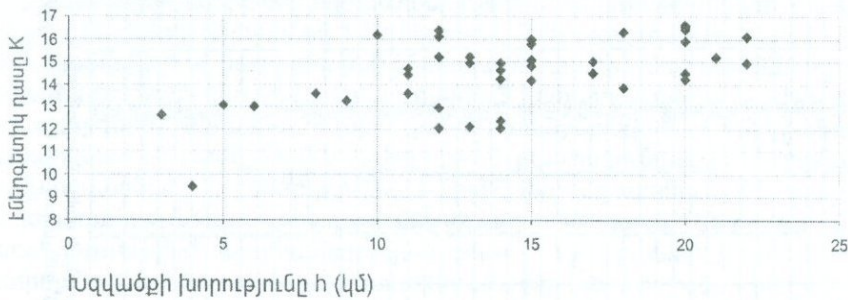
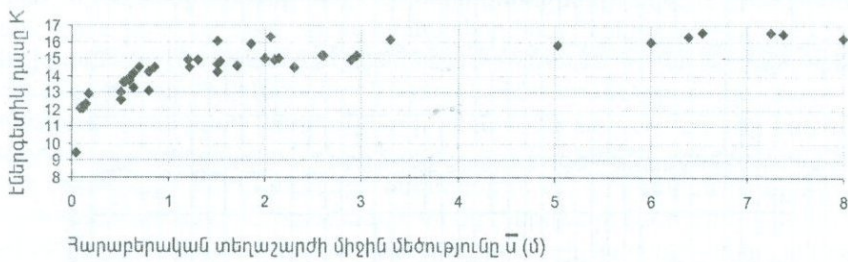
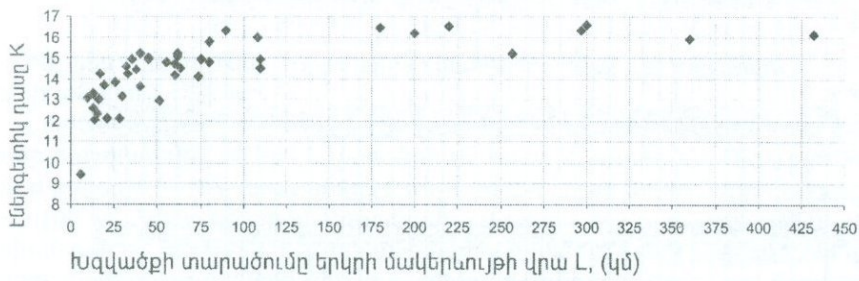
Ինչպես տեսնում ենք, էներգետիկ դասերի տարբերությունը երկու բանաձևերով չի անցնում 4%-ից:

Նման եղանակով 44 ուժեղ երկրաշարժերի համար (1.114) բանաձևի օգնությամբ հաշվարկվել են երկրաշարժերի էներգետիկ դասերի k մեծությունները, որոնք բերված են 1.9 աղյուսակում: Աղյուսակի բոլոր տվյալները վերցված են Դ. Վելլսի և Կ. Կոպպերշմիտի մեծածավալ արժեքավոր հոդվածից [150], որում ամփոփված են 1857-1993թթ. ժամանակահատվածում տեղի ունեցած 244 ուժեղ երկրաշարժերի օջախների միկրոսեյսմիկ տվյալները: Մենք օգտագործել ենք միայն այն երկրաշարժերը, որոնց համար հոդվածում բերված էին (1.114) բանաձևի կիրառման համար անհրաժեշտ բոլոր տվյալները: 1.9 աղյուսակում բերված են նաև երկրաշարժերի էներգետիկ դասերի մեծությունները հաշվարկված (1.96) բանաձևով: Ստացված արդյունքների հիմնական եզրահանգումը կայանում է նրանում, որ առաջարկվող (1.114) բանաձևի օգնությամբ հաշվարկված երկրաշարժի էներգիայի մեծությունները ենթարկվում են ընդունված համընդհանուր օրինաչափություններին, համաձայն որոնց էներգիայի մեծությունը մեծանում է, խզվածքի տարածումի՝ L -ի, օջախի խորության՝ h -ի, հարաբերական տեղաշարժի՝ $\bar{u}$ -ի մեծությունների մեծացման հետ: Այս բոլոր առնչությունների գրաֆիկական պատկերները բերված են 1.52 նկարում: Անհրաժեշտ է նշել նաև (1.114) և (1.96) բանաձևերով հաշվարկված էներգետիկ դասերի մեծությունները ունեն համարյա միևնույն կարգը (բացառությամբ 3 շատ փոքր տեղաշարժերով թույլ երկրաշարժերի): Ընդսմին, ինչպես կանոն, առաջարկված (1.114) բանաձևով հաշվարկված k -ի արժեքները ավելի փոքր են, քան ընդունված (1.96) բանաձևով հաշվարկվածները: Այդ մեծությունների միջին շեղումը հասնում է 0.9-ի, այսինքն չեն գերազանցում էներգետիկ դասի մեկ միավոր մեծությունը: Մեզ թվում է նշված տարբերությունը չի պայմանավորված զուտ (1.114) բանաձևի անճշտության աստիճանով՝ ելնելով հետևյալ դիտարկումներից: Նախ, ինչպես նշվեց էրկրաշարժի մագնիտուդի մեծությունը, որի մեծությունը մտնում է (1.96) ընդունված բանաձևի մեջ, տարբեր սեյսմիկ կայանների տվյալներով տարբերվում են մի քանի տասնորդականներով (հայտնի են դեպքեր, երբ միևնույն երկրաշարժի դեպքում տարբեր կայանների կողմից ստացվել են ամբողջական 1-2 միավորով տարբերվող մագնիտուդներ): Առանձնապես այս հանգամանքը ակնառու է պատմական երկրաշարժերի մագնիտուդի գնահատման դեպքում: Այս պատճառով հաշվարկված մագնիտուդի մեծության միջին սխալը ընդունվում է հավասար 0.5 միավոր: Հատկանշանական է, որ ինքը՝ Ռիխտերը խոսելով երկրաշարժի մագնիտուդային գաղափարի մասին, գրել է՝ «*Ես իմ առաջ նպատակ եմ դրել մտցնել զուտ գործիքային (տվյալներով) սանդղակ ուժեղ, միջին և թույլ երկրաշարժերի կոպիտ տարբերակման համար*» [19]:

Մյուս կողմից էներգիայի հաշվարկման էմպիրիկ (1.96) բանաձևը նույնպես համարվում է ոչ բավարար ճշտության և, ինչպես նշվեց վերևում, կան նմանատիպ այլ բանաձևեր ևս: Մասնավորապես, եթե 1.9 աղյուսակը կազմելիս օգտվենք ոչ թե (1.96) բանաձևից, այլ (1.94) կամ (1.95) բանաձևերից, ապա էներգետիկ դասի համար՝ կախված մագնիտուդային մեծությունից, կունենայինք

N	Երկիր	Երկրաչափի վայրը	Երկրաչափի տարեթիվը	Խզվածքի տիպը	Երկրաչափի մագնիսությունը, M_s	Խզվածքի երկարությունը L (կմ)	Խզվածքի խորությունը h (կմ)	Մաքսիմալ սահքը u_{max} (մ)	Միջին սահքը $\bar{u}$ (մ)	H-ի մեծությունը (կմ)	Երկրաչափի էներգետիկ դասը k	
											ըստ (1.96) բանաձևի	ըստ (1.114) բանաձևի
1.	ԱՄՆ	Fort Tejon	09.01.1857	RL	8.3	297	12	9.4	6.4	47	17.25	16.37
2.	ԱՄՆ	Owens Valley	26.03.1872	RL-N	8.0	108	15	11	6.0	45	16.8	15.99
3.	Ճապոնիա	Nobi	27.10.1891	LL	8.0	80	15	8.0	5.04	40.25	16.8	15.76
4.	Ճապոնիա	Rikuu	31.08.1896	R	7.2	40	21	4.4	2.59	27.95	15.6	15.18
5.	ԱՄՆ	San Francisco	18.04.1906	RL	7.8	432	12	6.1	3.3	31.5	16.5	16.13
6.	ԱՄՆ	Pleasant Valley	03.10.1915	N	7.6	62	15	5.8	2.0	25	16.2	15.05
7.	Չինաստան	Kansu	16.12.1920	LL	8.5	220	20	10.0	7.25	51.20	17.55	16.53
8.	Ճապոնիա	North Izu	25.11.1930	LL-R	7.3	35	12	3.8	2.9	29.5	15.75	14.96
9.	Չինաստան	Kehetuohai	10.08.1931	RL	7.9	180	20	14.6	7.38	51.9	16.65	16.45
10.	Թուրքիա	Erzihcan	26.12.1939	RL	7.8	360	20	7.5	1.85	24.25	16.5	15.88
11.	ԱՄՆ	Imperial Valley	19.05.1940	RL	7.2	60	11	5.9	1.5	22.5	15.6	14.7
12.	Չինաստան	Damxung	18.11.1951	RL	8.0	200	10	12.0	8.0	55	16.8	16.23
13.	ԱՄՆ	Dixie Valley	16.12.1954	RL-N	6.8	45	14	3.8	2.1	25.5	15.0	14.92
14.	Թուրքիա	Abant	26.05.1957	RL	7.0	40	8	1.65	0.55	17.75	15.3	13.62
15.	Մոնղոլիա	Gobi-Altai	04.12.1957	LL	7.9	300	20	9.4	6.54	47.7	16.65	16.61
16.	ԱՄՆ	Hebgen Lake	18.08.1959	N	7.6	45	17	6.1	2.14	25.7	16.2	15.0
17.	Իրան	Dasht-e-Bayaz	31.08.1968	LL	7.1	110	20	5.2	2.3	26.5	15.45	14.52
18.	Թուրքիա	Gediz	28.03.1970	N	7.1	63	17	2.8	0.86	19.3	15.45	14.5
19.	ԱՄՆ	San Fernando	09.02.1971	R-LL	6.5	17	14	2.5	1.5	22.5	13.75	14.26
20.	Չինաստան	Luhuo	06.02.1973	LL	7.3	110	13	3.6	1.3	21.5	15.75	14.92
21.	Պվատոննայա	Motagua	04.02.1976	LL	7.5	257	13	3.4	2.6	28.0	16.05	15.18
22.	Թուրքիա	Caldiran	24.11.1976	RL	7.3	90	18	3.5	2.05	25.25	15.75	16.3
23.	Իրան	Bob-Tangol	19.12.1977	RL	5.8	14	12	0.3	0.12	15.6	13.5	12.05
24.	Հունաստան	Thezzaloniki	20.06.1978	N	6.4	28	14	0.22	0.08	15.4	14.4	12.09
25.	Իրան	Tabas-e-Golshan	16.09.1978	R	7.5	74	22	3.0	1.5	22.5	16.05	16.09
26.	ԱՄՆ	Homeslead Valley	15.03.1979	RL	5.6	6	4	0.1	0.05	15.25	13.2	10.47
27.	Ավստրալիա	Cadoux	02.06.1979	R	6.1	16	6	1.5	0.5	17.5	13.95	13.0
28.	ԱՄՆ	El Centro	15.10.1979	RL	6.7	51	12	0.8	0.18	15.9	14.85	12.97
29.	Իրան	Koii	27.11.1979	LL-R	7.1	75	22	3.9	1.2	21.0	15.45	14.93
30.	Ալժիր	El Asman	10.10.1980	R	7.3	55	15	6.5	1.54	22.7	15.75	14.81
31.	Իտալիա	South Apennines	23.11.1980	N	6.9	60	15	1.15	0.64	18.2	15.15	14.81
32.	Հունաստան	Corinth	25.02.1981	N	6.4	19	16	1.5	0.6	18.0	14.4	13.67
33.	Հունաստան	Corinth	04.03.1981	N	6.4	26	18	1.1	0.6	18.0	14.4	13.85
34.	ԱՄՆ	Borah Peak	28.10.1983	N-LL	7.3	33	20	2.7	0.8	19.0	15.75	14.23
35.	Ալժիր	Constantine	27.10.1985	LL	5.9	21	13	0.12	0.1	15.5	13.65	12.12
36.	Ավստրալիա	Marryat Creek	30.03.1986	R-LL	5.8	13	3	1.3	0.5	17.5	13.5	12.62
37.	Հունաստան	Kalamata	13.09.1986	N	5.8	15	14	0.18	0.15	15.75	13.5	12.35
38.	Նոր Զելանդիա	Edgecumbe	02.03.1987	N	6.6	32	14	2.9	1.7	23.5	14.7	14.62
39.	ԱՄՆ	Superstition Hills	24.11.1987	RL	6.6	30	11	0.92	0.54	17.7	14.7	13.62
40.	Ավստրալիա	Tennant Creek	22.01.1988	R	6.3	13	9	1.3	0.63	18.15	14.25	13.29
41.	Չինաստան	Lancand Gengma	06.11.1988	RL	7.3	80	20	1.5	0.7	18.5	15.75	14.51
42.	Հայաստան	Sptak	07.12.1988	R-RL	6.8	38	11	2.0	1.22	21.1	15.0	14.36
43.	Վանադա	Ungava	25.12.1989	R	6.3	10	5	2.0	0.8	19.0	14.25	13.11
44.	ԱՄՆ	Landers	28.06.1992	RL	7.6	62	12	6.0	2.95	29.75	16.2	15.22

Օւնորոթյուն: RL – աջակողմյան սահք; LL – ձախակողմյան սահք; R - վերնետք; N – վարնետք.
 Էներգիայի իրական մեծությունը՝ $E=10^k$ ջոուլներով կամ $E=10^{k+7}$ էրգերով



Նկ. 1.52 Երկրաչափների էներգետիկ դասի կախվածությունները երկրի մակերևույթի վրա խզվածքի երկարությունից, հարաբերական տեղաշարժի միջին մեծությունից, խզվածքի խորությունից և մագնիտուդի մեծությունից:

0.23-ից մինչև 0.5 միավոր ավելի քիչ տարբերություն համեմատած (1.114) բանաձևով հաշվարկվածների հետ: Նշենք նաև, որ որոշ աղբյուրներում, մասնավորապես [31]-ում, սահքի մոդելը G-ի արժեքը ընդունվում է ոչ թե $3 \cdot 10^{11}$ դին/սմ², ինչպես ընդունված էր (1.114) բանաձևում, այլ $5 \cdot 10^{11}$ դին/սմ²: Հետևաբար G-ի այսպիսի արժեքի դեպքում (1.114) բանաձևով հաշվարկված բոլոր երկրաշարժերի էներգետիկ դասը կմեծանար $\lg 5/3 = 0.22$ միավորով:

Ելնելով վերոհիշյալից, մենք հակված ենք ընդունել, որ 1.9 աղյուսակում բերված առաջարկված եղանակով և գոյություն ունեցող ժամկետի եղանակով ստացված էներգիայի մեծությունների ոչ էական տարբերությունը պայմանավորված չէ միայն առաջարկված մոր եղանակի ճշտության աստիճանով: Սա, իհարկե չի նշանակում, որ առաջարկված եղանակը ունի բացարձակ ճշտություն: Այն լինելով մոր մոտեցում տվյալ հարցին, անկասկած, ենթակա է հետագա կատարելագործման: Միանշանակ միայն կարելի է հաստատագրել, որ մոր եղանակով հաշվարկված էներգիայի մեծությունը հանդիսանում է իրական էներգիայի նվազագույն (մինիմալ) արժեքը, քանի որ մրա մեծության հաշվարկման ժամանակ հաշվի չեն առնվել խզվածքից բավական հեռու գտնվող տարածքներում առաջացած թույլ լարումները, և բացի դրանից, ինչպես նշվում է 1.9 աղյուսակում, բոլոր քննարկված երկրաշարժերի տեղաշարժային տիպերը էներգիայի արձակման տեսակետից ավելի բարդ կինեմատիկա ունեն, քան մեր քննարկված միակոմպոնենտ տեղաշարժը: Հետևաբար, երկրաշարժի էներգիայի իրական մեծության մի որոշ մասն էլ կարծակվի այդ ուղղություններով, որը հաշվի չի առնում ստացված (1.114) բանաձևը:

1.16 ԵՐԿՐԱՇԱՐՇԵՐԻ ԿԱՆԽԱԳՈՒՇԱԿՈՒՄԸ

Երկրաշարժերի կանխագուշակումը բնականորեն ներկայումս հանդիսանում է երկրի մասին գիտության ամենահրատապ պրոբլեմներից մեկը: Այն, բացի բարդ գիտական խնդրի լուծման կարևորություններից, ունի նաև հսկայական սոցիալտնտեսական նշանակություն, քանի որ առնչվում է հազարավոր մարդկանց կյանքի և անհաշիվ նյութական բարիքների պահպանման հետ:

Երկրաշարժի կանխագուշակման վերաբերյալ լայնածավալ գիտական հետազոտությունները սկսվել են 1960 թվականներին, ԱՄՆ-ում, մախսիկի ԽՍՀՄ-ում, ճապոնիայում և Չինաստանում: Այս հիմնախնդրի նկատմամբ մեծ տերությունների շահագրգռվածությունը այդ տարիներին, մեր կարծիքով, պայմանավորված էր միջուկային զենքի ստորգետնյա փորձարկումների արգելման ուղղությամբ միջազգային համաձայնության դրույթների մշակմամբ: Որոշ փորձագետներ գտնում էին, որ դժվար է միջուկային ստորգետնյա պայթեցումների գրանցումները տարբերել իրական երկրաշարժերի գրանցումներից: Թվում է, որ երկրաշարժերի կանխագուշակման հիմնախնդրի լուծումը չափազանց կմեղմացներ կողերի տարածայնությունը: Մշակված էին ու գործադրված համապատասխան ազգային հետազոտական խոշոր ծրագրեր և շատ գիտնականներ ու քաղաքագետներ լավատեսորեն էին տրամադրված այս կարևոր գիտական պրոբլեմի դրական լուծմանը: Եվ իրոք, 1969թ. հունիսի 18-ի չինական Տյանցզին քաղաքի մոտակայքում $M=7.4$ մագնիտուդով երկրաշարժը առաջին անգամ նախօրոք

կանխագուշակվեց չինացի երկրաշարժագետների կողմից (կենդանիների վարքի փոփոխությամբ): Այնուհետև կատարվեց 1975թ. փետրվարի 4-ի չինական խայ-չեն քաղաքում տեղի ունեցած $M=7.3$ երկրաշարժի ամենահաջողված կանխագուշակումը: Այն տեղի ունեցավ բնակչության տեղահանման վերաբերյալ պաշտոնական հայտարարությունից 5 և կես ժամ հետո: Հարյուր հազարանոց քաղաքում երկրաշարժից տուժվեցին հարյուրավոր շենքեր, զործարաններ, իսկ մարդկային զոհեր համարյա չեղան: Հետագայում 1976թ. Չինաստանում կանխագուշակվեցին ևս 3 երկրաշարժեր՝ մայիսի 29-ի Յուննայի, օգոստոսի 16-ի Սչուանի և նոյեմբերի 7-ի Սչուան-Յուննայի: Հաջողված կանխագուշակումներ եղան նաև ԱՄՆ-ում 1973թ. օգոստոսի 1-ի (Նյու Յորքի նահանգ), 1976թ. հունվարի (Սան Խոսե) երկրաշարժերը, ԽՍՀՄ-ում 1978թ. նոյեմբերի 1-ի (Գարմ, Տաջիկստան):

Լիարժեք կանխագուշակել երկրաշարժը նշանակում է նշել նրա առաջացման տեղը, ժամանակը, մագնիտուդան, օջախի խորությունը և տարածության մեջ ու ժամանակի ընթացքում երկրաշարժի զարգացման ուղղությունը: Կանխագուշակման ավելի պարզեցված տարբերակը՝ նախօրոք իմանալ սպասվող երկրաշարժի տեղը, ժամանակը և ուժը:

Դիլատանսիայի տեսությունը: Բնական է, որ այս կամ այն երևույթը ճիշտ կանխագուշակելու համար պետք է լրիվ պատկերացում ունենալ նրա առաջացման բնույթի մասին: Սովորաբար բնության մեջ բոլոր կանխագուշակվող երևույթները պայմանավորվում են նախորդող այլ երևույթներով: Այստեղից հարց է ծագում կարելի է արդյոք ամեն ինչ իմանալով երկրաշարժի առաջացման բնույթի մասին, կանխագուշակել երկրաշարժը: Ինչպես շարադրվեց վերևում, այժմ գիտությունը բավարար տվյալներ ունի երկրաշարժի առաջացման մեխանիզմների մասին, ինչպես նրա սաղմային վիճակում, այնպես էլ զարգացման ու հասունացման ամբողջ ընթացքում: Մենք կարող ենք կազմել հավասարումներ, որոնք նկարագրում են օջախի վիճակի բոլոր փուլերը՝ ներառյալ երկրաշարժի առաջացումը: Հարց է առաջանում, կարող ենք ներկայումս ճիշտ հաշվումներ կատարել և կանխագուշակել երկրաշարժի տեղը, ժամանակը և ուժը: Այս հարցին երկրաշարժագետներից շատերը դեռ պատասխանում են՝ ոչ: Արմեն Նազարովը այս «ոչ»-ի պատասխանը տալիս է այսպես. «Մեր կողմից ընդունված պայմանի համաձայն, մենք ստույգ գիտենք երկրաշարժի ֆիզիկան, սակայն մենք չունենք ճշգրիտ տեղեկություններ երկրագունդը կազմող նյութերի ֆիզիկական հատկությունների և նրանց վիճակների մասին պահանջվող ժամանակահատվածում: Իսկ դրանք շատ բարդ և փոփոխական են: Հատկապես բարդ են ապարների լարումների և մեծ դեֆորմացիաների միջև հարաբերությունները, որոնք մեծապես կախված են նրանց երկրաբանական զարգացման պատմությունից և երկրի ընդերքում եղած ջերմային ռեժիմից»: Հետևաբար երկրաշարժերի կանխագուշակման ճգրիտ տեսության ստեղծման համար անհրաժեշտ է իրականացնել ինչպես գերբարձր ճնշումների և ջերմության տակ ընդերքի նյութերի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունների համալիր տեսական և փորձարարական ուսումնասիրություններ, այնպես էլ երկրաշարժերի «հասունացման» ընթացքի մասին նախանշանների գործիքային սիստեմատիկ դիտարկումների վերլուծություններ և համադրություններ: Ներկայումս երկրաշարժի առաջացման ամենատարածված տեսությունը, դա այսպես կոչված, **Դիլատանսիայի** մոդելն է: Այն առաջին անգամ առաջարկվել է Ռ.Բրեյսի կողմից 1960-ական թվականներին

և զարգացվել է Ա. Նուրի կողմից 1972թ.: Դիլատանսիա ըստ այդ տեսության նշանակում է ապարների դեֆորմացիայի ենթարկման գործընթացում նրանց ծավալի մեծացում: Ընդունվում է, որ երկրի կեղևում երկու լիթոսֆերային սալերի փոխադարձ անկանոն շարժումների պատճառով առաջացած, իրար շղթայակցված (կողերի խորդուբորդության պատճառով) տիրույթների ապարներում ծագում են մեխանիկական լարվածություններ, որոնց որոշ արժեքների դեպքում ապարներում առաջանում են բազմաթիվ միկրոսկոպիկ տարածվող ճաքեր: Դրանք էլ փոփոխում են ապարների ֆիզիկական հատկությունները և մեծացնում վերջիններիս ծավալը: Հետագայում ջուրը թափանցելով այդ ճաքերի մեջ կրկին բերում է ապարների ծավալի մեծացման և երկրի մակերևույթի (էպիկենտրոնային գոտի) բարձրացման ուղշման: Դրա հետևանքով ջուրը տարածվում է ամբողջ լայնացվող գոտում, բարձրացնում ճաքերում առաջացած ծակոտիական ճնշումը և նվազեցնում ապարների ամրությունը: Այդ փոփոխություններն էլ բերում են շղթայակցված հպման հարթության հանկարծակի տրոհման՝ երկրաշարժի, որը կրկին նվազեցնում է ապարներում կուտակված մեխանիկական լարվածությունը, ջուրը դուրս է հոսում ծակոտիներից և ապարները վերականգնում են իրենց նախկին հատկությունները: Այս տեսությունը հայտնի է նաև որպես երկրաշարժի առաջացման **դիլատանսաջրադիֆուզիոն** մոդել (մմանակ): Հայտնի է նաև Մոսկվայի երկրի ֆիզիկայի ինստիտուտի մասնագետների (Վ. Յ. Մյաչկին, Բ. Վ. Կոստրով, Գ. Ա. Սոբոլև, Օ. Գ. Շամինա) երկրաշարժերի առաջացման **դիլատանսա-անկայունության** մոդելը, որը հիմնվում է պինդ մարմինների քայքայման ժամանակակից ֆիզիկական պատկերացումների վրա: Ըստ այդ տեսության, որը բացառում է ջրի դերը, դիլատանսիան նպաստում է ապարների մեջ քառասձև տարածված հին ճաքերի զարգացմանը և նորերի առաջացմանը: Երբ ճաքերի քանակը հասնում է որոշակի մեծության, նրանց միջև ստեղծված փոխազդեցությունը բավականին բարդանում է: Խոշոր ճաքը սահմանափակում է փոքր ճաքերի աճը, եթե դրանք ընկած են մեծ ճաքի որևէ կողմում և, ընդհակառակը, արագորեն զարգանում են այն փոքր ճաքերը, որոնք կազմում են մեծ ճաքի կետագիծ շարունակությունը: Այս գործընթացը հեղեղի պես արագանում է՝ առաջացնելով հսկայական մայրուղային (գլխավոր) ճեղքվածք, որի հակադիր ափերի հարաբերական կտրուկ տեղաշարժերն էլ (քայքայումները) հենց երկրաշարժի պատճառ են դառնում:

Ամենահին և ամենատվորական եղանակը: Այժմ դիտարկենք այն երևույթները և տվյալները, որոնք օգտագործվում են երկրաշարժերի կանխագուշակման համար: Երկրաշարժերի կանխագուշակման ամենահին ու սովորական եղանակը **վիճակագրականն է**, որը հիմնվում է տվյալ տարածքի երկրաշարժաբանական պատմության վրա: Ընդունելով, որ տվյալ տարածքի երկրաբանական ակտիվությունը ժամանակի ընթացքում չի փոխվում, մենք կարող ենք անցյալի երկրաշարժերի թվի, ուժի, կրկնողության ու հետևանքների տվյալների վիճակագրական վերլուծությամբ գնահատել ապագա երկրաշարժերի ծագման ժամանակի և ուժի հավանականությունը: Այս եղանակը ավելի արդյունավետ կլինի այն տարածքների համար, որոնց համար կան բավական երկար տարիների (հարյուրավոր) ընթացքում տեղի ունեցած երկրաշարժերի մասին բովանդակալից պատմական տվյալներ (Հայաստան, Չինաստան): Վերջերս դրական փորձեր են արվել ակտիվ խզվածքների գոտում հորանցքների օգնությամբ խորքային թաքնված ապարների և շերտերի երկրաբանական ուսումնասիրության միջոցով նաև գնահատել

ու հայտնաբերել անցյալի չհիշատակված երկրաշարժերը, որոնք զգալիորեն բարձրացնում են վիճակագրական եղանակի արդյունավետությունը, այն տարածքների համար, որտեղ չկան ստույգ պատմական տվյալներ կամ դրանք վստահություն չեն ներշնչում: 4. Սիխի կողմից այս եղանակով Կալիֆոռնիայի Սան-Անդրեաս խզվածքի հարավային սահմաններում հայտնաբերվել են 8 ուժեղ երկրաշարժեր, որոնք տեղի են ունեցել վերջին 1200 տարվա ընթացքում՝ իրարից 140 տարի միջին ընդմիջումով: Նման եղանակով Հայկական լեռնաշխարհում և հարակից տարածքներում տեղի ունեցած երկրաշարժերի հայտնաբերման ու դրանց ուժգնության գնահատման աշխատանքներ իրականացվում են ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի և ՄՊԱԾ-ի կողմից Ռուսաստանի, Ֆրանսիայի, Իտալիայի, Հունաստանի, Թուրքիայի և Իրանի մասնագետների համագործակցությամբ: Չնայած վիճակագրական եղանակը չի օգնում կանխագուշակել կոնկրետ երկրաշարժի տեղը և ժամանակը, բայց այն ունի հսկայական նշանակություն մախագծվող ապագա շենքերի և կառուցվածքների երկրաշարժերի ազդեցության ենթարկվելու վտանգի աստիճանի գնահատման գործում: Իրականում, ներկայումս, բոլոր սեյսմոակտիվ երկրներում կիրառվող կառուցվածքների սեյսմակայունության նորմերը (շրջանացման քարտեզները) կազմված են այդպիսի տվյալների վիճակագրական ընդհանրացումների հիման վրա: Անցյալի երկրաշարժերի վիճակագրական տվյալների ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տալիս մաս առանձնացնել այսպես կոչված «հանգիստ» կամ «լռյալ» սեյսմիկ գոտիները, որոնք իրականում հանդիսանում են ապագա երկրաշարժերի տեղի հավանական «թեկնածուները»: Այսպիսի կանխագուշակումները սովորաբար անվանում են երկարաժամկետ կանխագուշակումներ:

Երկրաշարժի նախանշանները: Ինչպես նշվեց վերևում, երկրաշարժի «նախապատրաստումը» ուղեկցվում է երկրի ֆիզիկական դաշտերի փոփոխություններով: Երկրի ֆիզիկական դաշտերի տարբեր պարամետրերի գործիքային գրանցման ժամանակակից տեխնիկական հնարավորությունները հույս են ներշնչում, որը դրանցից մի քանիսների մեծությունների փոփոխության ու երկրաշարժերի առաջացման միջև եղած հարաբերակցության (կոռելյացիա) շնորհիվ հնարավոր կլինի կանխագուշակել սպասվող երկրաշարժերը: Երկրի այն ֆիզիկական բնութագրերը, որոնց մեծությունները կանոնավոր կերպով փոփոխվում են երկրաշարժից առաջ, ընդունվում են որպես երկրաշարժի **նախանշաններ**, իսկ նորմալ (իրական) մեծություններից մրանց շեղումները՝ անոմալիաներ: Թվարկենք ներկայումս երկրաշարժագետների կողմից երկրաշարժի կանխագուշակման նպատակով ուսումնասիրվող հիմնական նախանշանները:

Երկրաշարժամետությունը: Տարբեր մագնիտուդայի թույլ երկրաշարժերի առկայությունը կարող է նախապատրաստվող ուժեղ երկրաշարժի ցուցանշան հանդիսանալ: Ուժեղ երկրաշարժերի կանխագուշակման ամենահուսալի ազդանշաններից մեկը տվյալ վայրում նախնական թույլ երկրաշարժի (ֆորշոկի) առկայությունն է: Անցյալի ուժեղ երկրաշարժերի ճնշող մեծամասնությունը աղողեկցվել է նախնական թույլ ֆորշոկներով: Չնայած դժվար է կողմնորոշվել՝ ամեն թույլ երկրաշարժից հետո կիստևի ուժեղը, թե ոչ, բայց ամեն տեղական թույլ երկրաշարժից հետո արժե ցուցաբերել որոշ զգոնություն: Ֆորշոկները, որպես գալիք մեծ արհավիրքի նախազգուշացում հազարավոր մարդկանց կյանք են փրկել (Չիլիում և Ճապոնիայում): Ափսոս, որ բնության ընծեռած այս հնարավորություն-

նից չկարողացանք օգտվել մենք՝ հայերս, քանի որ 1988 դեկտեմբերի 7-ի ժ. 11 անց 41 թույլտվություն տեղի ունեցած Սպիտակի ավերիչ երկրաշարժը նույնպես ուղեկցվել է համապատասխան մախնական զգալի ուժգնության ֆորշոկով մախորդ օրը՝ դեկտեմբերի 6-ին ժամը 19 անց 27 թույլտվություն: Այս մախանշանի բացահայտումը պահանջում է մեծ թվով սեյսմոգրաֆների մշտական ցանցի տեղակայում կանխագուշակման ենթակա բոլոր տարածքներում:

Երկրի կեղևի շարժումները: Կանխագուշակման նպատակով այս մախանշանի օգտագործումը կապված է տրանզուլյացիոն ցանցի օգնությամբ երկրի մակերևույթի գեոդեզիական գծահանումների պարբերաբար կազմակերպման հետ, որոնք հնարավորություն կտան ի հայտ բերել երկրի կեղևի խոշոր ձևափոխությունները (դեֆորմացիաները): Այն ներկայումս իրականացվում է մասնաշրջանային արբանյակների և լուսնի լազերային աղբյուրների օգնությամբ: Այս մախանշանի հայտնաբերումը նույնպես կախված է երկարատև դիտարկումների և խոշոր միջոցների ներդրման հետ:

Երկրի կեղևի առանձին մասերի մտկվածքները և բարձրացումները: Բացահայտված են, որ որոշ երկրաշարժերից առաջ երկրի կեղևի առանձին տեղամասերում տեղի են ունենում հանկարծակի խոշոր մտկվածքներ կամ բարձրացումներ: Օրինակ, 1964թ. Նիիգատայի երկրաշարժից առաջ ցամաքը կտրուկ իջել էր 20 սմ-ով, և դա այն դեպքում, երբ մինչ երկրաշարժը ամբողջ XX դ. առաջին կեսում, այդ տեղամասում, ընդհակառակը, գրանցվում էին տարեկան 2 մմ բարձրացումներ: Այս մախանշանի հայտնաբերման համար անհրաժեշտ է կազմակերպել կանխագուշակվող տարածքների սիստեմատիկ ճշգրիտ մակարդակաչափումներ:

Երկրի մակերևույթի թեքումները (թեքվածքները): Այս մախանշանի փոփոխությունները գրանցվում են հատուկ թեքաչափիչների ցանցի օգնությամբ: Նախանշանի հայտնաբերումը նույնպես կախված է երկարատև ժամանակահատվածում մեծ թվով չափիչ ցանցի դիտարկումների կազմակերպման հետ:

Ապարների դեֆորմացիաները: Այս մախանշանի հայտնաբերման համար փորվում են հատուկ հորատանցքեր և այնտեղ տեղադրում դեֆորմոգրաֆներ՝ ապարների երկու հարևան կետերի հարաբերական տեղափոխությունները չափելու համար: Այս գործիքները այնքան զգայուն են, որ ընդունակ են գրանցել նույնիսկ երկնային մակընթացություններից՝ երկրի հետ Լուսնի և Արևի գրավիտացիոն փոխաձգությունից, (երբ նրանք գտնվում են միևնույն ուղղի վրա) ապարների դեֆորմացիաները:

Ջրերի մակարդակը ջրիոսներում և հորատանցքերում: Երկրաշարժից առաջ ջրիոսներում և հորատանցքերի ջրի մակարդակը հաճախ իջնում կամ բարձրանում է, որը, հավանական է, պայմանավորված է ապարների լարվածության աստիճանի մակարդակով: Այս երևույթը նույնպես կարող է երկրաշարժի առաջացման մախանշան հանդիսանալ:

Սեյսմիկ ալիքների արագությունների մեծությունների հարաբերությունների փոփոխությունը: Սեյսմիկ P և S ալիքների տարածման արագությունների v_p և v_s մեծությունները կախված են ապարների լարվածային վիճակից և նրանցում ջրի պարունակությունից: Հետևաբար, նրանց մեծությունների փոփոխությունները կարելի է ընդունել որպես սպասվող երկրաշարժի մախանշան: Ընդ որում որպես մախանշան ընդունվում են ոչ թե նրանց մեծությունների բացարձակ փոփոխությունները, այլ նրանց v_p/v_s հարաբերության փոփոխությունը: Առաջին անգամ

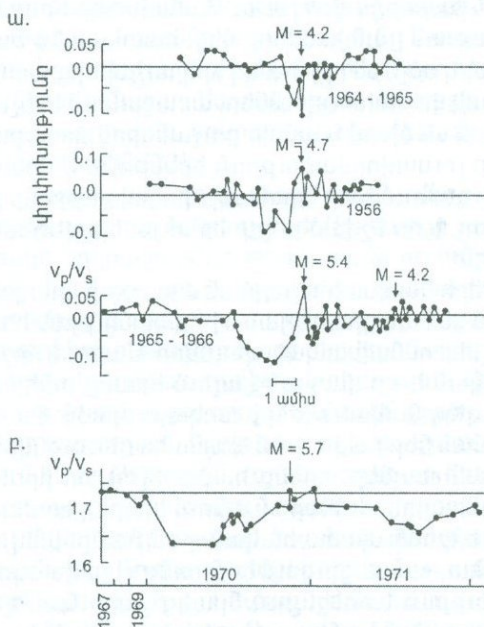
այս նախանշանի մասին ստույգ տվյալներ ստացել են սովետական մասնագետները (Ի. Լ. Ներսեսով, Ա. Մ. Կոնդրատենկո և ուրիշներ) դեռևս 1960-ական թվականներին Տաջիկստանում կատարված հետազոտությունների արդյունքում: Հարյուրավոր թույլ երկրաշարժերի սեյսմոգրամների հիման վրա ստացված v_p/v_s հարաբերությունների վիճակագրական մշակման տվյալները ցույց են տվել, որ ուժեղ հարվածներից առաջ նրանք կրում են զգալի փոփոխություններ (մինչև 10-15% երկրաշարժից 2-3 ամիս առաջ): Ընդ որում երկրաշարժը տեղի է ունենում, երբ v_p/v_s հարաբերությունը կրկին վերադառնում է իր կանոնավոր մեծությանը՝ 1.73 (նկ. 1.53): Անոմալիայի (շեղման) տևողությունը կախված է սպասվող երկրաշարժի ուժից, իսկ նրա մեծությունը՝ ոչ: v_p/v_s հարաբերության փոփոխությունը հիմնականում տեղի է ունենում v_p -ի փոփոխության հաշվին: Երկրաշարժերի կանխագուշակման գործում v_p/v_s փոփոխության նախանշանին շատ մեծ տեղ է հատկացվում:

Վերը շարադրված երկրաշարժի առաջացման դիլանտասա-ջրադիֆուզիոն մոդելի հեղինակները փորձում էին այդ տեսությամբ բացատրել v_p/v_s անոմալիաները: Եվ քանի որ v_p/v_s հարաբերությունը կարելի է որոշել ոչ միայն իրական երկրաշարժի սեյսմոգրամի օգնությամբ, այլ և արհեստականորեն փոքր հզորության պայթեցումների գրանցումների մշակման շնորհիվ, ապա այս նախանշանի հետ մեծ հույսեր էին կապում: Սակայն այս հարցում նույնպես կան լուրջ տարակարծիքներ, քանի որ կան տվյալներ, որոնք վկայում են, որ միշտ չէ, որ ուժեղ ($M=4+5$) երկրաշարժերն ուղեկցվում են v_p/v_s -ի հարաբերության փոփոխությամբ: Այդպիսի փոփոխություններ չեն նկատվել նաև Կենտրոնական Կալիֆոռնիայում 10 տարիների ընթացքում հանքավայրերում պայթեցումների ընթացքում ստացված գրանցումների վերլուծության ժամանակ: Այդ պատճառով ամերիկյան որոշ մասնագետների կարծիքով այս նախանշանը կիրառելի չէ Կալիֆոռնիայի համար, որտեղ երկրաշարժերը հիմնականում ունեն սահիքի բնույթի տարբերություն Տաջիկստանի, որտեղ երկրաշարժերն ունեն վրաշարժի բնույթ: Որոշ հետազոտություններ ցույց են տալիս, որ v_p/v_s -ի զգալի փոփոխություն նկատվում է ապարներում՝ ճեղքին ուղղահայաց ուղղությամբ, քան զուգահեռ: Ենթադրվում է, որ երկրի խորքում ճեղքերը զուգահեռ են երկրի մակերևույթին: Այդ պատճառով երկրի խորքից իրական երկրաշարժից եկող ալիքները ավելի զգայուն են, քան վերին շերտերից արձակվողները պայթեցումների ընթացքում: Մյուս կողմից՝ v_p/v_s փոփոխության նախանշանի առկայությունը ապացուցվել է մի շարք ճապոնական, չինական, ամերիկյան միջին և շատ ուժեղ ($M=7.5$ Նիիգատա) երկրաշարժերի համար: Այսպիսով, չնայած համեմատաբար լավ հիմնավորվածությանը, այս նախանշանի կիրառումը կանխագուշակման գործում նույնպես բավարար չի սալիություն չունի և կապված է շատ հարցականների հետ: Բացի դրանից, որպեսզի հատուկ պայթեցումների ժամանակ v_p/v_s չափումները ունենան կիրառական նշանակություն և կապվեն կանխագուշակվող իրական երկրաշարժի հետ, դրանք պետք է իրականացվեն միևնույն տեղում հնարավորին չափ հաճախ, քանի որ երկրաշարժը կարող է կրկնվել 10, 50 կամ 100 տարի ընդմիջումներով:

Երկրի մագնիսական դաշտի լարվածության փոփոխությունը: Լեռնային ապարների դեֆորմացիաների հետևանքով երկրի մագնիսական դաշտը ենթարկվում է տեղական փոփոխությունների, որոնք նույնպես կարող են երկրաշարժի կանխագուշակման նախանշան հանդիսանալ: Այդպիսի փոփոխությունները,

որոնք չափվում են հատուկ մագնիսոչափիչների օգնությամբ, իրականում դիտարկվել են մեծ թվով երկրաշարժերից առաջ:

Երկրի էլեկտրական դաշտի լարվածության փոփոխությունը: Մի շարք երկրաշարժերից առաջ նկատվել են նաև էլեկտրական դաշտի լարվածության զգալի փոփոխություններ, որոնք հիմնականում պայմանավորված են ուսումնասիրվող տեղամասի ապարներում ջրի պարունակության մակարդակի հետ, այսինքն՝ այս նախանշանը հարաբերակցվում է երկրաշարժերի առաջացման դիլատացիոն-ժրադիֆուզիոն տեսության հետ:



Նկ. 1.53

v_p/v_s հարաբերության փոփոխման օրինակները

ա. Տաջիկստանի Գարմի շրջանում,
բ. 1970 թվի Սիդզի (Չինաստան)
երկրաշարժից առաջ (բ) [43]:

Ողղաձիգ սլաքներով նշված են տեղի ունեցած երկրաշարժերի պահերը, իսկ M-ը երկրաշարժի մագնիտուդի մեծությունն է.

Հիդրոքսիմիական նախանշանները: Երկրաշարժից առաջ հորերում և հորատանցքերում փոխվում է ջրի մակարդակը, աղբյուրների ջրի ելքը: Ջրերը պղտորվում են, փոխվում է նրանց քիմիական կազմը, ռադիոակտիվությունը և հատկապես ռադոնի պարունակությունը, որոնք նույնպես կարող են երկրաշարժի առաջացման նախանշան լինել:

Կենսաբանական նախանշանները: Հարյուրավոր տարիներ շարունակ հաղորդվում են երկրաշարժից առաջ կենդանիների (կատուներ, շներ, խոշոր և մանր եղջերավոր անասուններ, տմային թռչուններ, ձկներ, օձեր, մեղուներ) վարքի անսովոր փոփոխությունների մասին, բայց հետազայում հաճախ պարզվում է, որ այդ փոփոխությունները տեղի են ունենում երկրաշարժից հետո և ոչ թե նրանից առաջ: Հաճախ դժվար է լինում պարզել, արդյո՞ք կենդանիների վարքի այդպիսի փոփոխությունները իսկապես կապված են երկրաշարժի հետ (երկրաշարժից առաջ կամ հետո), թե եղանակի փոփոխության, ընդունած սննդի կամ առողջական վիճակի հետևանք են: Մյուս դժվարությունը կայանում է նրանում, որ հաճախ այդպիսի տեղեկությունները ստացվում են երկրորդ և երրորդ անձանց կողմից

արդեն մի քանի անգամ «վերախմբագրված» տեսքով և վստահություն չեն ներշնչում: Սկզբունքորեն հնարավոր է, որ որոշ կենդանիներ ընդունակ են ընկալել երկրաշարժից առաջ, ինչպես նշվեց վերևում, երկրի մագնիսական և էլեկտրական դաշտի փոփոխությունները, ինչպես նաև գետնի շատ թույլ ցնցումները, որոնք մարդիկ չեն զգում: Այս կապակցությամբ վերջին տարիներին տարբեր երկրներում կենդանիների վարքի վերաբերյալ տարվում են բազմաթիվ հետաքրքիր հետազոտություններ: Բայց իրականում այն հարցի պատասխանը, ինչպես օգտվել այս նախանշանից երկրաշարժը կանխագուշակելու համար, առայժմ մնում է անորոշ:

Տարօրինակ եղանակ, ծիածան և խորհրդավոր լույս: Հաճախակի երկրաշարժի ենթարկվող երկրների բնակչության լայն խավերի մեջ, հատկապես ճապոնիայում, տարածված է նաև այն վարկածը, թե իբր ուժեղ երկրաշարժից առաջ տեղի է ունենում եղանակի տարօրինակ փոփոխություններ, առաջանում է շնչահեղձություն, օդը լցվում է տարօրինակ սև ծխով և ամպի քուլաներով, առաջանում է եռագույն ծիածան և գունավոր լուսավորվածություն երկնքում: Մասնագետ երկրաշարժագետների մեծ մասը գտնում է, որ եղանակի փոփոխությամբ չի կարելի կանխագուշակել երկրաշարժը, և որ նշված բոլոր երևույթները լեգենդներ և մտացածին պատմություններ են:

Մտահավատություն: Երկրաշարժերի կանխագուշակման այս բոլոր իրական նախանշաններին հաճախ ավելանում են նաև գիտության և իրականության հետ ոչ մի առնչություն չունեցող առասպելներ ու նախապաշարումներ: Մարդիկ միշտ էլ վախեցել են երկրաշարժից և բնական է, որ վաղ անցյալում նրանք անհրաժեշտ են գտել այն բացատրել ինչ որ գերբնական ուժերի առկայությամբ: Բայց, դժբախտաբար, գիտության զարգացման ներկա փուլում նույնպես դեռ գտնվում են առանձին և նույնիսկ «կրթված» անհատներ, որոնք համարելով, որ իրենք օժտված են հատուկ շնորհներով, կանխատեսումներ են անում երկրաշարժերի մասին: Այդ կանխատեսությունները երբեմն պատահականորեն համընկնելով որևէ իսկական երկրաշարժի (թույլ) հետ, «ապացուցում է» նրանց «կանխագուշակումը», որը նոր փառք ու ոգևորություն է ոգեշնչում նրանց շարունակելու զբաղվել խաբեբայությամբ: Անշուշտ այդպիսի կանխագուշակումները ոչ մի կապ չունեն իրական երկրաշարժերի ծագման պատճառների ու ժամանակի հետ և կարող են միայն թյուրիմացության մեջ գցել դյուրահավատներին:

Թողարկիչ բանալի: Երկրաշարժի կանխագուշակմամբ զբաղվող մասնագետներին միշտ հետաքրքրում է մի կարևոր հարց. երկրաշարժի առաջացման ինչ-որ «թողարկիչ բանալի» կամ մեխանիզմ գոյություն ունի, թե՛ ոչ: Այդպիսի մեխանիզմի դերը կարող է կատարել որևէ ֆիզիկական երևույթ, որը հարուցում (հրահրում) է խիստ դեֆորմացված ապարների քայքայումը: Ինչպես նշվեց վերևում, ճնշող մեծամասնությամբ ուժեղ երկրաշարժերի համար թողարկիչ մեխանիզմի դերը կատարում է տվյալ վայրում նախօրոք տեղի ունեցած թույլ երկրաշարժը: Չի բացառվում նաև, որ տվյալ վայրում երկրաշարժի թողարկիչ բանալին մի այլ վայրում տեղի ունեցած երկրաշարժը լինի: Լայն տարածում ունի այն թեզը, որ թողարկիչ մեխանիզմի դերը կարող են կատարել մթնոլորտային երևույթները, մասնավորապես Լուսնի և Արևի ձգողությամբ պայմանավորված երկնային (առածգական) մակընթացության ազդեցությունը, որի ժամանակ անհավասարաչափ դեֆորմացիայի է ենթարկվում Երկիր պինդ մարմինը: Առածգական մակընթացության ազդեցությունը հասնում է իր առավելագույն

արժեքին, երբ Արևը, Լուսինը և Երկիրը շարժվում են մեկ ուղիղ գծով (նորալուսնի և լիալուսնի օրերին): Չնայած նրան, որ Արևի, Լուսնի և Երկրի փոխադարձ դասավորվածությունը որպես երկրաշարժի առաջացման թողարկիչ մեխանիզմ ընդունելու գաղափարը թվում է ճշմարտաման, և շատ հետևորդներ ունի, այդ թվում նաև Հայաստանում, այնուամենայնիվ ԱՄՆ-ի Երկրաբանական ծառայության մասնագետների կարծիքով անցյալում Կալիֆոռնիայի տարածքում տեղի ունեցած հարյուրավոր երկրաշարժերի ժամանակների և Երկրի առաձգական մակընթացության ժամանակների միջև համապատասխան հարաբերակցություն չի նկատվում [23, 94]: Ինչպես ցույց են տալիս հաշվարկումները մյուս մոլորակների ձգողության ազդեցությունը Երկրի դեֆորմացիաների վրա, շատ ավելի նվազ է, քան Լուսնի ազդեցությունը և պատահական չէ, որ 1981-82 թվականներին, երբ տեղի էր ունեցել մոլորակների հերթական (180 տարին մեկ) «շքերթը» Վեներան, Մարսը, Սատուրնը, Յուպիտերը, Երկիրը և Արեգակը գտնվում էին միևնույն ուղղի վրա, երկրագնդի սեյսմիկ ակտիվության բարձրացման միտումներ չենկատվեցին [23]:

Կարող են արդյոք ստորգետնյա միջուկային պայթեցումները արհեստականորեն հրահրել երկրաշարժ: Այս հարցը շատերին էր հուզում, հատկապես Սպիտակի երկրաշարժից հետո, քանի որ հայտնի էր, որ դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժից 3 օր առաջ Նոր Երկիր կղզում իրականացվել էր հզոր ստորգետնյա միջուկային պայթեցում: Երկրաշարժագետների դիտարկումներով վերջին 30 տարիների ընթացքում, երբ սկսվել են ստորգետնյա միջուկային պայթեցումները, երկրագնդի վրա սեյսմիկ ակտիվության միտումներ չեն նկատվել: Հայտնի է, որ Երկրի վրա մարդու որոշ տեխնոգեն գործունեության պատճառով մեծ ջրամբարների կառուցում, նավթի և գազի հանքավայրերի երկարատև շահագործում բերում են ոչ մեծ ուժգնության տեղական երկրաշարժերի առաջացմանը: Հետևաբար հարց է առաջանում կարող է արդյոք ստորգետնյա միջուկային պայթեցումը նույնպես երկրաշարժի ծագման պատճառ դառնալ: Այս հարցի դրական պատասխանը մոտ տարածքների համար ունի մեծ հավանականություն: Մասնավորապես 1968 թ. Նեվադայի նահանգում 6.3 մագնիտուդայով ստորգետնյա ատոմային պայթեցումից հետո 10×10 կմ² տարածքներում գրանցվել են թույլ աֆտերշոկեր: Միջուկային պայթեցման ժամանակ ամբողջ էներգիայի մի չնչին, 1 – 5%-ն է տարածվում սեյսմիկ ալիքների տեսքով (մնացածը վեր է ածվում մի քանի տասնյակ մետր շառավղով տարածքում ջերմային էներգիայի), որոնք 1000 կմ հեռավորության (Սպիտակը Նոր Երկրից գտնվում է մոտ 4000 կմ հեռավորության վրա) վրա առաջացնում են մոտ 1 միկրոն զետմի տեղաշարժեր, որոնք դժվար թե արհեստական երկրաշարժի ծագման պատճառ դառնան («Природа» №12, 1989):

Ամփոփելով վերը թվարկած նախանշանների վերլուծությունը՝ նշենք, որ երկրաշարժը այնքան բարդ ֆիզիկական երևույթ է կապված լիթոսֆերային սալերի բարդ շարժման, ապարների ամրության առանձնահատկությունների, լոկալ և ռեգիոնալ երկրաբանական կառուցվածքի, երկրագնդի ներսում անընդհատ տեղի ունեցող ֆիզիկա-քիմիական պրոցեսների, Երկրի, որպես տիեզերական մարմնի, նրա բարդ պտտական շարժումների, ստորգետնյա ջրերի վիճակի և տասնյակ այլ գործոնների հետ, որոնք տարբեր են երկրագնդի տարբեր ռեգիոններում: Ուստի երկրաշարժի առաջացման համակապվածության մակարդակը նշված նախանշաններից որևէ մեկի հետ շատ ցածր պիտի լինի: Ներկայումս

ուղղակի բացակայում է երկրաշարժին նախորդող որևէ երևույթի վերաբերյալ ամփոփ և համոզիչ տվյալների պաշարը, որը հնարավորություն ստեղծի հուսալի կանխագուշակման համար: Կանցնեն երկար տարիներ, տեղի կունենան բազմաթիվ երկրաշարժեր, մինչև կհասնենք այդ նպատակին: Ցանկացած երկրաշարժավտիվ երկրում, երկրաշարժածին գոտիները գրավում են զգալի տարածքներ: Կանխագուշակման աշխատանքները այդ տարածքների համար պահանջում են հսկայական միջոցներ ու հետևողական գերճիշտ դիտարկումների կազմակերպում: Այնուամենայնիվ, ընկրկելով բնության այս, թերևս, ամենաբարդ երևույթի առջև, ամերիկյան հայտնի մասնագետներ Դ. Գիրի և Յ. Շախի խոսքերով ասած «...մենք համոզվածությամբ կարող ենք կանխագուշակել, որ ապագա երկրաշարժերի մեծ մասը չեն կանխագուշակվի» [23]:

Անհաջող կանխագուշակումներ: Բնական է, որ ուժեղ երկրաշարժերի անհաջող կանխագուշակումների թիվը շատ ավելի է, քան հաջողվածներինը: Բերենք մի դիպուկ օրինակ: 1981 թվի հունվարին երկու ամերիկյան սեյսմոլոգներ հայտարարեցին, որ 1981 թվի հուլիս-սեպտեմբեր ամիսներին Պերուի ափերին և Չիլիի հյուսիսում տեղի կունենան երեք ուժեղագույն երկրաշարժեր՝ համապատասխանաբար 8.5, 9.4 և 9.9 մագնիտուդաներով: Անկարագրելի է այս հաղորդման արծագանքը, մանավանդ որ մինչ այսօր գրանցված ամենաուժեղ երկրաշարժը ունեցել է 8.9 մագնիտուդա: Պերուի հասարակությանը այս հաղորդումը այնքան անհանգստացրեց, որ կառավարության հանձնարարությամբ 12 ամերիկյան մասնագետներից կազմված հատուկ խումբը երկու օր շարունակ քննարկեց խնդիրը և հանգեց այն եզրակացության, որ նման կանխագուշակման համար գիտական լուրջ հիմքեր չկան: Եվ իրոք 1981թ. նշված տարածքներում ուժեղ երկրաշարժեր չեղան [23]: Անհաջող կանխագուշակումներ եղել են նաև այլ երկրներում, այդ թվում մի քանի անգամ Չինաստանում, ԱՄՆ-ում, Ճապոնիայում:

Եվ վերջապես ինչ կտա երկրաշարժի կանխագուշակման խնդրի լուծումը: Այն մեզ չի փրկի երկրաշարժից: Երկրաշարժը միևնույն է հսկայական վնաս կատարող շենքերին և կառուցվածքներին: Բացի դրանից մի թե հուսալի կանխագուշակման դեպքում (տեղը՝ տասնյակ կիլոմետրերի, ժամանակը՝ մի քանի օրերից մինչև մի քանի ամիս, մագնիտուդան՝ 1-2 միավորի ճշտությամբ) անգամ հնարավոր է միլիոնաճոց բնակչությամբ քաղաքների, ասենք մեր մայրաքաղաք Երևանի, մարդկանց և նյութական արժեքների բարեհաջող տեղահանումը և վերադարձը: Կանխագուշակվող երկրաշարժից պաշտպանվելու միջոցառումները ամբողջ հասարակությանը կենթարկեն տնտեսական և սոցիալական լուրջ ցնցումների: Իսկ եթե երկրաշարժը բարեբախտաբար տեղի չունեցավ, կարդարացվեն արդյոք այն ահռելի տնտեսական վնասները միայն նրանով, որ երկրաշարժը կարող էր և տեղի ունենալ:

Հատկանշական է, որ ժամանակակից երկրաշարժագիտության հիմնադիրներից Չ. Ռիխտերը ասել է՝ *«Ինձ դուր չի գալիս երկրաշարժերի կանխագուշակման նկատմամբ այդ հիվանդագին հետաքրքրությունը: Այն չեղում է մեր ուշադրությունը արդեն հայտնի վտանգից և այն հայտնի միջոցառումներից, որոնք անհրաժեշտ են իրականացնել այդ վտանգը վերացնելու համար: Մեզ հայտնի են այն տարածքները, որոնք վտանգ են սպառնում և գիտենք որոնք են այն շինությունները, որոնք անհուսալի են այդ տարածքներում»:*

1.17 ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻՆ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՎԵԼԸ

Երկրաշարժերից պաշտպանության լավագույն միջոցը՝ նրանց նախապատրաստվելն է: Այն կարելի է իրականացնել առաջին հերթին նախագծվող և կառուցվող շինությունների երկրաշարժադիմացկունության դրույթների կատարելագործմամբ: Այլ կերպ ասած շեշտը պետք է դնել շինության պաշտպանության խնդիրների վրա, այլ ոչ թե այն օրվա ու պահի, երբ տեղի կունենա դրա փլուզումը: **Չէ որ մարդիկ մահանում են ոչ թե բուն երկրաշարժից, այլ երկրաշարժի հետևանքով շենքերի ու կառույցների փլուզումներից:**

Երկրաշարժով պայմանավորված մեզատիվ հետևանքների գնահատման համար առաջնային գիտական խնդիր է դառնում **երկրաշարժի ժամանակ շենքերի և կառույցների վարքի կանխագուշակման հարցերը:** Քանի որ ցանկացած կանխագուշակման նպատակը հնարավոր վնասակար հետևանքների մակարդակի նվազեցումն է, ապա երկրաշարժի ժամանակ կառույցի վարքի հիմնավորված կանխատեսումը թույլ կտա կիրառել նախագծման ու շինարարության այնպիսի եղանակներ, որոնց իրականացման դեպքում կառույցները ունակ կլինեն դիմադրել երկրաշարժին՝ հակասեյսմիկ միջոցառումների համար նախատեսվող նվազագույն ծախսերով, կամ, ինչպես ընդունված է ասել մասնագետների շրջանում՝ **սեյսմիկ ռիսկի** մեծությունը կհասցվի նվազագույնի:

Երկրաշարժի ժամանակ կառույցի վարքի կանխագուշակման հիմնախնդիրը իր մեջ ներառում է փոխադարձ պայմանավորված հարցերի մի լայն շրջանակ, որոնցից գլխավորներ են՝ շինարարական իրապարակի որոշ խորության գրունտային անհամասեռ, բարդ ստրուկտուրային ստվարաշերտի ապարների ֆիզիկա-մեխանիկական, ակուստիկական, հիդրոլոգիական բնութագրերը և դրանցով պայմանավորված գրունտի (հիմնատակի) բարդ տարածական շարժումների օրինաչափությունները մի կողմից և վերգետնյա ապագա կառույցի կոնստրուկտիվ, ծավալահատակագծային լուծումների առանձնահատկությունները ու կիրառվող շինարարական նյութերի, կրող տարրերի և հանգույցների ամրության ու դեֆորմացիոն հատկանիշները մյուս կողմից: Երկրաշարժի ծագման մեխանիզմը, ինչպես մշվեց վերևում, դեռ անորոշ կողմեր շատ ունի, առավել բարդ է նրա դրսևորման կանխագուշակումը օջախից որոշակի հեռավորության վրա և գրունտային որոշակի պայմաններով Երկրի մակերևույթի վրա՝ նախագծվող կառույցի շինհրապարակում:

Բայց, այնուամենայնիվ, վերջին մի քանի տասնամյակների ընթացքում ուժեղ երկրաշարժերի գրանցումների ուսումնասիրությունները ու նրանց վիճակագրական վերլուծությունները և դեֆորմացիայի ենթարկվող պինդ մարմինների մեխանիկայի նվաճումները թույլ են տվել մշակել շենքերի և կառուցվածքների վրա երկրաշարժերի ներգործության, իրականությանը բավական մոտ մի տեսություն (մոդել), որի օգնությամբ հնարավոր է տվյալ շինարարական իրապարակի գրունտային պայմանների մասին տվյալների և նախագծվող շինությունների կառուցատարրերի և շինարարական նյութերի լարվածադեֆորմացիոն հատկանիշների հիման վրա կանխատեսել ապագա կառույցի վարքը գալիք երկրաշարժերի ժամանակ՝ ընդհուպ մինչև նրա առանձին տարրերի քայքայումը: Տեսության միջոցով հնարավոր է դառնում նաև այդ քայքայումների թուլատրելի մակարդակների նախատեսումն (ծրագրավորում) ու կառավարումը: Այս, այսպես կոչված երկրաշարժերի **ներգործության սպեկտրալ** եղանակը տարբեր ձևափո-

խոթելու ներքին շարժումներով այժմ ընդունված է բոլոր երկրաշարժավտանգ երկրների (այդ թվում Հայաստանի Հանրապետության) երկրաշարժակայուն շինարարության նորմերում: Բնական է, որ նշված եղանակի առանձին տարրերը պարբերաբար ճշգրտվում են տվյալ երկրի տարածքում հերթական ուժեղ երկրաշարժի գրանցումների հատուկ մշակումների, շենքերի վրա երկրաշարժի թողած հետևանքների (այդ թվում նաև գործիքով չափված) և սեյսմակայունության վերաբերյալ կատարված նոր տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունների միջոցով:

Գետնի իրական շարժումների կինեմատիկական պարամետրերի մասին ինֆորմացիայի միակ աղբյուրը գործիքային այն տվյալներն են, որոնք ստացվում են ուժեղ երկրաշարժերի գրանցումների ժամանակ: Բնական է, որ այդ պարամետրերի հուսալի վիճակագրական գնահատման և դրանց հիման վրա հուսալի երկրաշարժադինամիկայում շինությունների նախագծման ու կառուցման համար, գործիքային ինֆորմացիան պետք է հաթաթվի տասնյակ տարիների ընթացքում սեյսմոլոգիայի ողջ տարածքի մեծաթիվ դիտակետերից: Ցավոք, ուժեղ երկրաշարժերի ($M > 4$) ժամանակ տարբեր գրունտային տեղամասերում գետնի և նրանց վրա կառուցված տարբեր կոնստրուկտիվ լուծումներով շենքերի (տարբեր մակարդակների) արագացումները գրանցող հուսալի, ժամանակակից, աքսելերոգրաֆների (ինքնուրույն միացվող ու անջատվող) ցանցի բացակայության պատճառով մեր հանրապետության տարածքի համար անցյալում այդպիսի տվյալների բանկ չի ստեղծվել: Այդպիսի ցանցի բացակայության պատճառով մուլնիսկ 1988թ. Սպիտակի մեծ հազվադեպ երկրաշարժի ժամանակ գետնի և շենքերի տատանումների շատ սակավաթիվ (երկու տեղամասերում՝ Աշոցք և Երևան) գրանցումներ ունեցանք: Համեմատության համար նշենք, որ 1989թ. հոկտեմբերի 18-ի Լոմո-Պրիետայի (Կալիֆոռնիա) երկրաշարժի ժամանակ շուրջ 250 կմ շառավղով տարածքներում 125 բնահողային տեղամասերում, բազմահարկ բնակելի շենքերում, կամուրջներում, ամբարտակներում ստացվել են երկրաշարժից առաջացած շուրջ 690 տատանման գրանցումներ [84]: Ներկայումս մուլնալես այդպիսի հուսալի ցանցի կազմակերպումը հանրապետության ողջ տարածքի համար ընթանում է շատ դանդաղ, որի վկայությունն է 1993թ. դեկտեմբերի Մարտունու և հենց վերջերս՝ 1997թ. հուլիսին Նոլենբերյանի երկրաշարժերի ժամանակ VII բալ ուժգնությամբ ցնցումների ենթարկված տարածքներում, ուր մեծ քանակությամբ հին կառուցապատված շենքեր և տներ ստացել էին լուրջ վնասվածքներ, գետնի տատանումների գործիքային գրանցումների (աքսելերոգրամների) բացակայությունը, իսկ անցյալում այդ նպատակով կազմակերպված Երևան և Գյումրի քաղաքների ինժեներասեյսմաչափիչ կայանների ցանցերը ֆինանսավորման բացակայության պատճառով գտնվում են անմխիթար վիճակում, որը լուրջ մտահոգությունների տեղիք է տալիս:

Կառույցների վարքի կանխագուշակման գործում ոչ պակաս նշանակություն ունեն նաև գրունտի իրական շարժումների օրինաչափություններով ծրագրավորված գրգռումներ առաջացնող հզոր՝ «*արհեստական երկրաշարժերի*» եղանակների կիրառումը: Դա իրականացվում է հատուկ սարքերի՝ երկրաշարժահարթակների և թրթռիչների օգնությամբ: Եղանակը հնարավորություն է տալիս լաբորատոր կամ իրական պայմաններում փորձարկել շինությունները կամ դրանց մեծամասշտաբ նմանակները ընդհուպ մինչև նրանց լրիվ փլուզումները: Այս ամենի համար կապահանջվեն զգալի միջոցներ, բայց նրանք հարյուրապատիկ

անգամ ավելի քիչ են, քան երկրաշարժի կանխագուշակման համար պահանջվող միջոցները, և մենք համոզված ենք, որ նրանք կհատուցվեն հարյուրապատիկ:

Սակայն երկրաշարժակայուն շինարարության ամենակատարյալ ու խստապահանջ նորմերն անգամ չեն երաշխավորի շինության անվտանգությունը երկրաշարժի ժամանակ, եթե այն նախագծվել է նորմերի կոպիտ խախտումներով, շինարարական աշխատանքները իրականացվել են անորակ, և շահագործման ընթացքում շինությունը բնակիչների կողմից ենթարկվել է զանազան ինքնական փոփոխությունների: Ցավոք, նման խախտումները կատարվում էին ինչպես մինչև Սպիտակի աղետը, այնպես էլ, ավելի մեծ մասշտաբներով, ներկայումս: Նման հիմնախնդիրների լուծման համար նպատակահարմար է ստեղծել նոր տիպի պետական և մասնավոր անկախ փորձագիտական ու վերհսկիչ կազմակերպություններ, որոնց խնդիրը պետք է լինի առանց շեղումների շինարարական նորմերի կիրառման վերհսկումը, շինարարության ընթացքում շինմոնիտաժային աշխատանքների որակի ապահովումը և շահագործման ընթացքում շինություններում անհարկի փոփոխությունների արգելումը: Հասարակության յուրաքանչյուր անդամ պետք է իրավունք ունենա ակտիվորեն միջամտել իր անվտանգության համար անհրաժեշտ այս միջոցառումների իրականացմանը:

Ցավոք, ինչքան էլ դառնորեն դա հնչի, երկրաշարժերի ժամանակ շինությունների լիակատար պահպանությունը երաշխավորել գործնականորեն անհնար է: **Մենք որոշակի ռիսկի ենք զննում** շենքերի և կառուցվածքների շինարարության ժամանակ: Ընդ որում, հնարավոր վտանգի հավանականությունը աճում է հին բազմահարկ կառուցապատված և բնակչության բարձր խտությամբ տարածքների համար: Ուստի անհրաժեշտ է մշտապես պատրաստ լինել հնարավոր արտակարգ իրավիճակներին, որը կստեղծի նոր երկրաշարժը: Իսկ այս գործում ամենակարևորագույն քայլը պետք է լինի շահագործվող շենքերի և կառուցվածքների զննումն ու երկրաշարժադիմացկունության մակարդակի պարբերաբար բացահայտումը (ատեստավորումը), ըստ ստացված տվյալների անբավարարների քանդումը, նվազագույնների ամրացումը: Այս կապակցությամբ նպատակահարմար է ԱՄՆ-ի, Ճապոնիայի և մյուս երկրների օրինակով մշակել շահագործվող նվազ ամրության շինությունների (առաջին հերթին դպրոցների, հիվանդանոցների, մարդկանց զանգվածային կուտակման և կենսաապահովման օբյեկտների) երկրաշարժադիմացկունության մակարդակի բարձրացման երկարաժամկետ ազգային ծրագիր՝ ուժեղացման օպտիմալ եղանակների (գերադասելի է առանց բնակիչների տեղահանման) լուծումներով և ըստ տարիների համապատասխան ֆինանսական միջոցների հայթայթումով: Շատ կարևոր է իշխանության օղակներին, նախագծողներին, շինարարներին և ողջ բնակչությանը պարբերաբար հիշեցնել անցյալի ավերիչ երկրաշարժերի դառը դասերը: Այդ տեսակետից ամենախոցելի շինությունների, ճակատներին նշմարելի տեղերում մշտական հիշեցման համար նպատակահարմար է փակցնել հատուկ զգուշացնող ցուցատախտակներ: Երկրաշարժերին դիմակայելու մյուս կարևոր պայմանը բնակչության և պետության նախապատրաստվելն է: Աղետ չապրած մարդիկ երկրաշարժի ժամանակ հաճախ ենթարկվում են մեծ հուզական ցնցումների և կարող են դիմել անմիտ գործողությունների: Այդ պատճառով բոլոր մարդիկ, որոնք ապրում են երկրաշարժավտանգ տարածքներում, պետք է տարրական գիտելիքներ ունենան երկրաշարժի և նրանից պաշտպանության մասին (տես հավելված 7): Դպրոցականներին պետք է պարտադիր տեղեկացնել երկրաշարժերի մասին

և նախապատրաստել հաղթահարելու վախի զգացումը և հանգիստ տանել երկրաշարժը: Բնակչությանը անհրաժեշտ է պարբերաբար սովորեցնել անձնական և հասարակության մյուս անդամների անվտանգությունը ապահովող տարրական հմտություններին, ինչպես բուն երկրաշարժի ժամանակ, այնպես էլ երկրաշարժից անմիջապես հետո: Այս նպատակների համար պետք է օգտագործել զանգվածային լրատվության բոլոր միջոցները և առաջին հերթին՝ հեռուստատեսությունը: Բնակչության շրջանում պետք է անցկացնել **ուսումնական սեյսմիկ տագնապներ**: Երկրաշարժի առաջին ժամերին և օրերին **մեծ պատասխանատվություն է ընկնում նաև զանգվածային լրատվության միջոցների վրա**: Սովորաբար ուժեղ երկրաշարժից հետո տարածվում են ամեն տեսակ անհիմն լուրեր՝ երկրաշարժի մտացածին պատճառների, սպասվող ավելի ավերիչ հարվածների, մեծ թվով զոհերի և ավերածությունների ծավալների մասին, որոնք ապակայունացնում են առանց այդ էլ տագնապված հասարակական գիտակցությունը: Զանգվածային լրատվության միջոցները ոչ միայն չպետք է նպաստեն նման լուրերի տարածմանը, այլև իշխանության օրգանների և երկրաշարժագիտության մասնագետների հետ սերտ համագործակցված նպաստեն բնակչության լայն խավերին իրական ճշմարիտ տեղեկատվություն հրամցելու գործին: Երկրաշարժերը միշտ էլ ուղեկցվում են մեծ չափերի հասնող նյութական վնասներով: Մարդկանց պետք է համոզել նախօրոք պետական և մասնավոր ապահովագրական ընկերություններում **ապահովագրել իրենց բնակարանները**, ինչպես այդ կատարվում է, ասենք, Իրդեհի, Երաշտի կամ Ուրիշ նմանատիպ երևույթների դեպքում: Պետական և մասնավոր ապահովագրական համակարգերը բնակչությանը պետք է երաշխավորեն երկրաշարժի հետ կապված մեծ նյութական վնասների անմիջական հատուցումը:

Եվ վերջապես, երկրաշարժի հետևանքները արագ ամփոփելու համար պետք է ունենալ պետական ենթակայության **մշտական գործող, ժամանակակից տեխնիկական միջոցներով հագեցած փրկարար, կենսաապահովման ոլորտի շտապ վերականգման, հասարակական կարգի պահպանման և բժշկական օգնության կազմակերպման արհեստավարժ ջոկատներ**: Այս խնդիրների կանոնակարգման համար **նպատակահարմար է նաև համապատասխան օրենսդրության ընդունումը Ազգային ժողովի կողմից**:

Երկրաշարժն, ինչ խոսք, ահեղ երևույթ է: Բայց գիտական տեսանկյունից նրա հետ կարելի է «համագործակցել», նրա դեմ կարելի է պայքարել, զսպել նրա կործանարար «ոտնձգությունները» և մինչև անգամ հաղթել նրան: Այո, կարելի է հաղթել երկրաշարժին, եթե այդ գործի համար պատասխանատու ամեն մի պետական գործիչ ու գիտնական, նախագծող ու շինարար իր գործունեության ոլորտում ամենայն պատասխանատվությամբ լծվի այս համաժողովրդական գործին:

Որոշ երկրաշարժավտանգ երկրներում երկրաշարժերին նախապատրաստվելը նույնիսկ պատերազմին նախապատրաստվելուն համարժեք գործողություն է համարվում: Մարդկանց կյանքը և նյութական արժեքները փրկելու այս ճանապարհը շատ ավելի դյուրին ու արդյունավետ է, քան նրանց տեղահանումը և վերադարձը:

2.1 ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ

Շենքերի և կառույցների երկրաշարժադինամացկունությունը հիմնականում պայմանավորված է երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների օրինաչափություններով: Գործիքային գրանցումները ցույց են տալիս, որ տարբեր ուժեղությամբ երկրաշարժերի ժամանակ, էպիկենտրոնից տարբեր հեռավորությունների վրա, գրունտային տարբեր պայմաններ ունեցող տեղամասերում գետնի շարժումների օրինաչափությունները շատ խիստ տարբերվում են իրարից: Գետնի տատանումները միևնույն տեղամասում առավելագույնս տարբերվում են երկրաշարժի ուժգնությունից կախված: Քանի որ շենքերի և կառուցվածքների երկրաշարժադինամացկունության խնդիրները առնչվում են ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի տատանումների հետ, ապա սույն բաժնում մենք կանգ կառնենք հիմնականում ուժեղ երկրաշարժերի ($I > VI$, $M > 4$) ժամանակ գետնի տատանումների օրինաչափությունների վրա: Ինչպես մեխանիկայում դիտարկվող ցանկացած շարժման, այնպես էլ երկրաշարժի ժամանակ երկրի շարժումների հիմնական բնութագրեր հանդիսանում են՝

- *Տարածության երեք ուղղություններով (երկու հորիզոնական և ուղղաձիգ) գետնի շարժման տեղափոխությունների, արագությունների և արագացումների մեծությունները,*
- *Այդ շարժումների տատանումների հաճախությունների սպեկտրը,*
- *Այդ տատանումների մարման օրինաչափությունները (տևողություն):*

Երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների մասին ստույգ տվյալներ կարելի է ստանալ միայն նրա գործիքային գրանցումների հիման վրա: Ինչպես նշվեց առաջին գլխում, երկրաշարժի ժամանակ գետնի տեղափոխությունները $y_0(t)$, արագությունները $y_0'(t)$ և արագացումները $y_0''(t)$ գրանցվում են տարբեր գրանցող սարքերի օգնությամբ: Սովորաբար էպիկենտրոնային գոտում, որտեղ առաջանում են գետնի առավել ուժեղ շարժումները, գրանցվում են հիմնականում նրանց արագացումները (աքսելերոգրամները), իսկ գետնի տեղափոխությունները այս գոտում այնքան մեծ արժեքների են հասնում, որը անհնարին է դարձնում նրանց գործիքային ճշգրիտ գրանցումը: Գետնի տեղափոխությունները (սեյսմոգրամները) մեծ ճշտությամբ հաջողվում է գրանցել թույլ երկրաշարժերի ժամանակ էպիկենտրոնային գոտում և մեծ հեռավորությունների վրա՝ ուժեղ երկրաշարժերի դեպքում: Երկու դեպքում էլ այդպիսի գրանցումները շենքերի և կառուցվածքների երկրաշարժադինամացկունության տեսակետից նվազ հետաքրքրություն են ներկայացնում, քանի որ նրանցից շինություններում առաջացած լարումները բավականաչափ փոքր են նրանց ամրության սահմանի լարումների հետ համեմատած:

Բացի դրանից երկրաշարժերի ժամանակ շինությունները վնասվում կամ քայքայվում են նրանցում առաջացած իներցիոն ուժերից, որոնց մեծությունները հիմնականում պայմանավորված են գետնի արագացումների մեծություններով: Այսպիսով, շինությունների երկրաշարժադիմացկունության տեսակետից առավելագույն հետաքրքրություն են ներկայացնում երկրաշարժի ժամանակ գետնի արագացումների (աքսելերոգրամների) օրինաչափությունները: Այդ պատճառով սույն բաժնում մենք հիմնականում կանդրադառնանք աքսելերոգրամներին: Սակայն արժե նշել, որ հաշվիչ տեխնիկայի ժամանակակից միջոցները հնարավորություն են ստեղծում անհրաժեշտության դեպքում, ունենալով գետնի աքսելերոգրամները, նրանցից ինտեգրման միջոցով ստանալ նաև գետնի արագությունները (վելիսոգրամները) և տեղափոխումները՝ սեյսմոգրամները: Այս խնդրի հակադարձ լուծումը նույնպես կիրառելի է, քանի որ գետնի շարժման սեյսմոգրամների դիֆերենցման միջոցով կարելի է հաշվարկել նաև գետնի շարժման վելիսոգրամը և աքսելերոգրամը: Այս հանգամանքը շատ կարևոր է, քանի որ երկրաշարժադիմացկունության ավելի բարդ խնդիրները քննարկելիս առնչվում ենք միաժամանակ ինչպես գետնի արագացումների, այնպես էլ տեղափոխությունների հետ:

2.2 ԳԵՏՆԻ ՈՒԺԵՂ ՇԱՐժՈՒՄՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՅԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ըստ գետնի շարժումների բնույթի երկրաշարժերը շատ բազմազան են և իրարից տարբերվում են, եթե մինչև անգամ տեղի են ունենում միևնույն տեղում: Որպես կանոն երկրաշարժերի ժամանակ գետնի շարժումների տիպերը զանազանելու համար օգտվում են անցյալի երկրաշարժերի գրանցումներից: Տվյալ վայրի համար, նրանց բավարար քանակի առկայության դեպքում, կարելի է գտնել բնութագրիչ տիպերը: Սակայն անցյալի երկրաշարժների գրանցումների քանակը դեռևս շատ քիչ է վիճակագրության եղանակներով նրանց մշակման համար: Այդ պակասը հատկապես շոշափելի է Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար:

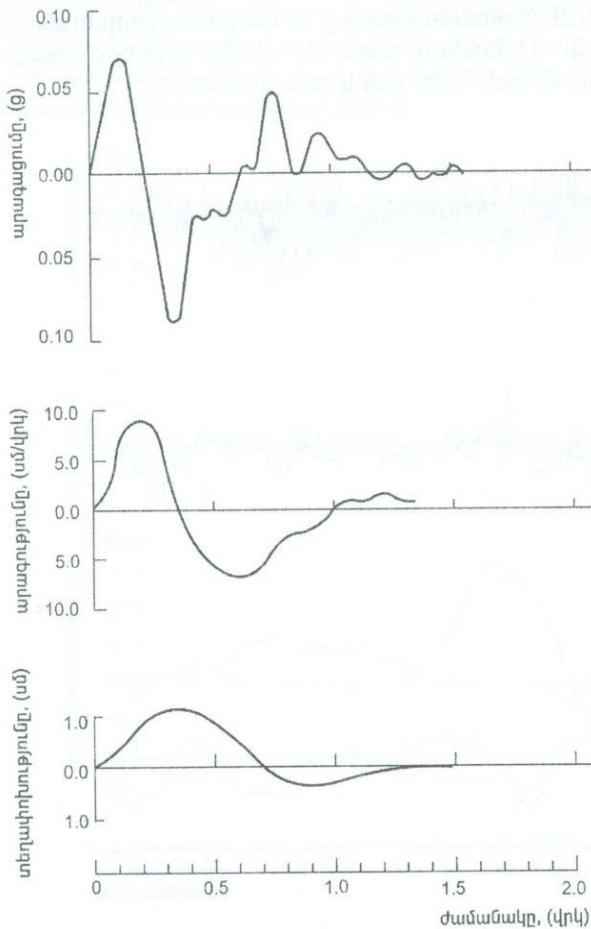
Գետնի շարժման բնույթի տեսակետից երկրաշարժերը կարելի է դասակարգել մի քանի տիպերի: Քննարկենք դրանցից մի քանիսը, որոնք տեղի են ունեցել տարբեր վայրերում [39, 40]:

1. Շատ կարճ տևողությամբ համարյա միահարված երկրաշարժեր:

Գետնի կինեկատիկական պարամետրերը այս տիպի երկրաշարժերից մեկի՝ 1957թ. մարտի 18-ին Պորտ Գուենեմում տեղի ունեցածի դեպքում, բերված են նկ. 2.1-ում, ընդ որում գետնի արագության և տեղափոխության մեծությունները ստացված են արագացման մեծությունից համապատասխան ինտեգրումներից հետո: Այդպիսի կարճատև երկաշարժ է գրանցվել նաև 1966թ. հունիսի 28-ին Պարկֆիլդի երկրաշարժի ժամանակ:

Գետնի նման տիպի շարժումները սովորաբար գրանցվում են էպիկենտրոնից ոչ մեծ հեռավորությունների վրա՝ ժայռային գրունտների վրա: Այդպիսի երկրա-

շարժերը սովորաբար տեղի են ունենում ոչ մեծ խորություններում և ունենում $M = 5.4 - 6.2$ մագնիտուդ: Գետնի ուժեղ ցնցումների տևողությունը չի գերազանցում 1-2 վրկ-ից: Այս տիպի ավերիչ երկրաշարժերը տեղի են ունեցել 1960 թվին՝ Ազադիրում, 1963 թվին՝ Լիվիայում, 1963 թվին՝ Սկոպլեյում, և 1965 թվին՝ Սան-Սալվադորում: Այսպիսի երկրաշարժերը ունենում են շատ փոքր (0.2 վրկ և քիչ) գերակշռող պարբերություններ (աքսելերոգրամի վրա):

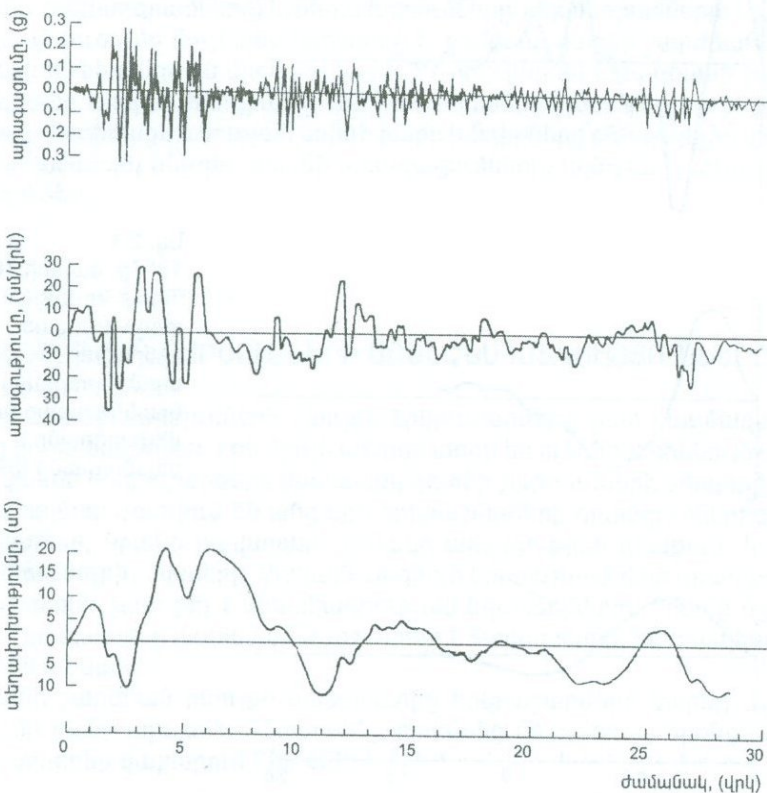


Նկ. 2.1
1957թ. մարտի 18-ի
Պորտ Գուենեմում
տեղի ունեցած
երկրաշարժի
աքսելերոգրամը և
նրանից ստացված
վելիսոգրամը և
սեյսմոգրամը [39]:

2. Միջին տևողության գետնի շատ անկանոն շարժումներով երկրաշարժեր:

Որպես այս դասին պատկանող տիպիկ երկրաշարժ շատ երկրաշարժագետներ նշում են 1940թ. մայիսի 18-ի Էլ-Ցենտորոյի երկրաշարժը, որի գրանցումները ցույց են տրված նկ. 2.2: Գետնի շարժումների գրանցումները (աքսելերոգրամը) ստացվել է օջախից 50 կմ հեռավորության վրա: Գետնի շարժման մաքսիմալ արագացման գրանցված մեծությունը հասել է 0.32g-ի, իսկ արա-

գության և տեղափոխության վերահաշվարկված մեծությունների արժեքները համապատասխանաբար 34.8 սմ/վրկ և 21.1 սմ: Աքսելերոգրամի գերակշռող պարբերությունները գտնվել են 0.25 - 0.6 վայրկյանի տիրույթում: Ստույգ հայտնի են նաև այս երկրաշարժի մյուս բնութագրերը: Գետնի տատանումների ուժգնությունը ըստ MM սանդղակի կազմել է IX բալ, երկրաշարժը իմպերիալ Վելի դաշտավայրում առաջացրել է 65 կմ երկարությամբ ճեղքվածք 4.5 մ հորիզոնական հարաբերական տեղաշարժով: Գրանցման կայանի երկրաբանական կտրվածքը կազմված է վերին 20 մետրանոց կավի և 12 մետրանոց ավազակավի շերտերից, որոնց տակը գտնվում է մեծ հզորության կոպիճից, ավազից և կավից կազմված շերտ P ալիքի տարածման 1800 մ/վրկ արագությամբ:

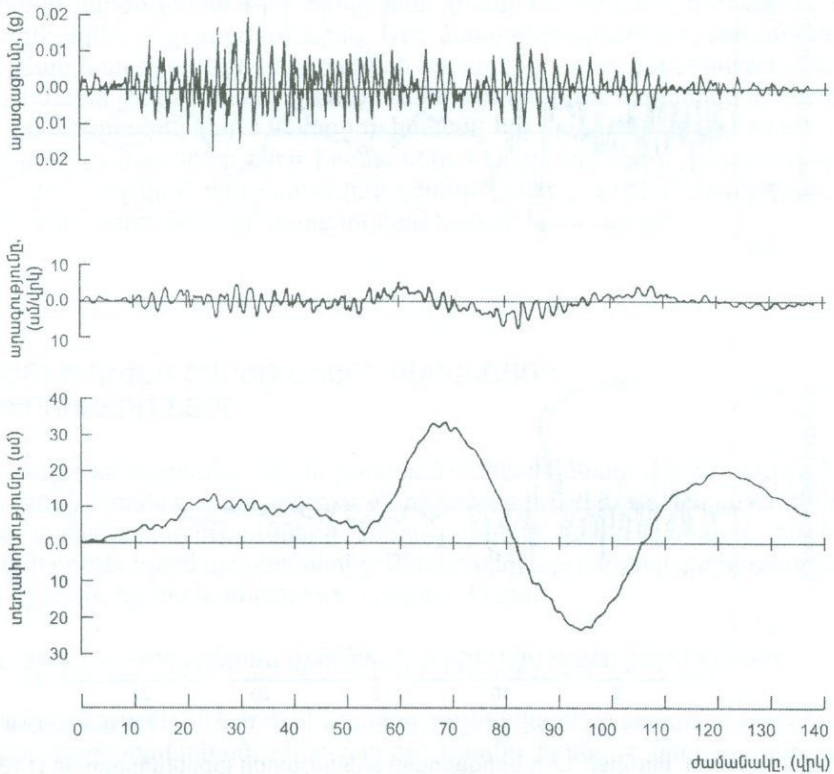


Նկ. 2.2 1940թ. մայիսի 18-ին Էլ-Ցենտրոյի երկրաշարժի քսելերոգրամը և նրանից ստացված վելիսոգրամը և սեյսմոգրամը [39]:

Քանի որ գետնի մաքսիմալ արագացման արժեքը բավականաչափ մեծ է, և գրանցումը սկզբից մինչև «պոչ» ունի բարձր որակ, այս գրանցումը երկրաշարժագետների մոտ դասվում է որպես ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի շարժման ամենաբնութագրիչ ներկայացուցիչը և պատահական չէ, որ այն բազմիցս օգտագործվել է կառուցվածքների երկրաշարժադինամիկությունության տարբեր խնդիրները լուսաբանելու նպատակով:

3. Գետնի տատանումների մեծ տևողությամբ երկրաշարժեր:

Որպես օրինակ նկ. 2.3-ում պատկերված է 1964թ. հուլիսի 6-ի Մեխիկոյի երկրաշարժի գետնի շարժման պարամետրերը: Այսպիսի գրանցումները սովորաբար ստացվում են էպիկենտրոնից մեծ հեռավորության վրա համեմատաբար փոփոխ գրունտային նյութերից կազմավորված տեղանքներում, ունենում են արագացումների համեմատաբար փոքր մեծություններ և բացահայտ իրարից տարբերակվող գերակշռող պարբերություններ: Գետնի տեղափոխությունների բավական մեծ արժեքները 35 սմ, որոնք ստացվել են աքսելերոգրամի ինտեգրման եղանակով, հետևանք է աքսելերոգրամի զրոյական զծի անճշտության և եղանակի անկատարելագործման:

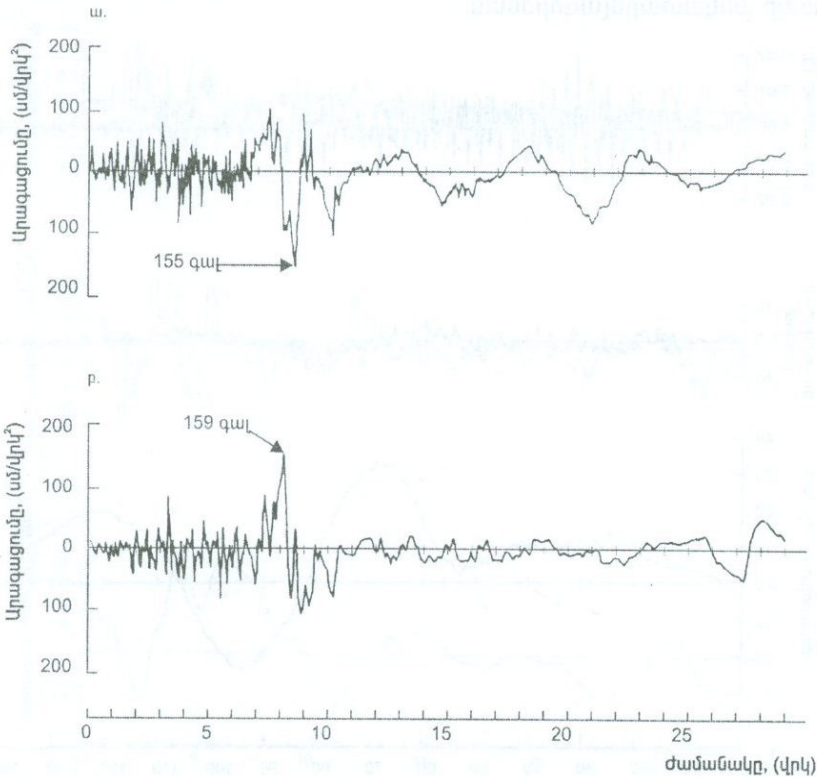


Նկ. 2.3 1964թ. հուլիսի 6-ի Մեխիկոյի երկրաշարժի աքսելերոգրամը և նրանից ստացած վեխոգրամը և սեյսմոգրամը [39]:

4. Երկրաշարժը ուղեկցվում է գրունտի զգալի մնացորդային դեֆորմացիաներով, ջրիկացմամբ (նոսրացմամբ), սողանքային երևույթներով:

Այսպիսի աքսելերոգրամներ գրանցվել են 1960թ. Զիլիի, 1964թ. Ալյասկայի և նույն 1964 թվին Նիիգատայի երկրաշարժերի ժամանակ: Գետնի տատանումները

այս դեպքում շատ խիստ տարբերվում են մյուս տիպերից: Նրանց մեծ ամպլիտուդների տիրույթը շատ կարճ է և արագացումների որոշ արժեքներին հասնելուց հետո կտրականապես փոխվում է գետնի տատանումների բնույթը, որոնցում գերակշռում են բավական մեծ պարբերությամբ տատանումներ: Նիիգատայի երկրաշարժի ($M=7.5$) էպիկենտրոնից 60կմ հեռավորության վրա գրանցված աքսելերոգրամը բերված է նկ. 2.4-ում: Ամենամեծ արագացումների մեծությունները հորիզոնական ուղղություններով հասել են 155 սմ/վրկ^2 , $T_0=5.5$ վրկ պարբերությամբ: Գրանցման տեղի գրունտը իրենից ներկայացնում էր մեծ հզորության մանրահատիկ ավազ, որը երկրաշարժի ժամանակ ենթարկվել էր ջրիկացման [116, 130]:



Նկ. 2.4 1964թ. հունիսի 12-ի Նիիգատայի երկրաշարժի աքսելերոգրամը [116]

ա. Յյուսիս - հարավ բաղադրիչ

բ. Արևելք - արևմուտք բաղադրիչ:

Իրականում գետնի շարժումների բնութագրերը երկրաշարժի ժամանակ կարող են լինել նշված տարբերակների միջև: Հիմնական դերը այստեղ պատկանում է գրանցման վայրի գրունտային պայմաններին:

Գետնի *առաջին տիպի* շարժումները շատ հասարակ են և նրանց նկատմամբ կարող են կիրառվել *դետերմինիստական* մոտեցումները: Ամբողջ խնդիրը տվյալ տեղանքի համար մեծ թվով գործիքային գրանցումների կուտակումն է:

Գետնի *երկրորդ տիպի* շարժումները իրենց բնույթով շատ մոտ են այսպես կոչված *«սպիտակ աղմուկին»*՝ պատահարին, որում գերակայում են պարբերու-

թյունների մեծ տիրույթով և միջինում իրար հավասար արագացումներով էլեմենտար տատանումներ (հարմոնիկներ): Տարբեր արագացումների ամպլիտուդները ենթարկվում են Գաուսային նորմալ բաշխվածությանը, այսինքն արագացումների ամենահավանական արժեքը կլինի բոլոր բացարձակ արագացումների միջին թվաբանականը: Շարժումների խիստ անկանոնության պատճառով նրանց օգտագործումը պետք է հիմնված լինի *հավանականության տեսության* դրույթների կիրառության վրա:

Գետնի շարժումների *երրորդ տիպը* պայմանավորված է առաջին կամ երկրորդ տիպերի շարժումներով, երբ վերջիններս անցնում են անհամասեռ գրունտային ստվարաշերտով: Այդ պատճառով այստեղ նույնպես կարող են կիրառվել նաև հավանականության տեսության սկզբունքները:

Գետնի շարժումների 4-րդ տիպը շատ դժվար է անալիտիկ ուսումնասիրել կամ մոդելացնել այլ շարժումներով: Մեծ ձևափոխությունների, սողանքների, ջրիկացման և սահքի դեֆորմացիաների ենթարկվող տարածքներում գործնականում իմաստ չունի մտածել շինությունների ամրության ապահովման մասին: Ավելի նպատակահարմար է նախօրոք իմանալ ինչ պայմաններում և որտեղ են հնարավոր այդպիսի երևույթներ, խուսափելու համար նրանցում շինարարության իրականացումից կամ, որը շատ ավելի դժվար է, միջոցներ ձեռնարկել գրունտի թեկուզ լոկալ կայունության ապահովման համար:

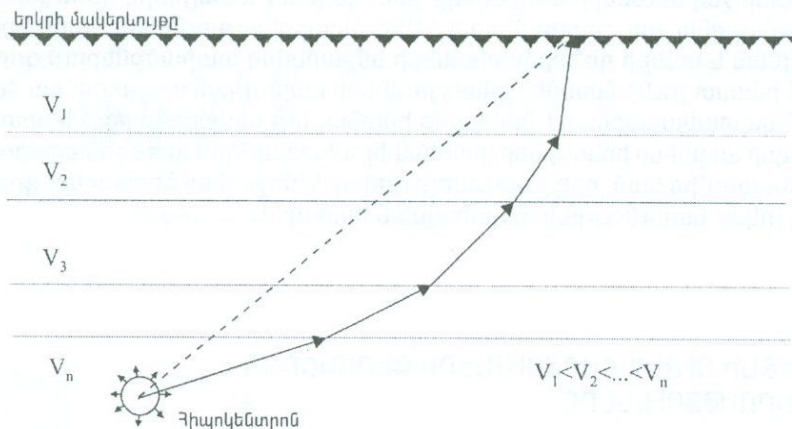
2.3 ԳԵՏՆԻ ՈՒԺԵՂ ՇԱՐՇՈՒՄՆԵՐԻ ԳԵՐԱԿՇՈՂ ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ցանկացած տատանողական շարժման ամենահիմնական բնութագիրը նրա բաղկացուցիչ մասերի պարբերությունների մեծություններն են: Երկրաշարժի ժամանակ այդ պարբերությունների մեծությունները խիստ կախված են նաև տեղանքի գրունտային պայմաններից: Զննարկենք այս խնդիրը գրունտները բաժանելով երկու հիմնական խմբերի՝ փուխր և կարծր:

Գետաբերուկ – ողողաբերուկ գրունտների (փուխր) ուժեղ շարժումները

Գետերին, լեռներին և ծովերին հարող դաշտավայրերը սովորաբար ունենում են բարդ երկրաբանական կառուցվածք: Նրանք իրենցից ներկայացնում են ներքին ավելի վաղ, ավելի կարծր նյութերից ձևավորված շերտավորումների վրա հենված ավազի, կոպիճի և տիղմի նստվածքային նյութերով ծածկված բազմաշերտ հոծ միջավայրեր՝ *ալյուվիուալ - դելյուվիուալ* գրունտներ: Սովորաբար ավելի խիտ ներքին գրունտը անվանում են *«հիմքի գրունտ»*, իսկ վերին մասը՝ (բազմաշերտ) *«մակերևութային ստվարաշերտ»*: Այսպիսով, *ալյուվիուալ - դելյուվիուալ* գրունտների հիմնական առանձնահատկությունը հանդիսանում է նրանցում տարբեր մեխանիկական հատկություններով օժտված նյութերից բաղկացած բազմաշերտային կառուցվածքի առկայությունը: Երկրաշարժերի ժամանակ գրունտի ստրուկտուրան և առանձնապես մակերևութային շերտի ստրուկտուրան զգալի ազդեցություն է ունենում գետնի վերին շերտի, որին

հիմնված է վերգետնյա շինության հիմքը, տատանողական շարժումների բնույթի վրա: Ինչպես տեսանք, երկրաշարժի ժամանակ երկրի մակերևույթը հասնող սեյսմիկ ալիքները վեր են ածվում մակերևութային և լայնական ալիքների: Քանի որ սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունը մակերևութային շերտում ավելի փոքր է, քան խորքային մասում, համաձայն (1.76) բանաձևի լայնական ալիքները երկրի մակերևույթը կհատեն համարյա ուղիղ անկյան տակ (նկ. 2.5), իսկ բուն մակերևութային շերտում տեղի են ունենում բազմակի անդրադարձումներ և բեկումներ, որոնք նպաստում են երկրի մակերևութի վրա մակերևութային շերտի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններով պայմանավորված որոշակի տարբերություններով տատանումների առաջացմանը: Այդ տարբերությունները կոչվում են տվյալ գրունտի գերակշռող պարբերություններ:



Նկ. 2.5 սեյսմիկ ալիքի տարածման ուղին:

Երբ մակերևութային շերտը համասեռ է և բաղկացած է միայն մի նյութից, գրունտի գերակշռող տատանումների պարբերությունները որոշվում են հետևյալ բանաձևով.

$$T_0 = \frac{4H}{v_s} \quad (2.1)$$

որտեղ T_0 - գերակշռող պարբերությունն է, H - մակերևութային շերտի հզորությունն է, v_s - լայնական ալիքների տարածման արագությունն է:

Անհամասեռ մակերևութային շերտի զգալի ազդեցությունը գետնի տատանումների բնույթի վրա բազմիցս նկատվել է ուժեղ երկրաշարժերի գործիքային գրանցումների ժամանակ: Մասնավորապես այն բացահայտ նկատվել է 1988թ. Սպիտակի երկրաշարժի աֆտերշոկերի գրանցումների ժամանակ [81, 89]: Նկ. 2.6-ում բերված են գետնի արագությունների (վելոսիդրամ) գրանցումները 1988 թվի դեկտեմբերի 31-ին $M = 4.7$ աֆտերշոկի ժամանակ Գյումրիում (թույլ նյութերից կազմավորված անհամասեռ մակերևութային շերտ) և Զրաշենում (կարծր գրունտներ), որոնք գտնվում էին էպիկենտրոնից համարյա միևնույն հեռավորության վրա: Ինչպես երևում է գրանցումներից, նրանք իրարից խիստ

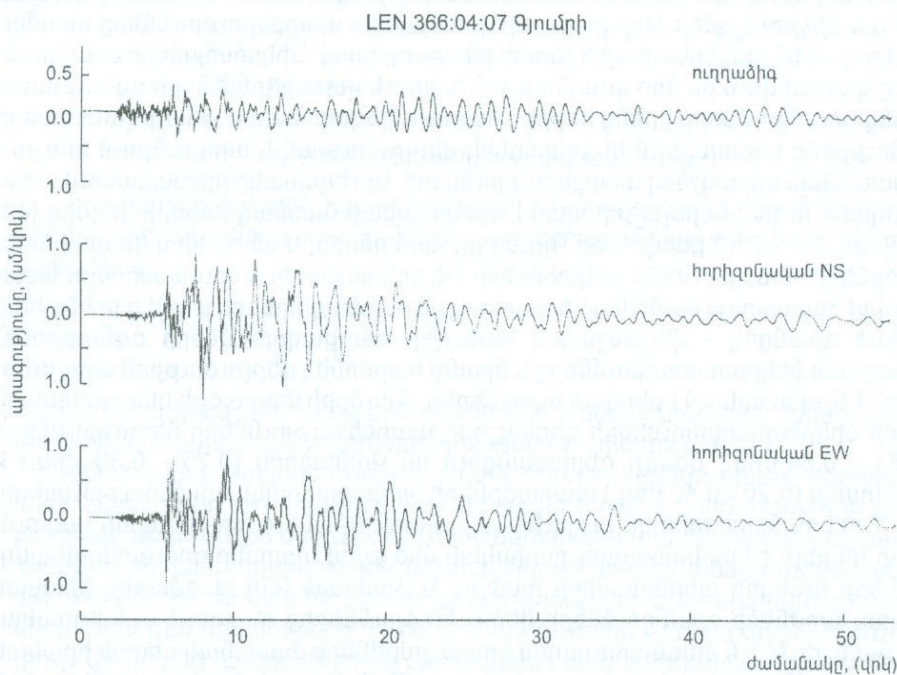
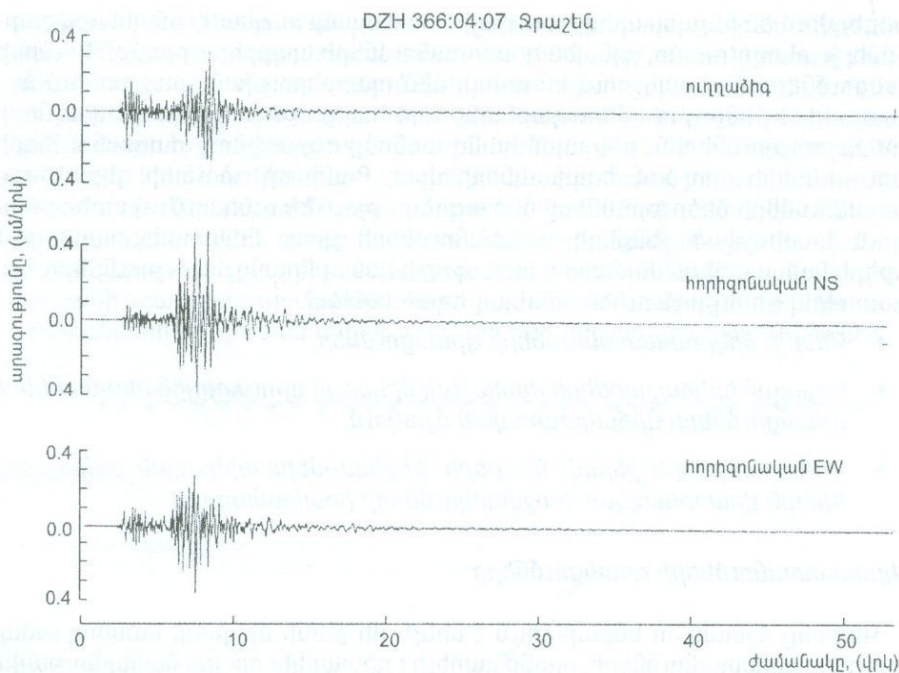
տարբերվում են ինչպես ամպլիտուդայի մեծությամբ ու գետնի ինտենսիվ շարժումների տևողությամբ, այնպես էլ տատանումների պարբերությամբ: Գյումրիի գրանցումներում գերակշռում են ավելի մեծ պարբերությամբ տատանումներ: Հետագայում մենք դեռ կվերադառնանք այս հարցի քանակական տվյալների համեմատություններին, իսկ այժմ կանգ առնենք գերակշռող տատանումների մեծությունների որոշման եղանակների վրա: Քանի որ գրունտի գերակշռող տատանումների մեծությունները մեծ ազդեցություն են ունենում այդ տեղամասերում կառուցված շենքերի տատանումների վրա, նպատակահարմար է շենքերի նախագծման ժամանակ նախօրոք իմանալ նրանց մեծությունները: Այս նպատակով գոյություն ունեն հետևյալ եղանակները.

- *Գետնի միկրոտատանումների գրանցումներ,*
- *Իրական երկրաշարժերի ժամանակ միևնույն գրունտային պայմանների գրանցումների վիճակագրական մշակում,*
- *Սակերևութային շերտի նյութերի ֆիզիկա-մեխանիկական տվյալների հիման վրա տեսական հաշվարկումների իրականացում:*

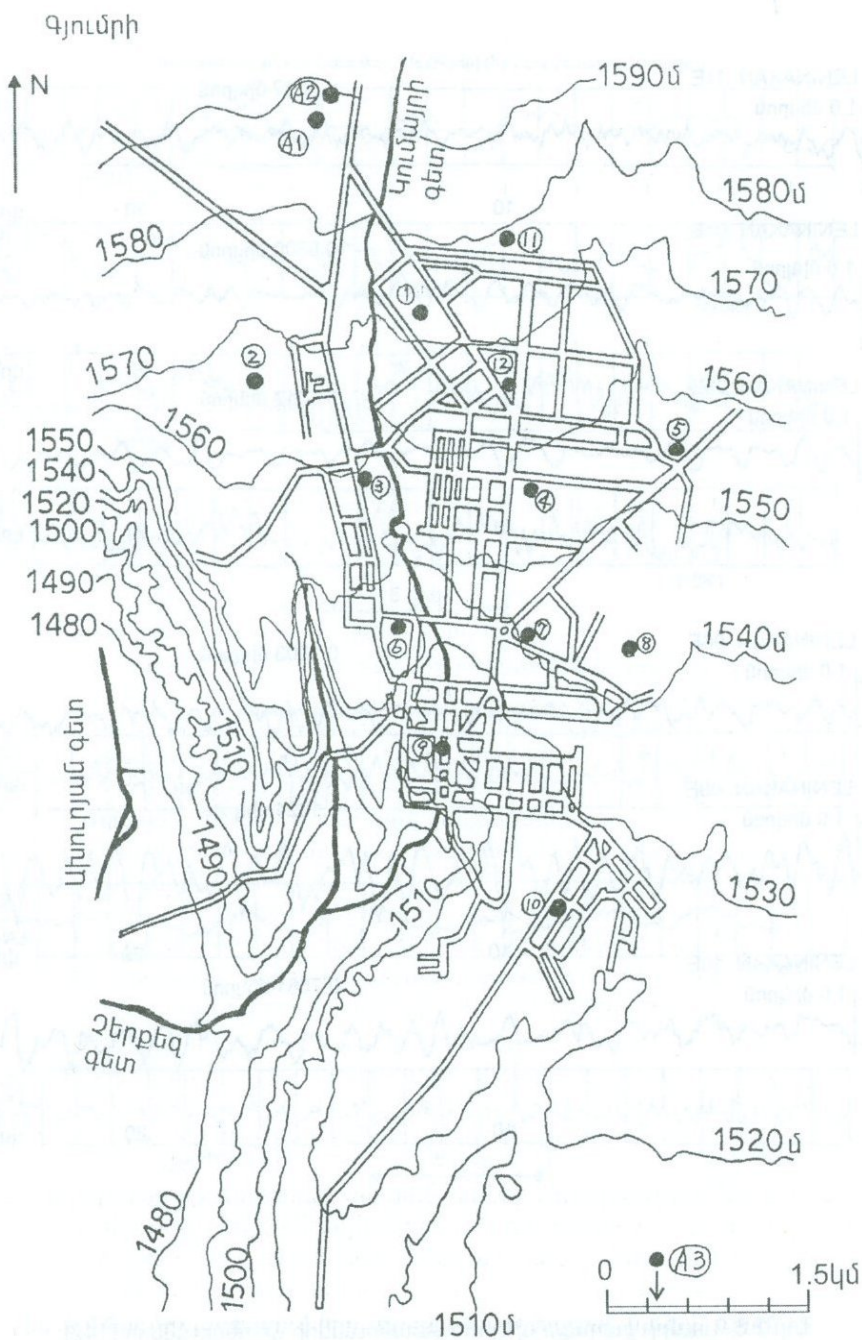
Միկրոտատանումների գրանցումները

Գետինը մշտապես ենթարկվում է մինչև մի քանի միկրոնի հասնող ամպլիտուդայով տատանումների, որոնք կարելի է դիտարկել որպես մակերևութային շերտի ազատ առածգական տատանումներ: Այդպիսի տատանումները կոչվում են նաև ***միկրոսեյսմեր***: Այսպիսով, միկրոսեյսմերի պարբերությունները պայմանավորված են մակերևութային շերտի բնութագրերով: Միկրոսեյսմերի գրանցումները կատարվում են մեծ զգայնության հատուկ վելոսիգրաֆների օգնությամբ, որոնց գրանցումները իրենց հերթին հատուկ էլեկտրոնային անալիզատորների օգնությամբ ենթարկվում են հարմոնիկ վերլուծության և արդյունքում որոշում տատանման գերակշռող պարբերությունները: Այս եղանակը իմնականում առաջարկված ու կատարելագործված է ճապոնական մասնագետների կողմից [40, 142]: Նկ. 2.7 - 2.13 բերված են Գյումրիի, Վանաձորի, Սպիտակի և Երևանի տարածքների համար (1988թ. դեկտեմբերի 7-ի երկրաշարժը ուսումնասիրելու նպատակով Հայաստան ժամանած ճապոնական մասնագետների կողմից իրենց հետ բերած գրանցող - վերամշակող համալիր սարքավորումների օգնությամբ) ստացված միկրոտատանումները և նրանց հարմոնիկ վերլուծության արդյունքները: Ինչպես երևում է բերված նկարներից, Գյումրիի տարածքի կենտրոնական մասի միկրոտատանումների գերակշռող պարբերությունների մեծությունները (0.51 - 0.64 վրկ.) զգալի գերազանցում են Վանաձորի (0.25 - 0.30 վրկ.) և Սպիտակի (0.20 - 0.40 վրկ.) տարածքների համապատասխան մեծությունները:

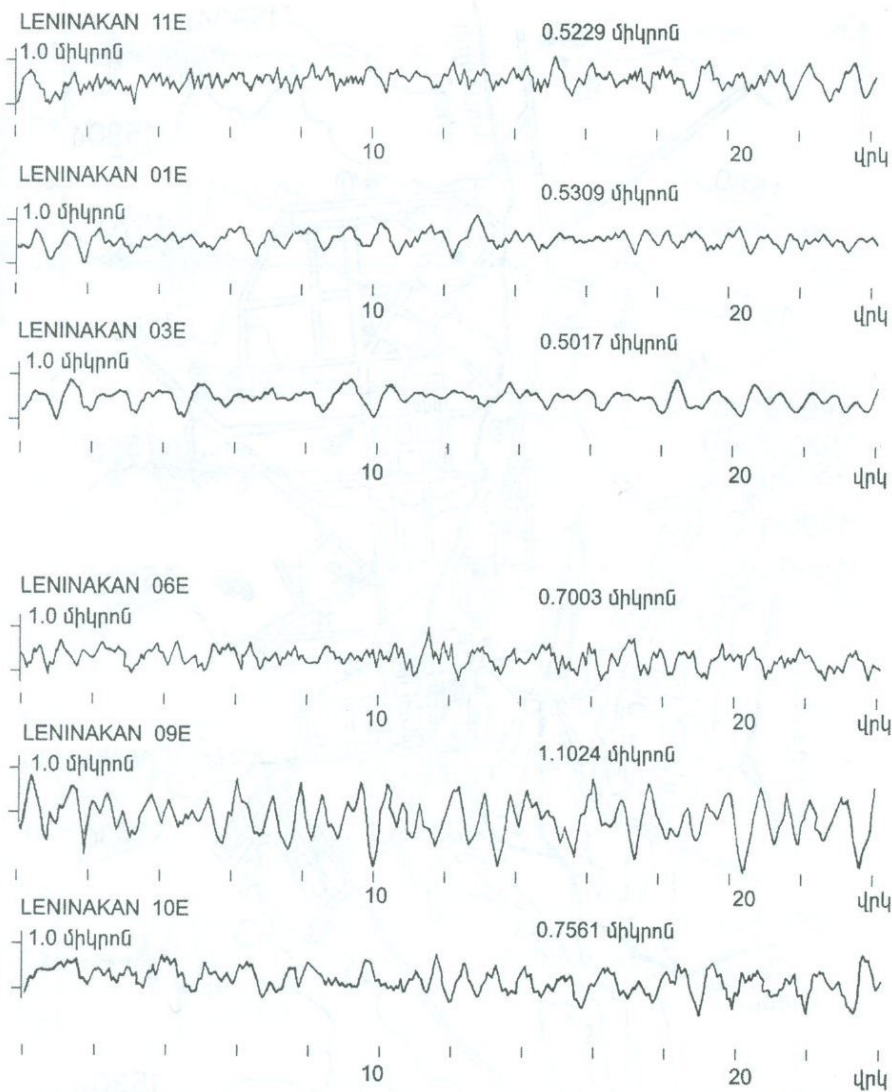
Այս եղանակի առավելությունը կայանում է նրանում, որ այդպիսի չափումները կարելի է իրականացնել բավական մեծ թվով տարբեր գրունտային պայմաններ ունեցող տեղամասերի համար: Կ. Կանաին [40] բազմաթիվ իրական երկրաշարժների գրանցումների վերլուծություններից հանգել է այն եզրակացության, որ $M > 6$ մագնիտուդայով երկրաշարժների ժամանակ գետնի իրական տատանումների գերակշռող պարբերությունների մեծությունները համընկնում են տեղանքի միկրոտատանումների գերակշռող պարբերությունների մեծությունների հետ (ամենամեծի կամ օբերտորնի):



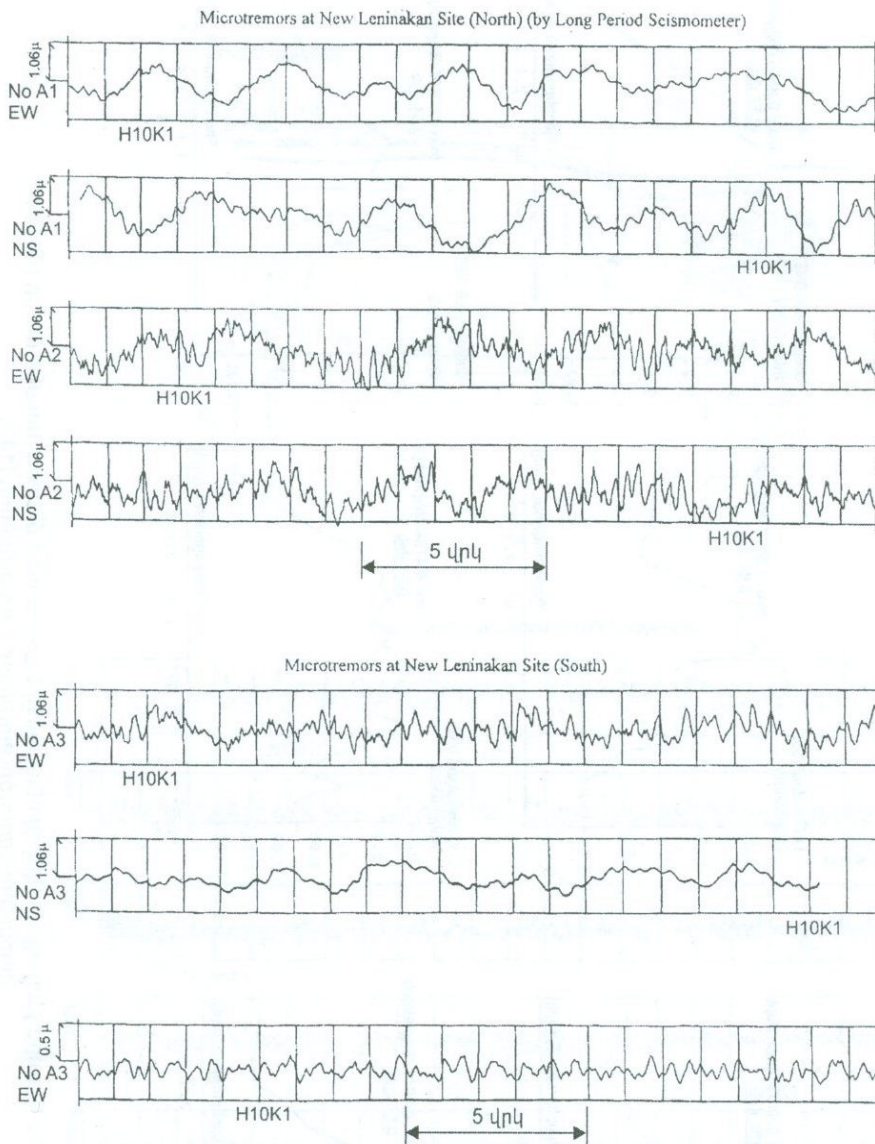
Նկ. 2.6 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի աֆտերշոկի գրանցումները կարճր գրունտի վրա՝ Ջրաշենում (DZH) և փուխր գրունտի վրա՝ Լենինականում (LEN) [81]:



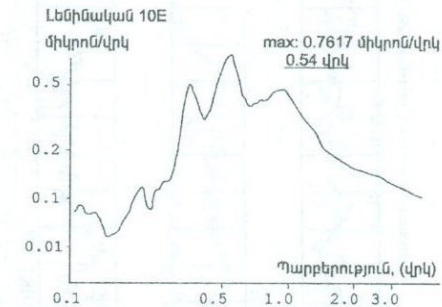
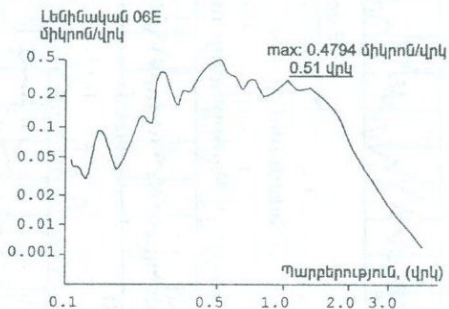
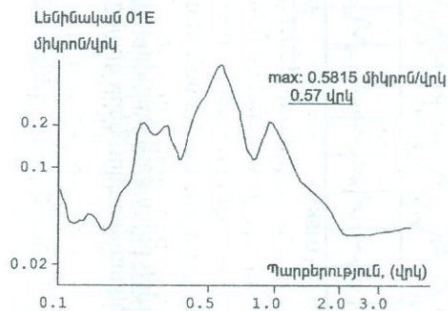
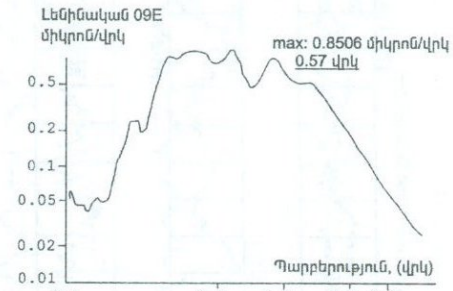
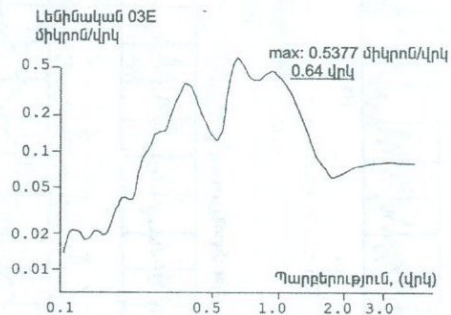
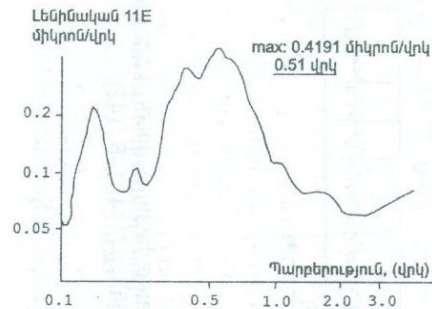
Նկ. 2.7 Գյումրի քաղաքում միկրոտատանումների գրանցման տեղամասերի դասավորությունը [142]:



Նկ. 2.8 Գյումրի քաղաքի միկրոտատանումների գրանցումները [142]:

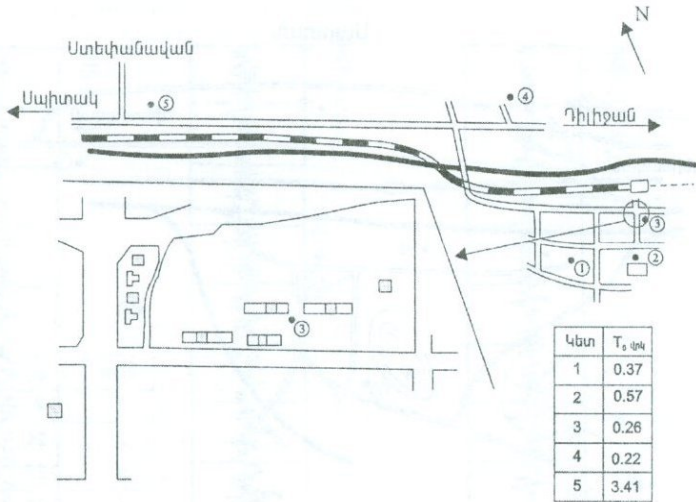


Նկ. 2.9 Գյումրի քաղաքում (հյուսիս-արևմուտք, հարավ-արևելք) գրունտի միկրոտատանումների գրանցումները [114, 136, 142]:

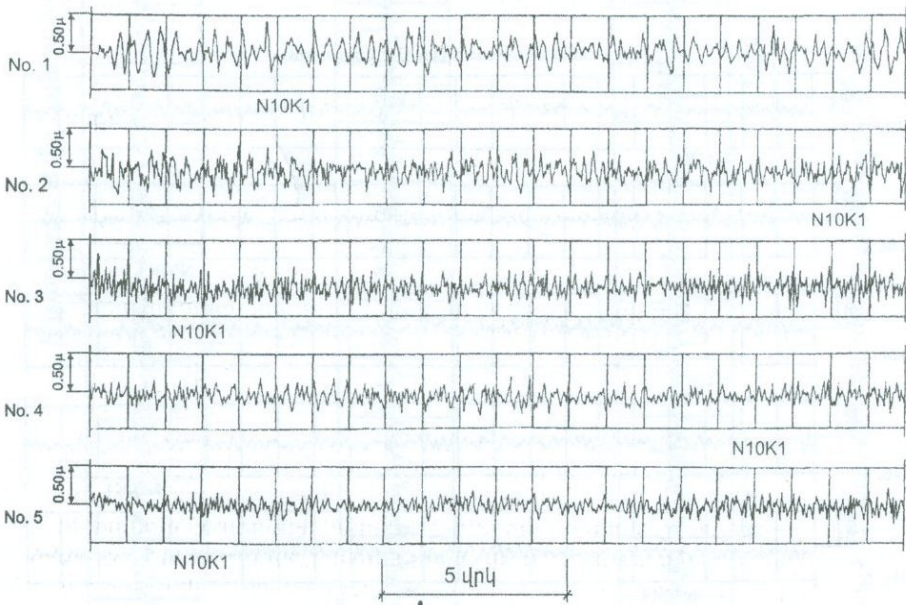


Նկ. 2.10 Գյումրի քաղաքում (Լենտրոնական հին թաղամաս) միկրոտատանումների (նկ. 2.8) հարմոնիկ վերլուծությունների արդյունքները [142]:

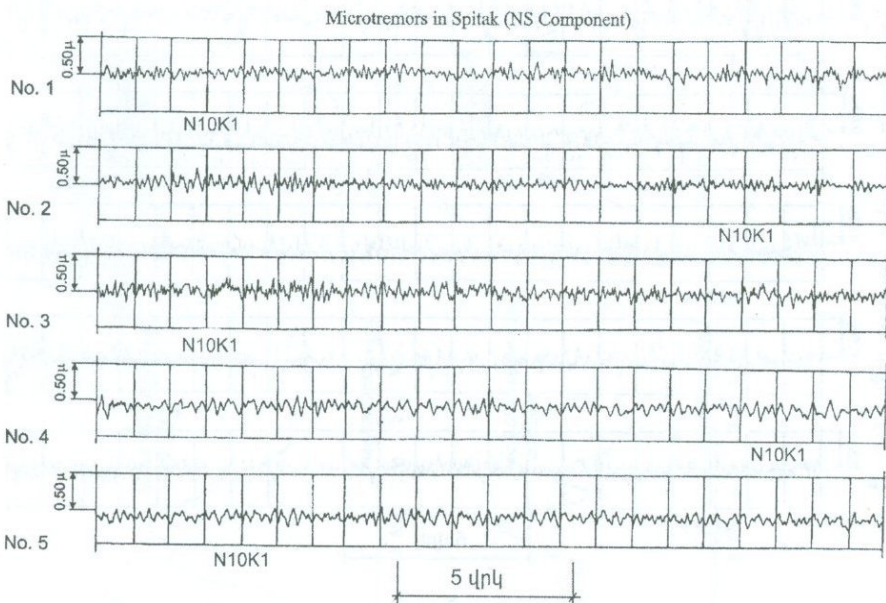
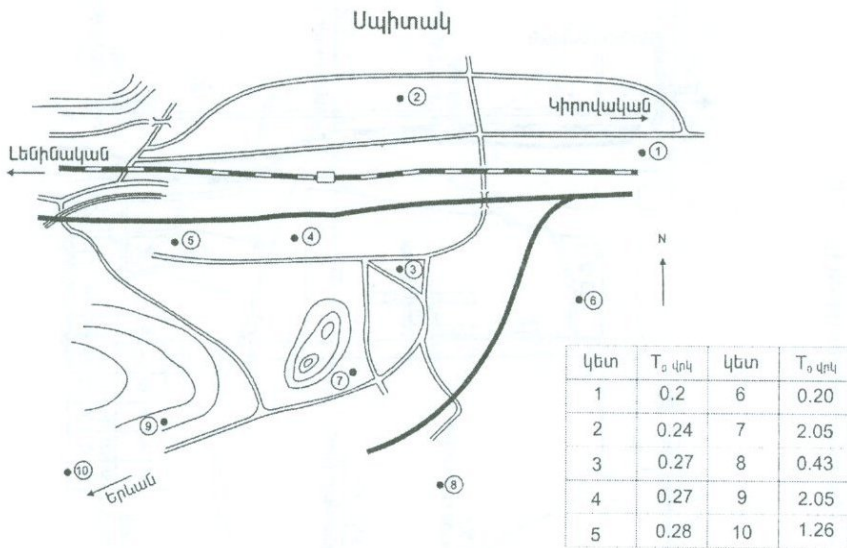
Վանաձոր



Microtremors in Kirovakan (NS Component)

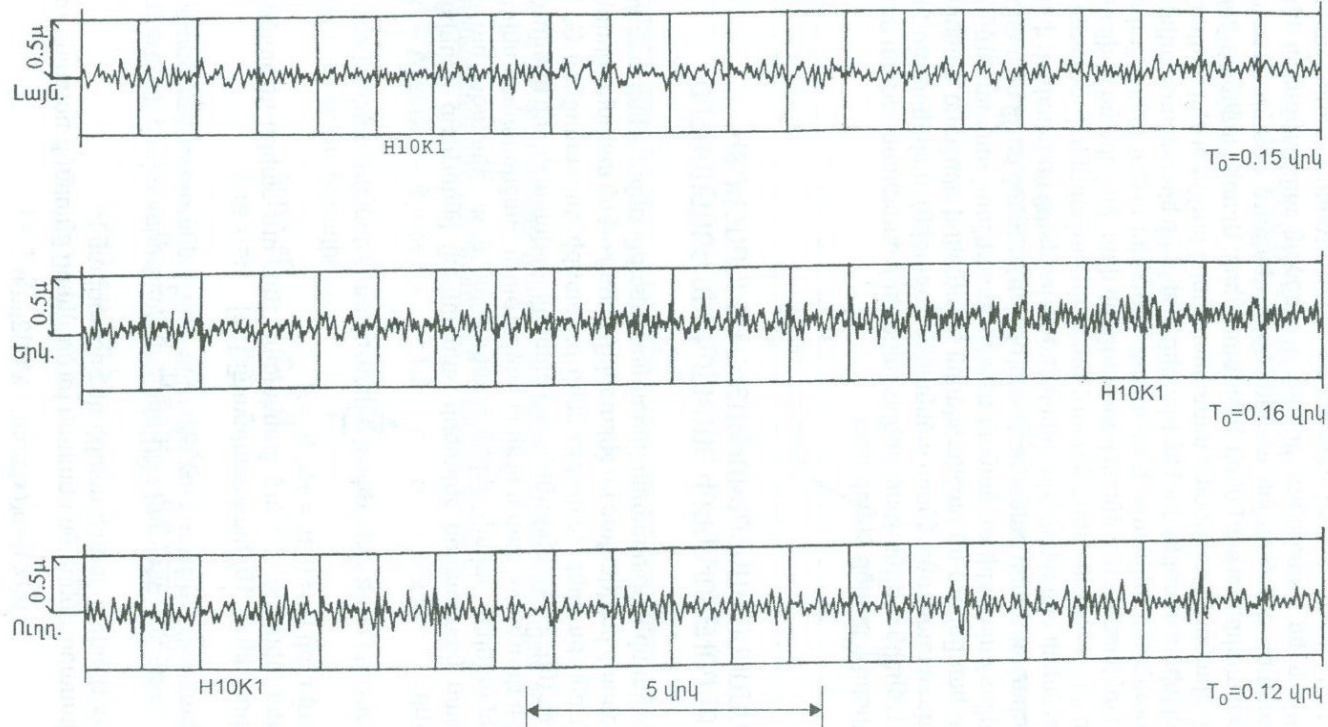


Նկ. 2.11 Վանաձոր (Կիրովական) քաղաքի տարբեր տեղամասերի գրունտների միկրոտատանումների գրանցումները [114, 136, 142]:



Նկ. 2.12 Սպիտակ քաղաքի տարբեր տեղամասերի միկրոտատանումների գրանցումները [114, 136, 142]:

Microtremors at the Building Yerevan (Հայսեյսմիկ զճի - գրունտ - բազալտներ)



Նկ. 2.13 Հայսեյսմիկ զճի (Երևան) տարածքում գրունտի միկրոտատանումների եռակոմպոնենտ գրանցումները

Գրանցած երկրաշարժների վիճագրական վերլուծումներ

Այն երկրներում, որտեղ հաճախ են տեղի ունենում երկրաշարժներ հնարավորություն են ստեղծվում նրանց գրանցման արդյունքների հիման վրա որոշել տարբեր գրունտային պայմանների դեպքում գետնի տատանումների գերակշռող պարբերությունների մեծությունները: Այստեղ ամենագլխավոր հանգամանքը նրանում է, որ գետնի տատանումները թույլ և ուժեղ երկրաշարժների ժամանակ խիստ տարբերվում են իրարից: Շենքերի երկրաշարժադինամացկունության տեսակետից ակնհայտ է, որ պետք է հիմնվել ուժեղ երկրաշարժների ժամանակ գետնի տատանումների բնութագրերի վրա, իսկ դրանց թիվը դժբախտաբար շատ քիչ է: Նույն տեղամասում թույլ երկրաշարժների ժամանակ գետնի տատանումների պարբերությունների մեծությունները սովորաբար փոքր են քան ուժեղ երկրաշարժների ժամանակ: Վերլուծությունները ցույց են տալիս նաև, որ ուժեղ երկրաշարժների ժամանակ գետնի գերակշռող տատանումների մեծությունները հանընկույց են հաշվարկային եղանակով որոշված մակերևութային շերտի ազատ տատանումների ամենամեծ (առաջին) պարբերությունների հետ, իսկ թույլ և միջին ուժգնության երկրաշարժների ժամանակ՝ ազատ տատանումների երկրորդ և բարձր ձևերի հետ:

2.4 ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՍՏՎԱՐԱՇԵՐՏԻ ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Այժմ դիտարկենք հետևյալ ընդհանուր դեպքը: Ենթադրենք մակերևութային ստվարաշերտը բաղկացած է n շերտերից, որոնք ունեն տարբեր ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրեր՝ խտություններ ρ_k , սահքի գործակիցներ G_k և հզորություններ H_k (նկ. 2.14): Ընդունենք, որ ամբողջ ստվարաշերտը հենվում է ժայռային «հիմքի գրունտի» վրա և ունի H հզորություն: Հաշվարկման սկիզբը ընդունենք ամենավերին շերտի վերին հարթության վրա: Հետագա հաշվարկների պարզեցման նպատակով շերտերի համարները ընդունենք վերևից ներքև և ըշանակենք.

$$h_k = \sum_{i=1}^k H_i \quad (2.2)$$

որից բխում է, որ $h_0 = 0$, $h_1 = H_1$, $h_n = H$

Ինչպես տեսանք, 1.7-ում ցանկացած շերտում սահքի դեֆորմացիաները բավարարում են (1.19) հավասարմանը՝ [63]

$$G_k \frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2} - \rho_k \frac{\partial^2 u_k}{\partial t^2} = 0, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

որտեղ $u_k(x, t)$ տվյալ շերտի սահքի դեֆորմացիան է:

(2.3) հավասարումների մասնական լուծումները ընտրենք հետևյալ տեսքով.

$$u_k(x, t) = u_k(x) \sin pt, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

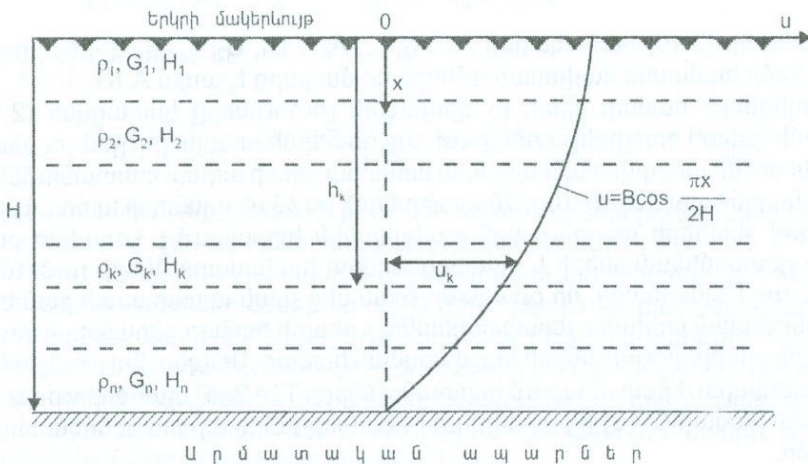
որտեղ p -ն ստվարաշերտի ազատ տատանումների որոնելի անկյունային հաճախությունն է, $u_k(x, t)$ – սահքի դեֆորմացիան:

Տեղադրելով (2.4)-ը (2.3)-ի մեջ կունենանք.

$$u_i''(x) + \lambda_i^2 u_i(x) = 0, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

որտեղ նշանակված է

$$\lambda_i^2 = \frac{\rho^2 \rho_i}{G_i} \quad (2.6)$$



Նկ. 2.14 Անհամասեռ գործնտային ստվարաշերտի հաշվարկային սխեման

(2.5) հավասարման լուծումը փնտրենք հետևյալ տեսքով.

$$u_i(x) = A_i \sin \lambda_i x + B_i \cos \lambda_i x \quad i=1, 2, \dots, n, \quad h_{i-1} < x \leq h_i \quad (2.7)$$

A_i և B_i թվով գործակիցների և անկյունային p հաճախության որոշման համար ունենք հետևյալ երկու եզրային,

$$\begin{aligned} \text{երբ } x=0 \quad u_1'(0) &= 0 \\ \text{երբ } x=H \quad u_n(H) &= 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

և $2n-2$ խզման հարթությունների մակարդակներում սահքի դեֆորմացիաների և լայնական ուժերի հավասարության (անխզելիության) պայմանները

$$\begin{aligned} u_i(h_i) &= u_{i+1}(h_i) \\ G_i u_i'(h_i) &= G_{i+1} u_{i+1}'(h_i) \\ i &= 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Տեղադրելով (2.7) լուծումները (2.8) և (2.9) եզրային և անխզելիության պայ-

մանների մեջ A_i և B_i 2n գործակիցների նկատմամբ կստանանք հետևյալ հավասարումների համակարգը.

$$A_1 = 0$$

$$A_n \sin \lambda_n H + B_n \cos \lambda_n H = 0$$

$$A_i \sin \lambda_i h_i + B_i \cos \lambda_i h_i = A_{i+1} \sin \lambda_{i+1} h_i + B_{i+1} \cos \lambda_{i+1} h_i \quad (2.10)$$

$$\lambda_i A_i G_i \cos \lambda_i h_i - \lambda_i B_i G_i \sin \lambda_i h_i = \lambda_{i+1} A_{i+1} G_{i+1} \cos \lambda_{i+1} h_i - \lambda_{i+1} B_{i+1} G_{i+1} \sin \lambda_{i+1} h_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n - 1$$

Քանի որ (2.10) համակարգը $A_1, A_2, \dots, A_n$ և $B_1, B_2, \dots, B_n$ գործակիցների նկատմամբ համասեռ հավասարումների համակարգ է, ապա A_i և B_i ($i = 1, \dots, n$) գործակիցների համար միակ ոչ զրոյական լուծումները կստացվեն (2.10)-ի դետերմինանտի զրո լինելու դեպքում: Այդ դետերմինանտի զրո լինելու պայմանից էլ կորոշվի փնտրվող անհամասեռ ստվարաշերտի ազատ տատանումների P անկյունային հաճախությունը: Չնայած խնդրի լուծման այսպիսի պարզությամբ, մեծ թվով շերտերի դեպքում այն բավականին խրթանում է կապված բարձր կարգի դետերմինանտների և տրանսցենդենտ հավասարումների լուծումների հետ, և այդ է պատճառը, որ գրականության մեջ չկան պատրաստի բանաձևեր մակերևութային ստվարաշերտի ընդհանուր դեպքի համար գերակշռող տատանումների պարբերությունների հաշվարկման համար: Այսպես, նույնիսկ երկշերտանի ստվարաշերտի դեպքում տատանումների $T_0 = 2\pi/P$ տարբերությունների հաշվման համար (2.10)-ից ստացվում է հետևյալ բարդ տրանսցենդենտ հավասարումը.

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \sqrt{\frac{\rho_1}{G_1}} H_1 \times \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \sqrt{\frac{\rho_2}{G_2}} H_2 = \sqrt{\frac{\rho_2 G_2}{\rho_1 G_1}} \quad (2.11.2)$$

որի լուծումները կարելի է ստանալ միայն հաշվիչ մեքենաների օգտագործմամբ:

Նման ձևով (2.10) համասեռ հավասարումների համակարգի դետերմինանտի զրոյի հավասար լինելու պայմանից կստանանք *եռաշերտ ստվարաշերտի դեպքում* ($n=3$)

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{\rho_1 G_1}{\rho_2 G_2}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 + \sqrt{\frac{\rho_2 G_2}{\rho_3 G_3}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 + \\ + \sqrt{\frac{\rho_1 G_1}{\rho_3 G_3}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 - 1 = 0 \end{aligned} \quad (2.11.3)$$

քառաշերտ ստվարաշերտի դեպքում ($n=4$)

$$\begin{aligned}
& \sqrt{\frac{\rho_1 G_1}{\rho_1 G_2}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 + \sqrt{\frac{\rho_1 G_1}{\rho_3 G_3}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 + \\
& + \sqrt{\frac{\rho_1 G_1}{\rho_4 G_4}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_4 + \sqrt{\frac{\rho_2 G_2}{\rho_3 G_3}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 + \\
& + \sqrt{\frac{\rho_2 G_2}{\rho_4 G_4}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_4 + \sqrt{\frac{\rho_3 G_3}{\rho_4 G_4}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_4 - \\
& - \sqrt{\frac{\rho_1 G_1 \rho_3 G_3}{\rho_2 G_2 \rho_4 G_4}} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_1 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_2 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_3 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{T_0} \alpha_4 - 1 = 0
\end{aligned} \tag{2.11.4}$$

որտեղ նշանակված են՝

$$\alpha_1 = H_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{G_2}}, \quad \alpha_2 = H_2 \sqrt{\frac{\rho_2}{G_2}}, \quad \alpha_3 = H_3 \sqrt{\frac{\rho_3}{G_3}}, \quad \alpha_4 = H_4 \sqrt{\frac{\rho_4}{G_4}}$$

ինչպես տեսնում ենք, շերտերի թիվը մեծանալիս պարբերությունների որոշման բնութագրիչ հավասարումները ավելի բարդանում են:

Ինչպես հայտնի է տատանումների տեսությունից, առաձգական համակարգերի ազատ տատանումների առաջին (հիմնական) T_{01} պարբերության մեծությունը ավելի պարզ մոտավոր եղանակներով որոշելիս կարելի է հասնել մեծ ճշտության, եթե առաձգական գիծը մոտարկող $u(x)$ ֆունկցիան բավարարում է խնդրի եզրային պայմաններին: Այժմ մույն ընդհանուր խնդիրը լուծենք մոտավոր՝ էներգետիկ եղանակով, որպես ամբողջ ստվարաշերտի սահքի ժամանակ առաձգական գիծ ընդունելով հետևյալ կորը.

$$u(x, t) = B \cos \frac{\pi x}{2H} \sin \frac{2\pi}{T_{01}} t \tag{2.12}$$

որը բավարարում է խնդրի երկու եզրային պայմաններին՝ ազատ մակերևույթում լարման բացակայության՝

$$x = 0 \quad u'(x, t) = 0 \tag{2.13}$$

և ժայռային հիմքի մակարդակում սահքի բացակայության՝

$$x = H \quad u(x, t) = 0 \tag{2.14}$$

Բացի դրանից (2.12) արտահայտությունը հանդիսանում է (2.3) հիմնական հավասարման ճշգրիտ լուծումը H հզորությամբ համասեռ ստվարաշերտի դեպքում: Կոմենտարիով համակարգերի ազատ տատանումների դեպքում պոտենցիալ Π և կինետիկ K էներգիաները բավարարում են հետևյալ հավասարմանը.

$$K_{\max} = \Pi_{\max} \tag{2.15}$$

Սահքի ենթարկվող միջավայրի դեպքում պոտենցիալ և կինետիկ էներ-

գիաների մեծությունները միավոր ժավալի համար կլինեն.

$$\begin{aligned}\Pi &= \frac{1}{2} \int_0^H G(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx \\ K &= \frac{1}{2} \int_0^H \rho(x) \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dx\end{aligned}\quad (2.16)$$

Մեր խնդրի դեպքում $u(x,t)$ -ի համար ընդունելով (2.12) արտահայտությունը, համապատասխանաբար կունենանք.

$$\begin{aligned}\Pi_{\max} &= \frac{1}{2} B^2 \sum_{k=1}^n \int_{h_k}^{h_{k+1}} G_k \left(\frac{\pi}{2H} \right)^2 \sin^2 \frac{\pi x}{2H} dx = \\ &= \frac{1}{2} B^2 \sum_{k=1}^n G_k \frac{\pi^2}{4H^2} \left[\frac{h_{k+1} - h_k}{2} - \frac{H}{2\pi} \left(\sin \frac{\pi h_{k+1}}{H} - \sin \frac{\pi h_k}{H} \right) \right] \\ K_{\max} &= \frac{1}{2} B^2 \sum_{k=1}^n \int_{h_k}^{h_{k+1}} \rho_k \left(\frac{2\pi}{T_{01}} \right)^2 \cos^2 \frac{\pi x}{2H} dx = \\ &= \frac{1}{2} B^2 \sum_{k=1}^n \rho_k \left(\frac{2\pi}{T_{01}} \right)^2 \left[\frac{h_{k+1} - h_k}{2} + \frac{H}{2\pi} \left(\sin \frac{\pi h_{k+1}}{H} - \sin \frac{\pi h_k}{H} \right) \right]\end{aligned}\quad (2.17)$$

Տեղադրելով (2.17)-ը (2.15)-ի մեջ և կատարելով որոշ ձևափոխություններ, T_{01} -ի համար կստանանք.

$$T_{01} = 4H \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \rho_k \left[H_k + \frac{H}{\pi} \left(\sin \frac{\pi h_k}{H} - \sin \frac{\pi h_{k-1}}{H} \right) \right]}{\sum_{k=1}^n G_k \left[H_k - \frac{H}{\pi} \left(\sin \frac{\pi h_k}{H} - \sin \frac{\pi h_{k-1}}{H} \right) \right]}}\quad (2.18)$$

Ստացված (2.18) բանաձևը հնարավորություն է տալիս ցանկացած կազմության ստվարաշերտի դեպքում գտնել նրա գերակշռող պարբերության մեծությունը: Եթե սահքի մոդուլների G_k փոխարեն տրված են շերտերում սահքի ալիքների տարածման արագությունները v_{sk} , ապա (2.18) բանաձևի մեջ կարելի է ընդունել հետևյալ կապակցությունը.

$$G_k = \rho v_{sk}^2\quad (2.19)$$

Նկատենք, որ Ռելեյի թեորեմի համաձայն (2.18) բանաձևով հաշվարկված T_{01} -ի մոտավոր արժեքը միշտ փոքր է (2.11) տրանսցենդենտ հավասարումների ճշգրիտ լուծումներից ստացված (առաջին արմատ) արժեքից:

Ինչ վերաբերում է տատանման բարձր ձևերի պարբերությունների մեծություններին, ապա, եթե ստվարաշերտի բնութագրերը շատ խիստ չեն տարբերվում իրարից, նրանց կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$T_{02} = \frac{T_{01}}{3}, T_{03} = \frac{T_{01}}{5} \quad (2.20)$$

Նշենք, որ (2.20) բանաձևերի իսկությունը հաստատվում է ճապոնիայի մայրաքաղաքի Տոկիոյի տարածքի գրունտների բնութագրերի քարտեզի տվյալներով: Քաղաքի կենտրոնական տարածքը բաժանված է մեկ կիլոմետրանոց ուղղանկյուն ցանցի և բոլոր հանգույցների տեղամասերի համար տրվում են միկրոտատանումների Ֆուրյեի վերլուծությամբ որոշված գերակշռող հաճախությունների մեծությունները [40]: Մի քանի հանգույցների համար տրված են նաև տատանման երկրորդ և երրորդ ձևերի հաճախականությունների մեծությունները: Այդ մեծությունները և նրանց հարաբերությունները բերված են 2.1 աղյուսակում, որոնք վկայում են (2.20) հարաբերությունների ճշտության մասին: Ինչպես տեսնում ենք աղյուսակի տվյալներից, 15 հանգույցների համար T_{01}/T_{02} և T_{01}/T_{03} հարաբերությունների միջին արժեքները համապատասխանաբար կազմում են 2.9 և 5.02, որոնք ապացուցում են առաջարկվող (2.20) բանաձևերի իսկությունը:

Աղյուսակ 2.1

Հանգույց	Տատանման առաջին երեք ձևերի հաճախությունները հերցերով			Հարաբերակցությունները	
	$f_1, 1/T_{01}$	$f_2, 1/T_{02}$	$f_3, 1/T_{03}$	$f_2/f_1, T_{01}/T_{02}$	$f_3/f_1, T_{01}/T_{03}$
1	0.6	2.0	3.5	3.3	5.8
2	0.6	1.9	3.2	3.1	5.3
3	0.5	1.5	2.5	3.0	5.0
4	0.6	1.7	3.0	2.8	5.0
5	0.5	1.7	2.3	2.8	4.6
6	0.6	1.8	3.1	3.0	5.1
7	0.5	1.4	2.4	2.8	4.8
8	0.6	1.7	2.6	2.8	4.3
9	0.6	1.8	3.0	3.0	5.0
10	0.8	2.5	4.3	3.1	5.3
11	0.8	2.3	4.0	2.8	5.0
12	1.1	3.2	-	2.9	-
13	1.7	4.1	-	2.4	-
14	1.6	4.8	-	3.0	-
15	1.4	4.5	-	2.8	-
միջին արժեքը				2.9	5.02

Տարբեր ստվարաշերտերի գերակշռող պարբերությունները (2.18) բանաձևի օգնությամբ հաշվարկման նպատակով աղյուսակ 2.2 - ում բերված են տարբեր գրունտների ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերի մեծությունները:

Համեմատության համար աղյուսակում բերված են նաև նրանցից կազմավորված 30 մետր հզորության համասեռ ստվարաշերտի գերակշռող պարբերությունների հաշվարկված (2.1) բանաձևի օգնությամբ:

Նշենք, որ երկրաշարժագիտության և երկրաշարժակայուն շինարարության վերաբերյալ գրականության մեջ կան գերակշռող պարբերությունների հաշվարկման վերաբերյալ նաև այլ մոտավոր բանաձևեր: Այսպես, Օկոմոտոյի աշխատանքում [40] ընդունելով, որ շերտերի ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերը իրարից խիստ չեն տարբերվում, T_{01} - ի մոտավոր արժեքը հաշվարկելու համար առաջարկվում է հետևյալ բանաձևը,

$$T_{01} = \sum_{k=1}^n \frac{4H_k}{v_{sk}} \quad (2.18\alpha)$$

կառուցվածքների սեյսմիկ պաշտպանության Ամերիկյան կոսիլիումի փաստաթղթերում (1997 խմբագրություն) T_{01} - ի համար առաջարկվում է [121]

$$T_{01} = \frac{4H}{v_s} \quad (2.18\beta)$$

որտեղ՝

$$H = \sum_{k=1}^n H_k, \quad \bar{v}_s = \frac{\sum_{k=1}^n H_k}{\sum_{k=1}^n \frac{H_k}{v_{sk}}} \quad (2.18\gamma)$$

Ինչպես դժվար չէ պարզ ձևափոխություններով համոզվել, որ երկու բանաձևերն էլ T_{01} -ի համար կտան միևնույն արժեքները: Ստացված (2.18) բանաձևի առավելությունը (2.18ա) և (2.18բ) բանաձևերի նկատմամբ կայանում է նրանում, որ նախ այն ստացված է խնդրի էներգետիկ հավասարակշռության սկզբունքից և ըստ Ռելեյի թեորեմի T_{01} -ի արժեքը միշտ փոքր է նրա իրական արժեքից: (2.18ա) բանաձևով T_{01} -ի արժեքները կարող են լինել ինչպես մեծ, այնպես էլ փոքր նրա իրական արժեքից): Բացի դրանից շերտերի խտությունների մեծությունները ρ_k անմիջապես նույնպես մտնում են բանաձևի մեջ, որը կապահովի (2.18) բանաձևի ավելի բարձր մոտավորությունը (2.18ա)-ի նկատմամբ:

Աղյուսակ 2.2

Թիվ	Գրունտի տեսակը	ρ , (տ վրկ ² /մ ⁴)	v_s , (մ/վրկ)	G , (տ/մ ²)	T_{01} , $H = 30$ մ (վրկ)
1	Ժայռ	0.22	>1000	220000	0.12
2	Կոպիճ (գլաքար)	0.22	600	79000	0.20
3	Թաց ավազ	0.20	340	23120	0.35
4	Ավազախռն կոպիճ	0.22	300	19800	0.40
5	Կավ	0.20	250	12500	0.48
6	Ավազակավ	0.20	150	4500	0.80
7	Լիցքային գրունտ	0.20	100	2000	1.20
8	Կավավազ	0.20	80	1280	1.50
9	Ավազ չոր	0.20	60	720	2.00

Մեզ քվում է մեծ քվով իրարից խիստ տարբերվող շերտերի դեպքում նպատակահարմար է ամբողջ համակարգը նախօրոք բերել երկշերտանի, եռշերտանի կամ քառշերտանի բերված համարժեք համակարգերի իրենց բերված $\bar{v}_{sk}$ սահիքի արագություններով, $\bar{\rho}_k$ խտություններով ու $\bar{H}_k$ հզորություններով ու օգտվել ճշգրիտ (2.11) տրանսցենդենտ հավասարումների լուծումներից: Բերված

համարժեք համակարգի k -րդ շերտի բնութագրերը կորոշվեն հետևյալ բանաձևերով՝

$$\bar{v}_{sk} = \frac{\sum_{i=m}^n H_i}{\sum_{i=m}^n \frac{H_i}{v_{si}}}, \quad \bar{\rho}_k = \frac{\sum_{i=m}^n H_i \rho_i}{\sum_{i=m}^n H_i}, \quad \bar{H}_k = \sum_{i=m}^n H_i \quad (2.18\eta)$$

Այստեղ որպես բերված համակարգի k -րդ շերտի բնութագրեր ընդունված է իրական ստվարաշերտի m -ից մինչև n -երրորդը շերտերից վերը նշված բանաձևով ստացված բնութագրերը: m - n իրար հաջորդող շերտերը ընտրվում են այնպես, որ նրանցում իրական խտությունները և սահքի արագությունները խիստ չտարբերվեն իրարից: Այս նշանակում է, որ մեկ բերված շերտ կարող է կազմված լինել ընդամենը երկու կամ երեք իրական շերտերից, իսկ մյուս բերված շերտը ավելի շատ թվով իրական շերտերից:

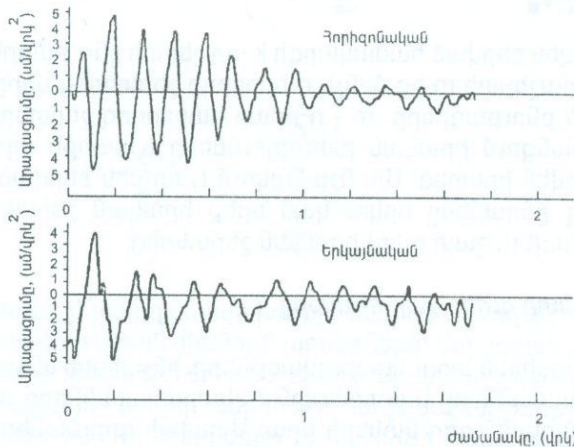
Ժայռային գրունտի ուժեղ չարժույնները

Շատ պատասխանատու կառուցվածքները, ինչպիսիք են ամբարտակները, հիդրոէլեկտրակայանները և ատոմային էլեկտրակայանները սովորաբար կառուցվում են ժայռային գրունտների վրա: Այդպիսի գրունտների վերին, երկրի մակերևույթին հարող մասերը սովորաբար լինում են զգալի հողմնահարված ու ճաքճքած, քան ավելի խոր շերտերը: Այնպես, որ այս դեպքում նույնպես կարելի է ենթադրել ինչ-որ պայմանական մակերևութային շերտի և նրա գերակշռող պարբերությունների մասին: Այս երևույթը շատ ավելի ցայտուն երևում է, երբ առկա են զգալի փոփոխություններ տեղանքի տոպոգրաֆիայի մեջ լեռնային բարձունքների կամ խորը կիրճերի տեսքով: Շատ հետազոտողներ գտնում են, որ այսպիսի դեպքում գրունտի գերակշռող պարբերությունները ունենում են մոտ 0.2 վրկ պարբերություն: Ժայռային գրունտների վրա ուժեղ երկրաշարժերի գրանցումների քանակը համեմատաբար քիչ է թույլ գրունտների վրա գրանցումների քանակի հետ համեմատած: Գրանցված աքսելերոգրամների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ժայռային գրունտներում գերակշռող տատանումների պարբերությունների մեծությունները գտնվում են 0.1-0.3 վրկ տիրույթում: Նկ. 2.15 և 2.16 բերված են 1973 թվի հունիսի 16-ի Երևանյան (Փարաքարի) և 1988 թվի դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժների աքսելերոգրամները ժայռային (անդեզիտա-բազալտներ) գրունտների վրա՝ գրանցված Հայսենյան ՊՅՀ-ի ինժեներաստյան չափիչ թիվ 1 և 3 կայաններում (ուժգնությունը 5-7 բալի սահմաններում): Երկու դեպքում էլ գերակշռող պարբերությունների մեծությունները գտնվում են 0.1 - 0.15 վրկ տիրույթում:

Տեսականորեն ժայռային գրունտներում գերակշռող պարբերությունների մեծությունները հաշվարկելիս պետք է օգտվել համասեռ մակերևութային շերտի համար բերված (2.1) բանաձևից: Սակայն այստեղ իսկույն ծագում է հետևյալ հարցը՝ մինչև ինչ խորության ընդունել ստվարաշերտի ընդհանուր H խորությունը:

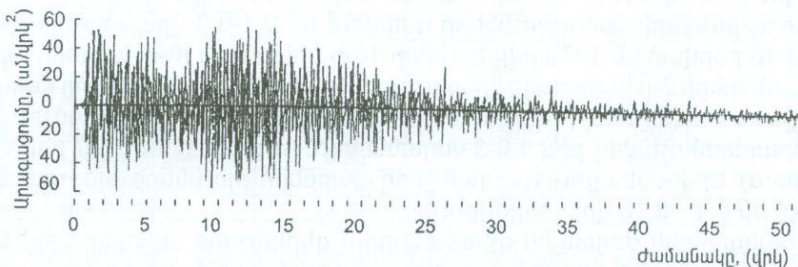
Շատ կարծիք ժայռային համասեռ գրունտների դեպքում, որոնց համար v_s գերազանցում է 1000 մ/վրկ H -ի մեծությունը հավանաբար չպետք է գերազանցի

50 մետրին, որովհետև ավելի մեծ H -ի դեպքում (2.1) բանաձևը կարող է բերել անտրամաբանական արդյունքների: Այսպես, եթե ընդունենք $H = 200$ մ $v_s = 1500$ մ/վրկ, ապա կունենանք $T_{01} = 4 \cdot 200 / 1500 = 0.6$ վրկ, որը դժվար թե իրականում ստացվի այդպիսի խորության ժայռային գրունտի դեպքում, իսկ եթե ընդունենք $H = 50$ մ, ապա $T_{01} = 0.13$ վրկ: Այս նշանակում է, որ շատ կարծր համասեռ գրունտի միայն ոչ մեծ հզորության վերին շերտն է ենթարկվում նկատելի արագացումների: Այս ենթադրության մասին են վկայում մաս երկրա-



Նկ. 2.15 1973թ. Յունիսի 16-ի Երևանյան երկրաշարժի աքսելերոգրամը [59]
(ԻՍԶԿ No. 1 բազալտներ, Երևան, Ահարոնյան 3. Հայսեսյան զհի):

շարժի ժամանակ տարբեր խորության մակարդակներում իրական գրանցած արագացումների մեծությունները: Կան տվյալներ, որ ժայռային գրունտների դեպքում արդեն 50 խորության մակարդակում գրանցված արագացումները երեք և ավելի անգամ փոքր են, քան երկրի մակերևույթի վրա: Այս նշանակում է, որ ժայռային գրունտների դեպքում սենսիվ ազդեցության էֆեկտը դեպի երկրի խորքը ավելի արագ է նվազում, քան գետաբերուկ-ողողաբերուկ գրունտների դեպքում:



Նկ. 2.16 1988թ. դեկտեմբերի 7 - ի Սպիտակի երկրաշարժի Երևանում գրանցված աքսելերոգրամը (ԻՍԶԿ N3 բազալտներ Երևան, Ա. Ավետիսյան փ.1) [60]:

Վերը շարադրված տվյալները գրունտի գերակշռող պարբերությունների մեծությունների վերաբերյալ, ինչպես ալյուվիուալ-դելյուվիուալ գրունտների,

այնպես էլ ժայռային գրունտների դեպքում վերաբերվում են միջին ուժգնության երկրաշարժերին: Ավելի ուժեղ երկրաշարժերի դեպքում, երբ գրունտի տատանումները ուղեկցվում են պլաստիկ դեֆորմացիաների առաջացմամբ, այսինքն, երբ գրունտում տեղի են ունենում զգալի մնացորդաին երևույթներ, գերակշռող պարբերությունների մեծությունները կարող են զգալի մեծանալ: Ընդ որում այդ մեծացման աստիճանը ալլյուվիալ գրունտների դեպքում ավելի բարձր է, քան ժայռային գրունտների դեպքում: Ալլյուվիալ գրունտների դեպքում մինչև 3-5 անգամ կարող են մեծանալ պարբերության մեծությունները, իսկ արքելերոգրամները կտրուկ փոփոխել իրենց բնույթը: Այս երևույթը շատ ցայտուն կերպով երևում է 2.4 նկարում բերված Նիդառայի (12.06.1964) երկրաշարժի ժամանակ գրանցած արքելերոգրամային: Երկրաշարժի սկզբից մինչև մոտավորապես 7 վայրկյանը գետնի տատանումները ունեն սովորական տեսք ոչ մեծ պարբերությամբ, իսկ 7 վայրկյանից հետո, երբ արագացման մեծությունը հասել է 150-160 սմ/վրկ², գրունտում տեղի է ունեցել ուժեղ ջրիկացում, որից հետո նրա արագացումները հետագա 27 վայրկյանների ընթացքում ունեցել են մի քանի անգամ ավելի մեծ պարբերություններ և բոլորովին այլ բնույթ:

Մեծ ուժգնության երկրաշարժերի ժամանակ, երբ ժայռային գրունտներում առաջանում են բազմաթիվ ճաքեր, նրանց գերակշռող պարբերությունների մեծացման աստիճանը, քարե և երկաթբետոնե կառույցների քայքայման պրոցեսի նմանողականությամբ, երևի չի գերազանցի 1.5-2 անգամից: Այնպես, որ մինչև անգամ ժայռային գրունտներում մեծ արագացումների դեպքում հնարավոր են անգամ մինչև $T_0=0.3-0.5$ վրկ պարբերությամբ տատանումներ:

2.5 ԳԵՐԱԿՇՈՂ ՊԱՐԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԵԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Այժմ (2.11), (2.18), (2.18ա) հիմնական բանաձևերի օգնությամբ հաշվենք մի քանի տեղանքների գերակշռող պարբերությունների մեծությունները:

ԷԼ-Ցենտրո:

Սկսենք ԷԼ-Ցենտրոյի 1940 թվի մայիսի 18-ի երկրաշարժի գրանցման կայանի տեղանքի T_0 -ի որոշումից: Ինչպես նշվեց վերևում տեղանքի երկրաբանական կտրվածքը ունի նկ. 2.17 ցույց տրված տեսքը, որտեղ

$$H_1 = 20 \text{ մ}, v_{s1} = 208 \text{ մ/վրկ}, \rho_1 = 0.2 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_2 = 12 \text{ մ}, v_{s2} = 150 \text{ մ/վրկ}, \rho_2 = 0.2 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4,$$

Ունենալով այս տվյալները, նախ գտնենք գերակշռող T_0 պարբերության արժեքները, ճշգրիտ եղանակով լուծելով (2.11.2) տրանսցենդենտ հավասարումը: Այդ հավասարման առաջին երեք արմատները T_0 -ի համար տալիս են հետևյալ արժեքները՝

$$T_{01} = 0.785 \text{ վրկ.}, T_{02} = 0.227 \text{ վրկ.}, T_{03} = 0.143 \text{ վրկ.}$$

Մոտավոր բանաձևերով T_0 -ի համար ստացվում են

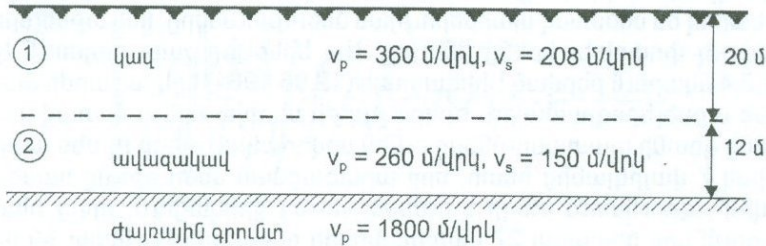
$T_{01} = 0.747$ վրկ. ըստ (2.18) բանաձևի

$T_{01} = 0.704$ վրկ. ըստ (2.18ա) բանաձևի

իսկ տատանման երկրորդ և երրորդ ձևերի համար

$T_{02}=0.261(0.249)$ վրկ., $T_{03}=0.157(0.149)$ վրկ. ըստ (2.20) բանաձևի:

ԷԼ-Ցենտրոն



Նկ. 2.17 ԷԼ-Ցենտրոն կայանի գրանցման տեղամասի երկրաբանական կտրվածքը ըստ [40]:

Ինչպես տեսանք, վերևում գրանցված աքսելերոգրամում գերակշռող պարբերությունները գտնվում էին 0.25-0.6 վրկ տիրույթում, որը մոտ է առաջարկվող բանաձևերով հաշվարկված 0.22-0.78 տիրույթին:

Գյումրի:

Սպիտակի երկրաշարժից հետո շատ է խոսվել Գյումրիի գրունտների մասին: Ըստ մի շարք հեղինակների տվյալների [18, 100, 101, 114, 142, 152] և դրանց ընդհանրացված Ա. Հաջյանի [97] տվյալներով, Գյումրի քաղաքի հին կենտրոնական մասի տեղանքի գրունտները ներկայացվում է նկ. 2.18 ցույց տրված 350 մետր խորության լիթոլոգիական սյան տեսքով:

Ընդունվում է՝

$$H_1 = 5.5 \text{ մ}, v_{s1} = 200 \text{ մ/վրկ}, \rho_1 = 0.20 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_2 = 7.0 \text{ մ}, v_{s2} = 300 \text{ մ/վրկ}, \rho_2 = 0.20 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_3 = 12.5 \text{ մ}, v_{s3} = 450 \text{ մ/վրկ}, \rho_3 = 0.21 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_4 = 25 \text{ մ}, v_{s4} = 350 \text{ մ/վրկ}, \rho_4 = 0.20 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_5 = 100 \text{ մ}, v_{s5} = 550 \text{ մ/վրկ}, \rho_5 = 0.21 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_6 = 200 \text{ մ}, v_{s6} = 800 \text{ մ/վրկ}, \rho_6 = 0.21 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

Կիրառելով (2.18) և (2.18ա) մոտավոր բանաձևերը այս 6 շերտանոց սյան նկատմամբ, T_0 -ի համար ստացվում են հետևյալ մեծությունները՝

$$T_{01} = 1.799 \text{ վրկ ըստ (2.18) բանաձևի}$$

$$T_{01} = 1.990 \text{ վրկ ըստ (2.18ա) բանաձևի}$$

Գերակշռող պարբերությունների մեծությունները Գյումրիի այս տեղանքի

համար հաշվարկվել են մահ մախօրոք այն բերելով համարժեք եռշերտանի տեղանքի: Շերտերի բնութագրերը համաձայն վերը նշված (2.18դ) բանաձևերի ստացվել են՝

$$\bar{H}_1 = 12.5 \text{ մ}, \bar{\rho}_1 = 0.2 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4, \bar{v}_{s1} = 264 \text{ մ/վրկ} \quad (1 \text{ և } 2 \text{ շերտեր})$$

$$\bar{H}_2 = 37.5 \text{ մ}, \bar{\rho}_2 = 0.203 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4, \bar{v}_{s2} = 378 \text{ մ/վրկ} \quad (3 \text{ և } 4 \text{ շերտեր})$$

$$\bar{H}_3 = 300 \text{ մ}, \bar{\rho}_3 = 0.210 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4, \bar{v}_{s3} = 695 \text{ մ/վրկ} \quad (5 \text{ և } 6 \text{ շերտեր})$$

Համարժեք եռաշերտ տեղանքի համար կիրառելով (2.11.3) ճշգրիտ տրանս-ցենդենտ հավասարման լուծումները, գերակշռող պարբերությունների համար կստացվեն հետևյալ մեծությունները՝

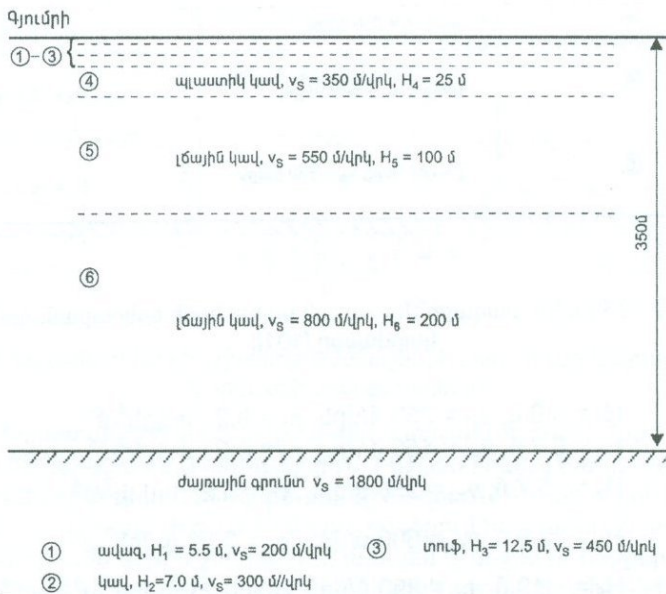
$$T_{01}=2.017 \text{ վրկ}, T_{02}=0.711 \text{ վրկ}, T_{03}=0.464 \text{ վրկ},$$

իսկ մոտավոր (2.18) և (2.18ա) բանաձևերը համարժեք եռաշերտ տեղանքի համար համապատասխանաբար տալիս են

$$T_{01}=2.009 \text{ վրկ}, T_{01}=1.990 \text{ վրկ}.$$

Տատանման երկրորդ և երրորդ ձևերի պարբերությունների մեծությունները համապատասխանաբար կլինեն՝

$$T_{01} = 0.60 \text{ վրկ.}, T_{02} = 0.36 \text{ վրկ}.$$



Նկ. 2.18 Գյումրի քաղաքի կենտրոնական մասի երկրաբանական կտրվածքի սխեման [97, 152]:

Ինչպես նշվեց վերևում, Գյումրի քաղաքում Սպիտակի երկրաշարժից հետո ճապոնացի մասնագետների կողմից կատարվել են նրա գրունտների միկրո-տատանումների գրանցումներ: Այդ գրանցումներից մեկը, ստացված մեծ պարբերության սեյսմոմետրի օգնությամբ, քաղաքի հին մասի հյուսիսային մասում (Կումայրի գետի աջ ափին) բերված է Նկ. 2.9-ում: Ինչպես երևում է գրանցում-

ներից, գերակշռող պարբերության արժեքը հասնում է $T_0=1.5$ մինչև $T_0=3.2$ վրկ: Սպիտակի երկրաշարժի 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի աֆտերշոկի՝ Գյումրիում գրանցված աքսելերոգրամների վերլուծության արդյունքներով գետնի գերակշռող պարբերությունների մեծությունները եղել են 0.8 վրկ. մինչև 2.0 վրկ-ի սահմաններում [81]: Այսպիսով, ինչպես տեսական, այնպես էլ գրանցված տվյալները վկայում են, որ Գյումրի քաղաքի գրունտների գերակշռող պարբերությունները կարող են հասնել մինչև 2 վրկ. արժեքների:

Այժմ հաշվարկենք նույն քաղաքի նոր (Մարմաշեն) թաղամասի (ծովի մակերևույթից մոտ 1700մ բարձրություն) գրունտի գերակշռող պարբերությունը: Ըստ ճապոնացի մասնագետ Իշիխարայի տվյալների [100, 101] տեղանքի երկրաբանական կտրվածքը ունի նկ. 2.19-ում բերված տեսքը: Այստեղի տարբերություն քաղաքի կենտրոնական մասի, 40 մետր խորության վրա հայտնաբերված է ժայռային (բազալտ) ապարներ, որոնց շնորհիվ զգալի փոքրանում է գերակշռող պարբերությունների մեծությունները: Անհամասեռ լիթոլոգիական այս պարամետրերը ըստ Իշիխարայի սրանք են՝

Գյումրի		
①	կավ, $v_s = 250$ մ/վրկ	$H_1 = 5.6$ մ
②	տուֆ, $v_s = 450$ մ/վրկ	$H_2 = 6.7$ մ
③	կավ, $v_s = 250$ մ/վրկ	$H_3 = 5.7$ մ
④	կոպիժ, $v_s = 600$ մ/վրկ	$H_4 = 12.5$ մ
⑤	լճային կավ, $v_s = 350$ մ/վրկ	$H_5 = 10.0$ մ

բ ա զ ա լ տ ն ե ռ

Նկ. 2.19 Գյումրի քաղաքի Մարմաշեն թաղամասի երկրաբանական կտրվածքը [101]:

$$H_1 = 5.6 \text{ մ}, v_{s1} = 250 \text{ մ/վրկ}, \rho_1 = 0.2 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_2 = 6.7 \text{ մ}, v_{s2} = 450 \text{ մ/վրկ}, \rho_2 = 0.21 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_3 = 5.7 \text{ մ}, v_{s3} = 250 \text{ մ/վրկ}, \rho_3 = 0.2 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_4 = 12.5 \text{ մ}, v_{s4} = 600 \text{ մ/վրկ}, \rho_4 = 0.22 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

$$H_5 = 10 \text{ մ}, v_{s2} = 350 \text{ մ/վրկ}, \rho_5 = 0.21 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

կիրառելով 5 շերտանոց լիթոլոգիական այս նկատմամբ (2.18) բանաձևը, գերակշռող T_{01} պարբերության մեծության համար կստանանք $T_{01}=0.344$ վրկ, իսկ առաջին և երկրորդ շերտերը բերելով մեկ միջինացված շերտի՝

$$\bar{H}_1 = 12.3 \text{ մ}, \bar{v}_{s1} = 329 \text{ մ/վրկ} \text{ և } \bar{\rho}_1 = 0.205 \text{ տվրկ}^2/\text{մ}^4$$

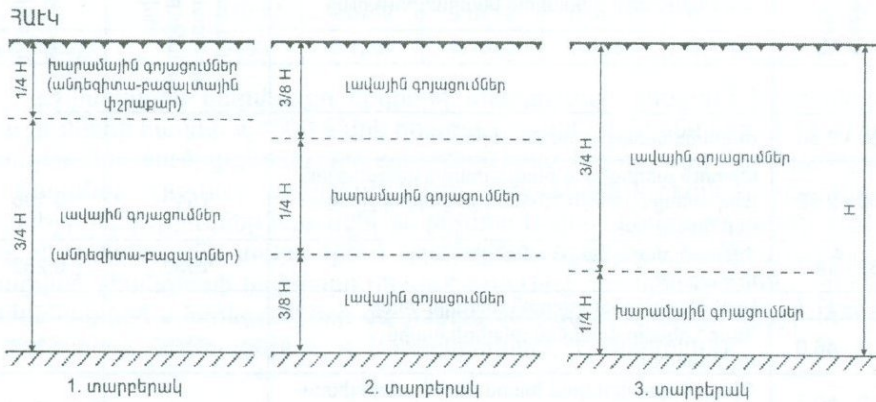
պարամետրերով և մյուս 3 շերտերի հետ որպես նոր 4 շերտանի կտրվածքի համար լուծելով (2.18.4) տրանսցենդենտ հավասարումը, գերակշռող պարբերությունների համար ստացվել են՝

$$T_{01}=0.428\text{վրկ}, T_{02}=0.14\text{վրկ}, T_{03}=0.084\text{վրկ};$$

Ըստ նույն ճապոնացի մասնագետների գրանցումների վերլուծությունների $T_{01}=0.3-0.5$ վրկ պարբերություն ունեն ինչպես նշված A_1 տեղամասի, այնպես էլ Գյումրիի հարավարևելյան տեղանքի (օդանավակայանի տարածք) գրունտները (նկ. 2.9):

Հայկական ԱԷԿ:

Հայկական ատոմային էլեկտրակայանի վերագործարկման կապակցությամբ կատարված լրացուցիչ հետազոտությունների ծրագրում մեր նախաձեռնությամբ կատարվել են նաև ատոմակայանի գլխավոր մասնաշենքի տեղանքի նոր ուսումնասիրությունները՝ փորելով 50 մետր խորության 6 հորատանցքեր: Հորատանցքերից համաժ ապարների (կեռների) ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերը ուսումնասիրվել են երկրաբանական վարչության երկրաֆիզիկական արշավախմբի պետ Ռոֆիզիկական լաբորատորիայում:



Նկ. 2.20 Հայկական ԱԷԿ-ի գլխավոր մասնաշենքի տեղամասի երկրաբանական կտրվածքի տարբերակները:

Թիվ 2 հորատանցքի կտրվածքի նկարագրությունը ըստ է. Խարազյանի և Ս. Սուքիասյանի բերված է 2.3 աղյուսակում: Ինչպես երևում է աղյուսակից, լավային գոյացումների ընդհանուր հզորությունը կազմում է 41 մետր, իսկ խարամային գոյացումներիը ոչ ավելի քան 10 մետր, ընդ որում խարամային գոյացումները գտնվում են ինչպես վերին շերտերում, այնպես էլ միջին ու ներքևի շերտերում: Այս տեսանկյունից տեղանքի ամբողջ կտրվածքի հաշվարկային սխեման կարելի է դիտարկել որպես երկու՝ լայնական ալիքների տարածման մեծությամբ բավական իրարից տարբերվող շերտերից կազմված համակարգ (նկ. 2.20):

Լավային գոյացումներից կազմված շերտի համար լայնական ալիքների տարածման մեծությունը իսկապես կարելի է ընդունել աղյուսակում նրանց համար բերված մեծությունների միջին արժեքը՝ 2780 մ/վրկ որպես հոծ մարմնում սահքի ալիքի տարածման արագություն, իսկ միջին խտությունը $\rho = 0.23$ տվրկ²/մ⁴: Ինչ վերաբերվում է խարամային գոյացումների շերտին, ապա

քանի որ նրանք նույնպես ունեն անդեզիտա-բազալտային կազմ, բայց որպես փխրուն միջավայրի կուներման լայնական ալիքի տարածման արագության բավական փոքր մեծություն: Ելնելով թիվ 2.2 աղյուսակի տվյալներից (կոպիճի անալոգիայով) ընդունենք, որ նրանց համար v_s -ի արժեքը գտնվում է 500÷1000 մ/վրկ սահմաններում, իսկ խտության համար ընդունենք $\rho = 0.21$ տվրկ²/մ⁴:

Եթե արհամարհենք 10-12 մետրանոց խարամային գոյացումների շերտի առկայությունը, ապա ըստ (2.1) հիմնական բանաձևի տեղանքի գերակշռող պարբերության համար կունենանք՝

$$T_{01} = \frac{4 \cdot 50}{2780} = 0.072 \text{ վրկ}$$

Աղյուսակ 2.3

Խորությունը մետրերով	Ապարների համառոտ նկարագրությունը	Լայնական ալիք- ների տարածման արագությունը, v_s (մ/վրկ)	Խտությունը, ρ , (տվրկ ² /մ ⁴)
0.00 - 0.50	Ժամանակակից հողային շերտ	-	-
0.50 - 2.80	Փխրուն անդեզիտա-բազալտային կազմության խարամային, մինչև 10-12սմ չափերի փշրաքարեր (բրեկչիա)	2540	0.195
2.80 - 14.7	Փխրուն խարամային անդեզիտների փշրաքարեր	2930	0.232
14.7 - 17.7	Անդեզիտա-բազալտային լավային հոսք	-	-
17.7 - 46.0	Հզոր երկպիրոկսենյան անդեզիտային փշրաքարեր	2860	0.237
46.0 - 50.7	Փխրուն կարմրավուն խարամային անդեզիտային փշրաքարեր	-	-
50.7 - 51.0	Խարամային խիտ հատիկաապակյա անդեզիտներ	-	-

Հավանաբար ճիշտ կլիներ ենթադրել, որ լավային գոյացումներում սափքի ալիքի տարածման $v_s = 2780$ մ/վրկ արագության մեծությունը, որը որոշվել է խորքից հանված բազալտի շատ ամուր նմուշի (կեռնի) լաբորատոր փորձարկման արդյունքում, իրականում հաշվի առնելով գրունտի իրական ճաքճքվածությունը և անհամասեռությունը, կարող է երկու և ավելի անգամ փոքր լինել: Այդ դեպքում T_{01} -ի արժեքը կհասնի մինչև $T_{01}=0.144$ վրկ:

Այժմ գնահատենք խարամային գոյացումների շերտի ազդեցությունը, ընդունելով հետևյալ երեք հնարավոր տարբերակները.

1. Խարամային գոյացումների ամբողջ $1/4$ H հզորությամբ շերտը գտնվում է կտրվածքի ամենավերին մակարդակում,
2. Խարամային գոյացումների ամբողջ $1/4$ H հզորությամբ շերտը գտնվում է կտրվածքի միջին մակարդակում,
3. Խարամային գոյացումների ամբողջ $1/4$ H հզորությամբ շերտը գտնվում է կտրվածքի ամենամերձիկ մակարդակում (նկ. 2.20),

Դժվար չէ համոզվել, որ բերված երեք տարբերակներից առաջինի դեպքում

խարամային գոյացումների ազդեցությունը ամբողջ կտրվածքի գերակշռող պարբերության մեծության վրա կլինի ամենամվազագույնը, իսկ երրորդ տարբերակի դեպքում ամենաառավելագույնը: Այդ պատճառով դիտարկվել են միայն առաջին և երրորդ տարբերակները: Խարամային գոյացումների մեջ սահիբի ալիքի տարածման արագության մեծությունը ընդունվել է երեք տարբեր արժեքներով՝ 500 մ/վրկ, 750 մ/վրկ և 1000 մ/վրկ: Գերակշռող պարբերության T_{01} -ի արժեքները նշված երկու տարբերակների և v_s -ի արժեքների դեպքում, որոնք ստացվել են (2.18.2) տրանսցենդենտ հավասարման լուծումից, ինչպես նաև (2.18) և (2.18ա) մոտավոր բանաձևերով ստացված նրանց արժեքները բերված են 2.3ա աղյուսակում:

Աղյուսակ 2.3ա

Գերակշռող պարբերության մեծությունը (վրկ)	1. տարբերակ			3. տարբերակ		
	խարամային գոյացումներում սահիբի ալիքի արագությունը (մ/վրկ)					
	500	750	1000	500	750	1000
T ₀₁ (2.11.2)	0.111	0.0860	0.0770	0.3020	0.2040	0.156
T ₀₁ (2.18)	0.071	0.0712	0.0712	0.0978	0.0962	0.094
T ₀₁ (2.18ա)	0.153	0.1200	0.1040	0.1530	0.1200	0.104

Հաշվարկային կտրվածքի երկրորդ տարբերակի դեպքում խարամային գոյացումների համար $v_s=500$ մ/վրկ դեպքում, տրանսցենդենտներ (2.11.3) հավասարման լուծումից գերակշռող պարբերության մեծությունը $T_{01}=0.228$ վրկ.:

Տեղանքի գրունտի տատանումների աղյուսակում բերված պարբերությունների մեծություններ նկատվել են ինչպես Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ, ատոմակայանի տարածքում գրանցված աքսելերոգրամի օգնությամբ ստացված ռեակցիայի սպեկտրի վերլուծությունից, այնպես էլ 1992թ. տեղում իրականացված պայթեցումների ժամանակ ստացված գրանցումների վերլուծություններից (Ֆ. Առաքելյան, Վ. Մնացականյան, Հ. Պողոսյան):

Ղուկասյան:

Չորսշերտանի հիմնատակ՝ հետևյալ բնութագրերով [152]

1. Ավազակավ $H_1 = 3.0$ մ, $\rho_1 = 0.154$ տվրկ²/մ⁴, $v_{s1} = 200$ մ/վրկ
2. Լճային կավ $H_2 = 1.8$ մ, $\rho_2 = 0.177$ տվրկ²/մ⁴, $v_{s2} = 200$ մ/վրկ
3. Ավազակոպիժ $H_3 = 5.7$ մ, $\rho_3 = 0.180$ տվրկ²/մ⁴, $v_{s3} = 300$ մ/վրկ
4. Լճային հիմնական գոյացումներ $H_4 = 24.5$ մ, $\rho_4 = 0.177$ տվրկ²/մ⁴, $v_{s4} = 300$ մ/վրկ

«Հիմքային գրունտը» ճաքակալած բազալտներ են սահիբի արագության $v_s > 1000$ մ/վրկ մեծությամբ: Քառաշերտ հիմնատակի համար ճշգրիտ եղանակով ստացված գերակշռող պարբերությունների (2.11.4) տրանսցենդենտ հավասարման լուծումները տվեցին $T_{01} = 0.463$ վրկ, $T_{02} = 0.157$ վրկ, $T_{03} = 0.098$ վրկ: Առաջին գերակշռող տարբերության համար (2.18) և (2.18ա) մոտավոր բանաձևերով հաշվարկումների արդյունքում համապատասխանաբար ստացվում են՝

$$T_{01}=0.463$$

ըստ (2.18)-ի

$$T_{01}=0.499$$

ըստ (2.18ա)-ի

1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ այս տեղանքում

գրանցվել են գետնի եռակոմպոնենտ արժեքները, ինչպես հիմնական հարվածի, այնպես էլ 4 թույն 15 վրկ հետո առաջին ամենահզոր աֆտերշոկի դեպքում (նկ. 3.16): Այդ արժեքները հիման վրա կառուցված հակազդումների սպեկտրների վերլուծություններից պարզվել է, որ երկրաշարժի ժամանակ գետնի զերակշռող պարբերությունների մեծությունները երկու հորիզոնական ուղղություններով եղել են՝ [86, 87, 89]

- 0.33 վրկ, 0.45 վրկ (հիմնական հարված), 0.25 վրկ, 0.38 վրկ (աֆտերշոկ)- N-S կոմպ.
- 0.38 վրկ, 0.9 վրկ (հիմնական հարված), 0.55 վրկ (աֆտերշոկ) - E-W կոմպ.

Ինչպես տեսնում ենք, այստեղ նույնպես զերակշռող պարբերության հաշվարկային ու գրանցված մեծությունների տարբերությունը էական չէ:

Մեխիկո:

14 շերտանի հիմնատակ (Ալամադա Պարկ) հետևյալ բնութագրերով [147]

1.	$H_1 = 5.5$ մ	$\rho_1 = 0.169$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s1} = 76.9$ մ/վրկ
2.	$H_2 = 3.6$ մ	$\rho_2 = 0.153$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s2} = 114.4$ մ/վրկ
3.	$H_3 = 6.6$ մ	$\rho_3 = 0.119$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s3} = 48.5$ մ/վրկ
4.	$H_4 = 0.7$ մ	$\rho_4 = 0.180$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s4} = 62.3$ մ/վրկ
5.	$H_5 = 3.3$ մ	$\rho_5 = 0.118$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s5} = 55.2$ մ/վրկ
6.	$H_6 = 3.85$ մ	$\rho_6 = 0.126$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s6} = 61.0$ մ/վրկ
7.	$H_7 = 3.55$ մ	$\rho_7 = 0.120$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s7} = 62.5$ մ/վրկ
8.	$H_8 = 1.9$ մ	$\rho_8 = 0.122$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s8} = 76.7$ մ/վրկ
9.	$H_9 = 4.4$ մ	$\rho_9 = 0.119$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s9} = 77.7$ մ/վրկ
10.	$H_{10} = 4.7$ մ	$\rho_{10} = 0.180$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s10} = 148.9$ մ/վրկ
11.	$H_{11} = 3.35$ մ	$\rho_{11} = 0.129$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s11} = 87.0$ մ/վրկ
12.	$H_{12} = 0.4$ մ	$\rho_{12} = 0.178$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s12} = 105.9$ մ/վրկ
13.	$H_{13} = 3.3$ մ	$\rho_{13} = 0.127$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s13} = 93.8$ մ/վրկ
14.	$H_{14} = 2.45$ մ	$\rho_{14} = 0.130$ տվրկ ² /մ ⁴	$v_{s14} = 138.4$ մ/վրկ

$$\sum_{i=1}^{14} H_i = 46.7 \text{ մ}$$

Շերտերի նյութերը հիմնականում կազմավորված են տարբեր ջրավորվածությամբ տիղմներից, կավերից և ավազներից:

Գերակշռող պարբերության T_{01} -ի արժեքները ըստ մոտավոր բանաձևերի ունեն հետևյալ արժեքները՝

$$T_{01} = 1.837 \text{ վրկ} \quad \text{ըստ (2.18)-ի}$$

$$T_{01} = 2.559 \text{ վրկ} \quad \text{ըստ (2.18ա)-ի}$$

Ինչպես Գյումրիի տեղանքի դեպքում այստեղ նույնպես 14 շերտանի հիմնատակը (2.18դ) բանաձևերի օգնությամբ բերվել է համարժեք 4 շերտանի հիմնա-

տակի հետևյալ բնութագրերով՝

1. $\bar{H}_1 = 15.7$ մ, $\bar{\rho}_1 = 0.144$ տվրկ² / մ⁴, $\bar{v}_{s1} = 65.59$ մ / վրկ (1-3 շերտեր)

2. $\bar{H}_2 = 11.4$ մ, $\bar{\rho}_2 = 0.121$ տվրկ² / մ⁴, $\bar{v}_{s1} = 59.7$ մ / վրկ (4-7 շերտեր)

3. $\bar{H}_3 = 11.0$ մ, $\bar{\rho}_3 = 0.146$ տվրկ² / մ⁴, $\bar{v}_{s3} = 97.37$ մ / վրկ (8-10 շերտեր)

4. $\bar{H}_4 = 9.5$ մ, $\bar{\rho}_4 = 0.131$ տվրկ² / մ⁴, $\bar{v}_{s4} = 99.82$ մ / վրկ (11-14 շերտեր)

Բերված քառաշերտ հիմնատակի համար ստացված (2.11.4) ճշգրիտ տրանս-
ցենդենտ հավասարման լուծումները տվեցին՝

$$T_{01} = 2.402 \text{ վրկ}, T_{02} = 0.852 \text{ վրկ}, T_{03} = 0.553 \text{ վրկ},$$

իսկ մոտավոր բանաձևերով համապատասխանաբար

$$T_{01} = 2.119 \text{ վրկ}, \quad \text{ըստ (2.18) -ի}$$

$$T_{01} = 2.559 \text{ վրկ}, \quad \text{ըստ (2.18ա) -ի}$$

Մեխիկո քաղաքի բերված տեղանքում գրանցված իրական երկրաշարժերի
աքսելերոգրամների վերլուծություններից (հակազդումների և ֆուրյեի սպեկտր-
ներից) առաջին գերակշռող T_{01} պարբերությունների արժեքները եղել են՝ [147]

- 1962թ. մայիսի 11-ի երկրաշարժի ժամանակ

$$T_{01} = 2.00 \text{ վրկ} - N11W \text{ կոմպոնենտով}$$

$$T_{01} = 1.75 \text{ վրկ} - N79E \text{ կոմպոնենտով}$$

- 1962թ. մայիսի 19-ի երկրաշարժի ժամանակ

$$T_{01} = 3.50 \text{ վրկ} - N11W \text{ կոմպոնենտով}$$

$$T_{01} = 1.75 \text{ վրկ} - N11E \text{ կոմպոնենտով}$$

- 1985թ. սեպտեմբերի 19-ի երկրաշարժի ժամանակ

$$T_{01} = 2.00 \div 2.60 \text{ վրկ}$$

Վերջում մի կարևոր դիտողություն: Ինչպես նշվեց վերևում, (2.18) մոտավոր
բանաձևը համաձայն Ռելեյի թեորեմի միշտ բերում է գերակշռող T_{01} պարբերու-
թյան փոքրացմանը համեմատած համապատասխան տրանսցենդենտ հավա-
սարման արդյունքում ստացված ճշգրիտ լուծման հետ: Քննարկված օրի-
նակների արդյունքները ցույց են տալիս, որ այդ փոքրացման չափը գտնվում է
10% մինչև 30% սահմաններում:

Հետևաբար տվյալ տեղանքի գերակշռող պարբերության իրական արժեքը
որոշելու համար անհրաժեշտ է (2.18) մոտավոր բանաձևով ստացված T_{01}
արժեքները բազմապատկել 1.2 միջինացված գործակցով:

2.6 ՄԻ ՔԱՆԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՆԵՐ ԵՐԿՐԱՇԱՐՇԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ԳԵՏՆԻ ՇԱՐՇՈՒՄՆԵՐԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ՄԱՍԻՆ

Երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների պարբերությունների որոշ-
ման վերը բերված օրինակների վերլուծությունները թույլ են տալիս հաստատել

հետևյալ երկու հանգամանքները: Նախ առաջարկված (2.11) – (2.18) բանաձևերով հաշվարկված գերակշռող պարբերությունների մեծությունները բավարար մոտ են տվյալ տեղանքում գրանցված գետնի միկրոտատանումների հարմոնիկ վերլուծության արդյունքում հաստատված գերակշռող պարբերությունների մեծություններին, և մյուս կողմից այդ պարբերությունների մեծությունները բավարար մոտ են նաև տվյալ տեղանքում գրանցված իրական երկրաշարժերի ժամանակ գետնի տատանումների (աքսելերոգրամների) վերլուծությամբ հաստատված գերակշռող պարբերությունների մեծություններին:

Այս, մեր կարծիքով շատ կարևոր արդյունքները թույլ են տալիս ենթադրել, որ ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի տատանողական պրոցեսի կազմավորման գործում գլխավոր դերը կատարում են անհամասեռ մակերևութային շերտի սեփական տատանումները: Սա նշանակում է, որ տվյալ դիտարկման կայանում գրանցված տարբեր երկրաշարժերի աքսելերոգրամները հիմնականում պետք է ունենան միևնույն գերակշռող պարբերությունները անկախ երկրաշարժի մագնիտուդից ու էպիկենտրոնային հեռավորությունից:

Այս հանգամանքը մեկ անգամ չէ, որ անուղղակի հաստատվել է երկրաշարժի ռեակցիայի սպեկտրի պատկերով, քանի որ միշտ էլ կարծր գրունտների վրա գրանցված աքսելերոգրամների հիման վրա կառուցված ռեակցիայի սպեկտրում ամենամեծ արագացումները ստացվում են փոքր T պարբերություն ունեցող կառուցվածքների համար, իսկ փխրուն գրունտների դեպքում մեծ T պարբերություններ ունեցող կառուցվածքների համար: Երկրաշարժերի ժամանակ գետնի տատանողական պրոցեսի ձևավորման այդպիսի պարզունակ վարկածը զգալի հեշտացնում է նաև արհեստական աքսելերոգրամների գեներացիայի խնդիրը, քանի որ, որպես նրանց հաճախությունների սպեկտր կարելի է ընդունել մակերևութային ստվարաշերտի գերակշռող հաճախությունների սպեկտրը, իսկ արագացման մեծության ամենամեծ արժեքը որոշել կանխատեսվող երկրաշարժի մագնիտուդայով ու էպիկենտրոնալ հեռավորությունով, որոնց վերաբերյալ կան բազմաթիվ էմպիրիկ բանաձևեր (1.102):

Երկրաշարժի ժամանակ գրունտի տատանողական պրոցեսի ձևավորման գործում մակերևութային շերտի գերակշռող պարբերությունների վճռական դերի մասին մեր ենթադրությունը, մեզ թվում է, արձագանքում է երկրաշարժերի ծագման ժամանակակից մեխանիզմի՝ որպես հոծ միջավայրի ակնթարթային խզման և առաձգական սեյսմիկ ալիքների միջոցով էներգիայի տարածման, տեսության հետ [21]: Սեյսմիկ ալիքները երկրի վերին ոչ մեծ հզորության շերտերում (որոնք ավելի դյուրազգաց մեծ դեֆորմացիաների ենթարկվելու) խախտում են նրանց ստատիկ հավասարակշռությունը, առաջացնում այդ շերտերի պարամետրերով պայմանավորված գերակշռող պարբերություններով սահքի ազատ տատանումներ, որոնց սուպերոզիցիայի արդյունքում ձևավորվում է տվյալ տեղանքի աքսելերոգրամն: Այդ տատանումների ամպլիտուդները պայմանավորված կլինեն ինչպես օջախում խզման տիրույթի չափերով, այնպես էլ տարածման միջավայրի կլանիչ հատկություններով: Ցնցումների տևողությունը պայմանավորված կլինի ինչպես սկզբնական ամպլիտուդայով, այնպես էլ մակերևութային շերտերի դիմամիկ հատկություններով՝ ինչքան մեծ լինի պրոցեսի սկզբնական մակարդակը (մագնիտուդան) ու գերակշռող տարբերությունների մեծությունները (փխրուն գրունտներ) և փոքր լինի գրունտի մարման գործակիցը, այնքան երկար կտևի երկրաշարժը տվյալ տեղանքում: Ցնցումների տևո-

դուքյունը կախված կլինի նաև օջախում խզումների քանակից, բայց դա չի ազդի գրունտի տատանման սպեկտրալ բաղադրակազմի վրա: Նշենք, որ նմանատիպ երևույթ է տեղի ունենում նաև երկրաշարժի ժամանակ շենքերի և կառույցների ցնցումների ժամանակ: Ինչպես ցույց են տալիս տեսական հետազոտությունները և շենքերի տարբեր հարկերում նրանց տատանումները իրական երկրաշարժերի ժամանակ արձանագրելու նպատակով տեղակայված գործիքների գրանցումների արդյունքները, կառուցվածքի հակազդումները նրա տարբեր մակարդակներում իրենից ներկայացնում են նրանց ազատ տատանումների պարբերություններով օժտված քվազի հարմոնիկ շարժումների սուպերպոզիցիաներ: Այսպիսով, մեզ թվում է, երկրաշարժի օջախից արձանակող շենքի և կառուցվածքին հաղորդման բարդ պրոցեսը կարելի է ներկայացնել հետևյալ պարզագույն վարկածով. *երկրաշարժի օջախից տարածվող սեյսմիկ ալիքները երկրի մակերևույթին առաջացնում են տվյալ տեղանքի գերակշռող պարբերություններով պայմանավորված ցնցումներ, որոնք իրենց հերթին վերգետնյա կառուցվածքում առաջացնում են հենց իրենց կառուցվածքների գերակշռող պարբերությունների մեծություններում պայմանավորված նոր տատանումներ կամ ինչպես ընդունված է տատանումների տեսության մեջ՝ տեղի է ունենում սեյսմիկ ալիքների կրկնակի գտում (ֆիլտրացիա) – սկզբում գրունտի մակերևութային շերտում, իսկ հետո բուն կառուցվածքում:* Իհարկե «գրունտ-կառուցվածք» փոխազդեցությունը փխրուն գրունտների դեպքում ինչ-որ չափով կփոխի ինչպես գրունտի, այնպես էլ կառուցվածքի տատանումների նշված օրինաչափությունները, բայց այդ ազդեցության հաշվարկը դյուրին լուծելի խնդիր է:

2.7. ՏԵՂԱՆՔԻ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ

Երկրաշարժերի գրանցումների վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ էպիկենտրոնից համարյա միևնույն հեռավորությունների վրա գետնի հորիզոնական, ուղղաձիգ և պտտական տատանումների մեծությունները, սպեկտրալ կազմը ու տևողությունները էականորեն կախված են գրանցման տեղի երկրաբանական պայմաններից, տեղանքի հիմնահողերի (գրունտի) ֆիզիկա-մեխանիկական ամրության, դեֆորմացիոն և ակուստիկ բնութագրերից: Ուժեղ երկրաշարժերի հետևանքների ուսումնասիրությունները բացահայտում են նաև, որ շենքերի և կառուցվածքների վնասվածքները երկրաշարժի ժամանակ նույնպես պայմանավորված են գրունտային պայմաններով: Փխրուն գրունտների դեպքում վնասվածքները հետևանք են կառուցվածքի մտվածքների, թեքումների ու տապալումների, իսկ կարծր գրունտների դեպքում՝ նրանցում առաջացած համատարած ճաքերի ու մեծ չափերի հասնող հարաբերական տեղափոխությունների: Այսպիսով, գրունտային պայմանները ոչ միայն փոփոխում են գետնի սեյսմիկ ազդեցությունների կինեմատիկ պարամետրերը, այլև էապես փոփոխում են կառուցվածքի վնասվածքների բնույթը:

Սեյսմակայուն շինարարության վերաբերյալ նորմերում գրունտային պայմանների հաշվառման դրույթները մշակելիս մեր կարծիքով պետք է էլենել հետևյալ դրույթներից [3, 63, 67, 110, 111]՝

- *գրունտները ըստ սեյսմիկ հատկանիշների ստորաբաժանման քանակական չափանիշների սահմանում,*

- սեյսմիկ հակազդումների սպեկտրի տարբեր երկրաչափական պատկերների ընդունում տարբեր գրունտների համար,
- գետնի սպասվելիք ամենամեծ արագացումների մեծությունների ճշգրտման գործակիցների սահմանում սեյսմիկ կատեգորիայի տարբեր գրունտների դեպքում:

Քանի որ գրունտային պայմանները բերում են նաև գետնի տատանումների տևողության փոփոխության, որը իր հերթին ազդում է կառուցվածքի կրողունակության վրա, ապա նպատակահարմար է այս հանգամանքը հաշվի առնել երկրաշարժի ժամանակ տարբեր կոնստրուկցիաների թույլատրելի վնասվածքների աստիճանը բնութագրող գործակիցների մեծությունները սահմանելիս: Կառուցվածքների վրա սեյսմիկ ազդեցության դեպքում գրունտային պայմանների հաշվառման հարցում պետք է նկատի ունենալ, որ սեյսմիկ ալիքների էներգիան կառուցվածքներին փոխանցման գործում զլխավոր դերը պատկանում է գրունտի վերին շերտին, որին հենվում է կառուցվածքի հիմքը: Մյուս կողմից վերին շերտի տատանումների կինեմատիկական պարամետրերը իրենց հերթին պայմանավորված են իրենց տակ գտնվող գրունտի շերտերի ֆիզիկա-մեխանիկական ու ակուստիկ հատկություններով: Այստեղ միանգամից բնական հարց՝ մինչև որ խորության շերտերի շարժումները էական ազդեցություն են ունենում վերին շերտի տատանումների վրա: Ինչպես նշվեց վերևում, ժայռային գրունտների դեպքում H -ի մեծությունը պիտի վերցնել ոչ պակաս 30 մ շենքի հիմքի հատակագծային նիշից հաշված, իսկ փխրուն գրունտների դեպքում H -ի մեծությունը պետք է ընդունել մինչև «հիքային ժայռային շերտի» մակարդակը: Առաջարկվում է գրունտները (գրունտային հիմնատակը) ըստ սեյսմիկ հատկությունների կարգերի բաժանելիս, որպես հիմնական քանակական պարամետր, ընդունել հիմնատակի գերակշռող պարբերության T_0 -ի մեծությունը: Ինչպես տեսանք վերևում, T_0 -ի մեծության վրա ազդում են ինչպես շերտերի H_k հզորությունները, այնպես էլ այդ շերտերի նյութերի ρ_k խտությունները և նրանցում սահքի ալիքի տարածման v_{sk} արագությունների մեծությունները: Այսպիսով, T_0 -ի մեծությունն ընդհանուր դեպքում (անհամասեռ հիմնատակը), ըստ մեզ հանդիսանում է գրունտի ինտեգրալ դինամիկական բնութագիրը և նպատակահարմար է նրա մեծությամբ գրունտները բաժանել կարգերի՝ ըստ սեյսմիկ հատկությունների: Եթե գրունտային հիմնատակը համասեռ է, ապա գրունտները կարելի է ստորաբաժանել նաև միայն սահքի v_s ալիքի տարածման արագության մեծությամբ: Հիմնատակի գերակշռող T_0 -ի պարբերության մեծություններով գրունտների դասակարգման առաջարկվող տարբերակը բերված է 2.4 աղյուսակում: Ինչպես նշվեց վերևում, հիմնատակի գերակշռող պարբերության T_0 -ի մեծությունները կարող են հաստատվել նաև անմիջապես տեղում՝ կառուցվելիք շենքի հիմնատակի վերին նիշում հատուկ սարքերի օգնությամբ միկրոտատանումների գրանցումների հարմոնիկ վերլուծության արդյունքում: Սեյսմակայուն շինարարության վերաբերյալ նորմերում գրունտի կարգով ճշգրտվում է նաև կառույցի հիմնատակի սպավելիք մաքսիմալ արագացումների մեծությունները: Ճշգրտման k_0 գործակցի արժեքները, որով բազմապատկվում են մաքսիմալ արագացումները (g -ի մասերով) նույնպես բերված են աղյուսակում: Ինչպես երևում է աղյուսակից, ժայռային գրունտներում արագացումները հիմնականում չնչին փոքրանում են, իսկ փխուր գրունտներում՝ ընդհակառակը զգալի մեծանում են:

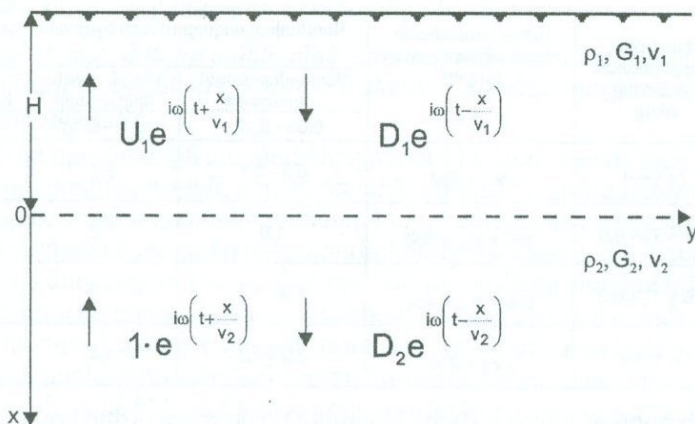
Գրունտի կարգը	Գերակշռող պարբերության T_0 -ի արժեքը (վրկ)	Ալիքի տարածման միջին արագությունը (մ/վրկ) $\bar{V}_s$	Գրունտի արագացումների ճշգրտման գործակիցը K_0		
			Չափավոր ուժգն. երկրաշարժ	Միջին ուժգն. երկրաշարժ	Ուժեղ երկրաշարժ
			0.05 - 0.12g	0.1 - 0.3g	0.3 - 0.5g
I	$T_0 < 0.3$	$\bar{V}_s > 800$	0.3 - 0.7	0.7	0.8
II	$0.3 < T_0 < 0.6$	$400 < \bar{V}_s < 800$	1.0	1.0	1.0
III	$0.6 < T_0 < 0.9$	$200 < \bar{V}_s < 400$	1.5 - 1.2	1.2	1.1 - 1.0
IV	$T_0 > 0.9$	$\bar{V}_s < 200$	2.0 - 1.5	1.4	1.2 - 0.9

Այսպիսի օրինաչափություններ նկատվել են մի շարք ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ, էպիկենտրոնից միևնույն հեռավորության վրա, բայց տարբեր գրունտային պայմաններում գտնվող կայաններում գրանցված աքսելերոգրամների վերլուծություններից: Նկատենք, որ այս քանակական համամասնությունները խիստ տարբերակվում են տարբեր կարգի գրունտների տեղափոխությունների մեծությունների (սեյսմոգրամներ) համեմատության դեպքում: Տարբեր կարգի գրունտների տեղափոխությունները, մասնավոր թույլ երկրաշարժերի ժամանակ, ի տարբերություն նրանց արագացումների, կարող են իրարից տարբերվել մինչև 10 և ավել անգամ:

2.8 ԵՐԿՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻՆ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՄԱՍՏԿԱՑՄԱՆ ԿԱՍ ԹՈՒԼԱՑՄԱՆ ԽՆԴԻՐԸ

Երկրաշարժագիտության մեջ մեծ կիրառական նշանակություն ունի այսպես կոչված մակերևութային շերտի խնդիրը: Ինչպես տեսանք վերևում, տեղանքի գրունտները մեծ մասամբ իրենցից ներկայացնում են մի քանի տարբեր նյութերից կազմված շերտերի համակարգ: Շերտերը տարբերվում են իրարից թե հզորությամբ և թե ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններով: Կառուցվածքների վրա երկրաշարժի ազդեցության տեսակետից միշտ հարց է առաջանում, թե այդ շերտերի դասավորությունը ինչպես է ազդում երկրի մակերևութի տատանումների մեծության (սաստկացման կամ թուլացման) վրա: Պարզության համար ընդունենք, որ տեղանքի գրունտը բաղկացած է երկշերտերից, ինչպես ցույց է տրված նկ. 2.21-ում: Ենթադրենք ներքնաշերտից ուղիղ անկյան տակ դեպի վեր է շարժվում միավոր ամպլիտուդայով և ω հաճախականությամբ լայնական u_2 ալիքը [4].

$$e^{i\omega\left(t+\frac{x}{V_2}\right)} \quad (2.21)$$



Նկ. 2.21 Մակերևութային շերտի խնդիրը:

որը անցնելով վերին շերտը ձևափոխվում է

$$u_1 e^{i\omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)}$$

ընկնող և երկրի մակերևութից անդրադարձող

$$D_1 e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)}$$

ալիքի: Իր հերթին անդրադարձած

$$D_1 e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)}$$

ալիքը նորից թափանցելով ներքնաշերտը ձևափոխվում է

$$D_2 e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_2} \right)}$$

ալիքի: Այսպիսով, ներքնաշերտում և վերին մակերևութային շերտում շարժումները կրնութագրվեն հետևյալ հավասարումներով՝

- մակերևութային շերտում

$$F_1(t, x) = u_1 e^{i\omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)} + D_1 e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)} \quad (2.22)$$

- ներքնաշերտում

$$F_2(t, x) = e^{i\omega \left(t + \frac{x}{v_2} \right)} + D_2 e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_2} \right)} \quad (2.23)$$

(2.22) և (2.23) արտահայտությունների մեջ մտնող երեք u_1 , D_1 և D_2 անհայտ գործակիցները որոշվում են խնդրի եզրային և տեղափոխության ու սահքի լարումների անջատման գծի վրա անխզելիության պայմաններից, որոնք համապատասխանաբար կունենան հետևյալ տեսքերը՝

$$\begin{aligned} \left(G_1 \frac{\partial F_1}{\partial x} \right)_{x=-H} &= 0, & \text{կամ} & & u_1 e^{i\omega \left(t + \frac{H}{v_1} \right)} - D_1 e^{i\omega \left(t - \frac{H}{v_1} \right)} &= 0 \\ F_1(t, 0) &= F_2(t, 0) & \text{կամ} & & u_1 + D_1 &= 1 + D_2 \\ \left(G_1 \frac{\partial F_1}{\partial x} \right)_{x=0} &= G_2 \left(\frac{\partial F_1}{\partial x} \right)_{x=0} & \text{կամ} & & k(u_1 - D_1) &= 1 - D_2 \end{aligned} \quad (2.24)$$

որտեղ ընդունելով $G_1 = \rho_1 v_1^2$, $G_2 = \rho_2 v_2^2$, նշանակված է

$$k = \frac{G_1 v_2}{G_2 v_1} = \frac{v_1 \rho_1}{v_2 \rho_2}$$

իսկ G_1 և G_2 , ρ_1 և ρ_2 ու v_1 և v_2 մակերևութային շերտի և ներքնաշերտի սահքի մոդուլները, խտություններն են ու լայնական ալիքների տարածման արագությունները:

Լուծելով (2.24) հավասարումների համակարգը u_1 , D_1 և D_2 գործակիցների համար կստանանք.

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{2}{(1+k) + (1-k)e^{-2i\frac{\omega H}{v_1}}} \\ D_1 &= \frac{2e^{-2i\frac{\omega H}{v_1}}}{(1+k) + (1-k)e^{-2i\frac{\omega H}{v_1}}} \\ D_2 &= \frac{(1-k) + (1+k)e^{-2i\frac{\omega H}{v_1}}}{(1+k) + (1-k)e^{-2i\frac{\omega H}{v_1}}} \end{aligned} \quad (2.26)$$

բայց խնդրի թվական լուծման հեշտացման անհրաժեշտությունից ելնելով (2.24) հավասարումների u_1 և D_1 լուծումները կարելի է ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով.

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{\cos \frac{\omega H}{v_1} + i \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} \\ D_1 &= \frac{\cos \frac{\omega H}{v_1} - i \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} \end{aligned} \quad (2.27)$$

որոնք բավարարում են (2.24) համակարգի առաջին հավասարմանը:

Տեղադրելով u_1 -ի և D_1 -ի արժեքները (2.24) համակարգի երկրորդ կամ երրորդ հավասարման մեջ D_2 -ի համար կստանանք.

$$D_2 = \frac{\cos \frac{\omega H}{v_1} - ik \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} \quad (2.28)$$

Այսպիսով, մակերևութային շերտում և ներքնաշերտում տարածվող $F_1(t, x)$ և $F_2(t, x)$ ալիքների համար համապատասխանաբար կունենանք՝

$$F_1(t, x) = \frac{\left(\cos \frac{\omega H}{v_1} + i \sin \frac{\omega H}{v_1} \right) e^{i\omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)} + \left(\cos \frac{\omega H}{v_1} - i \sin \frac{\omega H}{v_1} \right) e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)}}{\left(\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1} \right)} \quad (2.29)$$

$$F_2(t, x) = \frac{e^{i\omega \left(t + \frac{x}{v_2} \right)} \left(\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1} \right) + \left(\cos \frac{\omega H}{v_1} - ik \sin \frac{\omega H}{v_1} \right) e^{i\omega \left(t - \frac{x}{v_2} \right)}}{\left(\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1} \right)}$$

Երկրի մակերևութի վրա $x=H$, $F_1=(x, t)$ ալիքի համար կունենանք՝

$$F_1(t) = \frac{\cos \frac{\omega H}{v_1} + i \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} e^{i\omega \left(t - \frac{H}{v_1} \right)} + \frac{\cos \frac{\omega H}{v_1} - i \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} e^{i\omega \left(t + \frac{H}{v_1} \right)} \quad (2.30)$$

Փոխարինելով (2.30)-ի մեջ $e^{i\omega t}$ ցուցային ֆունկցիան եռանկյունաչափական ֆունկցիաներով, $F_1(t)$ -ի համար կունենանք հետևյալ պարզ տեսքը.

$$F_1(t) = \frac{2(\cos \omega t + i \sin \omega t)}{\cos \frac{\omega H}{v_1} + ik \sin \frac{\omega H}{v_1}} \quad (2.31)$$

Անջատելով (2.31) իրական և կեղծ մասերը, իրական մասի համար կունենանք՝

$$F_1(t) = \frac{2 \cos \frac{\omega H}{v_1}}{\cos^2 \frac{\omega H}{v_1} + k^2 \sin^2 \frac{\omega H}{v_1}} \cos \omega t + \frac{2k \sin \frac{\omega H}{v_1}}{\cos^2 \frac{\omega H}{v_1} + k^2 \sin^2 \frac{\omega H}{v_1}} \sin \omega t \quad (2.32)$$

կամ ավելի պարզ տեսքով՝

$$F_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (2.33)$$

որտեղ

$$A_1 = \frac{2}{\sqrt{\cos^2 \frac{\omega H}{v_1} + k^2 \sin^2 \frac{\omega H}{v_1}}} \quad (2.34)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_1 = k \operatorname{tg} \frac{\omega H}{v_1}$$

Նման ձևով երկու շերտերի հատման տեղի համար ընդունելով $x=0$, $F_2(t, x)$ ալիքի համար կունենանք.

$$F_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (2.35)$$

որտեղ

$$A_2 = \frac{2 \cos \frac{\omega H}{v_1}}{\sqrt{\cos^2 \frac{\omega H}{v_1} + k^2 \sin^2 \frac{\omega H}{v_1}}} \quad (2.36)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = k \operatorname{tg} \frac{\omega H}{v_1}$$

Այժմ քննարկենք A_1 և A_2 տեղափոխությունների մեծությունների օրինաչափությունները կախված ներքնաշերտի և մակերևութային շերտի պարամետրերի՝ k և H ու տարածվող ալիքով մասնիկների տատանումների ω հաճախականության արժեքներից: Ինչպես ցույց էր տրված առաջին գլխում, ալիքի λ երկարությունը մակերևութային շերտում $\lambda = v_1 T$, որտեղ $T = 2\pi / \omega$:

Հետևաբար, վերևում ստացված բոլոր բանաձևերում $\omega H / v_1$ նշանակելով β , կունենանք.

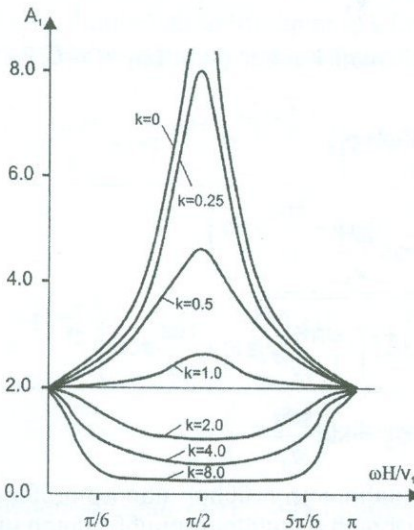
$$\beta = \frac{\omega H}{v_1} = 2\pi \frac{H}{\lambda}$$

Եթե $\beta = 0$, ապա ըստ (2.34) և (2.36) բանաձևերի $A_1 = 2$, $A_2 = 2$: Այս նշանակում է, որ կամ մակերևութային շերտի H հզորությունը շատ փոքր է, կամ տարածվող ալիքի λ երկարությունը շատ մեծ է, որը «չի նկատում» շատ բարակ շերտին, և միջավայրը իրեն պահում է որպես համասեռ միատար, որի ազատ մակերևութից անդրադարձած ալիքի շնորհիվ ընկնող միավոր ալիքից նրա մասնիկների տատանումների տեղափոխությունները կրկնապատկվում են [47]: Ինչպես երևում է (2.34)-ից, եթե մակերևութային շերտը ավելի փխրում է, քան ներքնաշերտը $k < 1$, ապա մակերևութային շերտում տատանումները ուժեղանում են: Ամենաշատ ուժեղացումը տեղի է ունենում, երբ $\omega H / v_1 = \pi / 2$ (որը համապատասխանում է մակերևութային շերտի ազատ տատանումների՝ $T = 4H / v_1$ պար-

բերության հավասարությունը ընկնող ալիքի $2\pi/\omega$ պարբերության պայմանին), այդ դեպքում

$$A_1 = \frac{2}{k} \quad (2.38)$$

Մյուս կողմից, քանի որ H/v_1 այն ժամանակն է, երբ ալիքը ներքնաշերտից հասնում է երկրի մակերևույթին, ապա ստացվում է, որ եթե ընկնող ալիքի պարբերությունը 4 անգամ մեծ է այդ անցման ժամանակամիջոցից, ապա երկրի



Նկ. 2.22
Մակերևութային
շերտով պայմանա-
վորված երկրի
մակերևույթի
տատանումների
ուժեղացումը կամ
թուլացումը [40]:

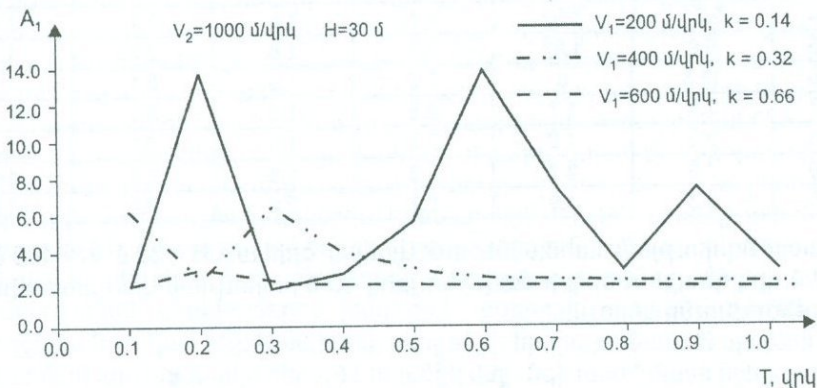
մակերևույթի վրա տատանումները ուժեղ սաստկանում են: Իսկ եթե մակերևույթային շերտը ավելի կոշտ է, քան ներքնաշերտը $k > 1$, ապա նրանում տատանումները թուլանում են: Ընդ որում տատանումների ամենաշատ նվազումը նույնպես տեղի կունենա, երբ $\omega H/v_1 = \pi/2$:

Ընդհանուր դեպքում (2.34) արտահայտության գրաֆիկական կախվածությունը պատկերված է Նկ. 2.22-ում [40, 126]: Կիրառական հետաքրքրություն է ներկայացնում նաև մակերևութային շերտի և ներքնաշերտի տատանումների մեծությունների հարաբերությունը: Ըստ (2.34) և (2.36) բանաձևերի այն կլինի

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{\cos \frac{\omega H}{v_1}} \quad (2.39)$$

Ինչպես երևում է բանաձևից, այդ հարաբերությունը նույնպես կարող է փոփոխվել 1-ից մինչև ∞ : Ստացված (2.33) – (2.39) բանաձևերը հնարավորություն են տալիս ցանկացած բնութագրերով մակերևութային շերտի դեպքում որոշել գետնի տատանման մեծությունները: Որպես օրինակ, (2.34) բանաձևի օգնությամբ Նկ. 2.23 կառուցված են գետնի տատանումների ամպլիտուդայի A_1 մեծու-

թյունները, կախված ընկնող միավոր ամպլիտուդայով ալիքի T պարբերությունից, երբ ներքնաշերտը իրենից ներկայացնում է ժայռային ապարներ $v_2 = 1000$ մ/վրկ սահքի ալիքի տարածման արագությամբ և $\rho_2 = 0.22$ տվրկ²/մ⁴ խտությամբ: Մակերևութային շերտի հզորությունը ընդունված է $H = 30$ մ, իսկ ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրերի համար ընդունված են երեք տարբերակներ՝ $v_1 = 200$ մ/վրկ, $\rho_1 = 0.16$ տվրկ²/մ⁴ ($k = 0.14$); $v_1 = 400$ մ/վրկ, $\rho_1 = 0.18$ տվրկ²/մ⁴ ($k = 0.32$) և $v_1 = 600$ մ/վրկ, $\rho_1 = 0.2$ տվրկ²/մ⁴ ($k = 0.66$): Որպես ընկնող ալիքի T պարբերության արժեքներ ընդունված են 0.1 վրկ-ից մինչև 1.0 վրկ [62]: Ինչպես երևում է նկարից, գետնի մակերևույթի տատանումները խիստ մեծանում են, երբ v_1 -ի արժեքները գտնվում են 200 ÷ 400 սահմաններում, երբ $v_1 = 600$ մ/վրկ մակերևութային շերտի ազդեցությունը նշմարելի է միայն $T = 0.2$ վրկ պարբերությունում: Ունեցող ընկնող ալիքի դեպքում, մյուս պարբերությունների դեպքում այն աննշմարելի է:



Նկ. 2.23 Երկրի մակերևույթի վրա տատանումների սաստկացումը՝ կախված ընկնող ալիքի պարբերությունների մեծություններից:

Ստորգետնյա կառուցվածքների սեյսմակայունության տեսակետից կիրառական նշանակություն ունի նաև, իմանալով երկրի մակերևույթի վրա գետնի տատանումների մեծությունները, գտնել խորքային մակարդակներում գրունտների տատանումների մեծությունները: Այդ հնարավորությունը մեզ տալիս է (2.39) բանաձևը: Այսպես, վերը բերված օրինակների դեպքում 30 մետր խորության վրա՝ մակերևութային շերտի և ներքնաշերտի հատման մակարդակներում կունենանք.

$$A_2 = A_1 \cos \frac{2\pi 30}{T_1 v_1} \quad (2.40)$$

Ստացված (2.40) արտահայտության օգնությամբ հաշված A_1 և A_2 արժեքները տարբեր T -երի և v_1 - երի դեպքում բերված են 2.5 աղյուսակում:

Աղյուսակի տվյալները բացահայտում են մի շարք հետաքրքիր հանգամանք. ընկնող ալիքի այն T պարբերությունների համար, որոնց դեպքում երկրի մակերևույթի վրա առաջանում են մեծ տեղափոխություններ, ներքնաշերտի վերին մակարդակում համարյա տեղափոխություններ չեն առաջանում: Այս նշանակում

է, որ երկրի մակերևութից անդրադարձած և նորից ներքնաշերտ թափանցած ալիքից առաջացած տեղափոխությունները մարում են ներքնաշերտ թափանցած սկզբնական ընկնող ալիքի տեղափոխություններին: Եթե պահանջվում է գտնել ոչ միայն ներքնաշերտի մակարդակում տեղափոխությունների մեծությունները, այլև մակերևութային շերտի ցանկացած մակարդակում, ապա դրանց կարելի է հաշվարկել A_2 և A_1 մեծությունների միջև գծային ինտերպոլացիայի եղանակով

Աղյուսակ 2.5

T (վրկ)	$v_1 = 200$ մ/վրկ		$v_1 = 400$ մ/վրկ		$v_1 = 600$ մ/վրկ	
	A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2
0.1	2.0	2.0	6.2	0	2.0	2.0
0.2	13.8	0	2.7	2.4	3.0	0
0.3	2.0	2.0	6.3	0	2.7	1.3
0.4	2.81	1.98	4.1	1.6	2.4	1.7
0.5	5.9	1.82	3.1	1.8	2.2	1.8
0.6	13.8	0	2.5	1.8	2.1	1.9
0.7	7.6	1.7	2.5	1.9	2.1	1.9
0.8	3.2	1.2	2.3	1.9	2.0	1.9
0.9	7.5	3.7	2.3	1.9	2.0	1.9
1.0	3.3	1.9	2.2	2.0	2.0	1.9

տրված H հզորության սահմաններում: Այսպես, օրինակ, $H = 30$ մ, $v_1 = 400$ մ/վրկ, $T = 0.4$ վրկ դեպքում երկրի մակերևութից 10 մ խորության վրա տեղափոխության մեծությունը կորոշվի.

$$\frac{A_1 - A_2}{A_{10} - A_2} = \frac{H}{H - H_{10}}$$

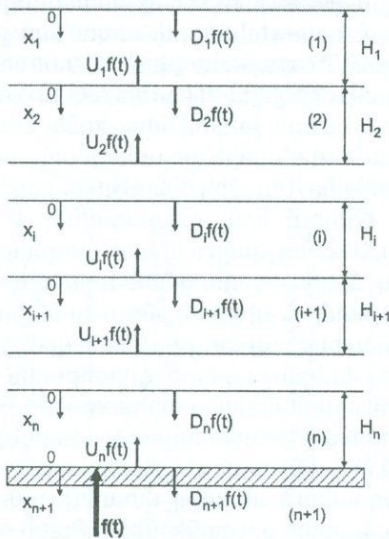
համեմատությամբ, որտեղից կստացվի $A_{10} = 3.26$

2.9 ՍԵՅՍՄԻԿ ՄԻԿՐՈՇՐՁԱՆԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Երկրաշարժակայուն շինարարության իրականացման համար բացի I գլխում արձածված տվյալ երկրի տարածքի սեյսմիկ շրջանացման (գոտիավորման) քարտեզներից, օգտագործվում են նաև այսպես կոչված սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզներ (հիմնականում նախկին խորհրդային Միությունում): Ինչ են իրենցից ներկայացնում այդ քարտեզները: Նոր բնակավայրերի հատակագծերի նախագծերը կազմելիս, կամ գոյություն ունեցողների դեռ չկառուցապատված տարածքները իրացնելիս, ինչպես նաև խոշոր արդյունաբերական մեծ տարածքներ ընդգրկող համալիրների (որոնց մեջ մտնում են տասնյակ առանձին շինություններ) նախագծերի նախապատրաստական փուլում տրամաբանական ցանկություն է առաջանում կառուցապատման ենթակա ամբողջ տարածքում նախօրոք անջատել սեյսմիկ վտանգի տեսակետից տարբեր աստիճաններ ունե-

ցող գոտիներ: Այդպիսի գոտիների բաժանված տարածքի քարտեզն էլ կոչվում է տվյալ տարածքի սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզ: Քանի որ սեյսմիկ վտանգի աստիճանը, ինչպես նշվեց վերևում, խիստ պայմանավորված է շինության հիմնատակի երկրաբանական կառուցվածքով, ապա այդ քարտեզները իրականում պետք է անդրադարձնեն առանձնացված գոտիների խորքային շերտերի ինժեներա-երկրաբանական և ֆիզիկա-մեխանիկական առանձնահատկությունները, որոնք կարող են այս կամ այն չափով նվազեցնել կամ ավելացնել տվյալ բնակավայրի համար ընդհանուր սեյսմիկ շրջանացման քարտեզներում ընդունված սեյսմիկ վտանգի աստիճանը: Սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզների այսպիսի գաղափարի էին ձգտում նրա ջատագովներ Ս.Վ.Մեդվեդևը, Ի.Ա.Գզելիշվիլին, Ա.Կ.Սաֆարյանը, Ս.Վ.Պուչկովը և նրանց բազմաթիվ հետևորդներ: Նախկին ԽՍՀՄ-ում սեյսմիկ միկրոշրջանացման եղանակը մշակվել էր պրոֆ. Ս.Վ.Մեդվեդևի ղեկավարությամբ և հիմնականում հիմնված էր անցյալ դարի 50-60-ական թվականների նրա հետազոտությունների վրա, երբ համարյա բացակայում էին ուժեղ և ավերիչ երկրաշարժերի գործիքային մեծածավալ գրանցումներ տարբեր գրունտային պայմաններով տեղանքներում անմիջական համեմատություններ ստանալու համար: Առաջարկված էր տեղանքի երկրաբանական պայմանների հաշվառման մի քանի պարզեցված տարբերակներ, որոնց կիրառմամբ հաշվարկվում էր ընդհանուր սեյսմիկ վտանգի աստիճանի աճի (դրական կամ բացասական) քանակական ցուցանիշները: Քանի որ ընդհանուր սեյսմիկ շրջանացման քարտեզներում ելակետային սեյսմիկ վտանգի աստիճանը զնահատվում էր ամբողջական բալերով, ապա արդյունքում սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզներում սեյսմիկ վտանգի աստիճանը նույնպես ներկայացվում էր ամբողջական միավորներով (բալերով՝ աճերը կլորացվում էին մինչև 0, ամբողջական ± 1 կամ ± 2): Այսպիսով, տեղանքի երկրաբանական պայմանների հաշվառման այս եղանակը բերում է սեյսմիկ վտանգի աստիճանի իջեցման կամ բարձրացման նվազագույնը ամբողջական 2 անգամ, առավելագույնը՝ 8 անգամ (քանի որ մի բալից մյուսին անցնելիս սեյսմիկ վտանգի աստիճանը փոփոխվում է 2 անգամ), որոնք չեն հաստատվում իրական ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ տարբեր գրունտների գրանցումների վերլուծություններով: Իրականում սեյսմիկ միկրոշրջանացման էությունը տեղանքի գրունտային պայմանների ազդեցությունն է սեյսմիկ վտանգի սաստկության կամ թուլացման վրա, որի մասին պարզագույն օրինակի օգնությամբ մանրամասնությամբ խոսվեց նախորդ բաժնում: Որ տեղանքի գրունտային պայմանները զգալի ազդում են սեյսմիկ վտանգի աստիճանի վրա, ինչպես բազմիցս նշվեց վերևում, վաղուց հայտնի են երկրաշարժագիտության մասնագետներին: Այդպիսի քանակական և որակական բազմաթիվ տեղեկություններ են բացահայտվել բոլոր ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ, ինչպես գետնի տատանումների տարբեր կինեմատիկական պարամետրերի գրանցման տվյալներով, այնպես էլ միևնույն կոնստրուկտիվ լուծուժով, բայց տարբեր տեղանքներում կառուցված շինությունների երկրաշարժի ընթացքում ստացած վնասվածության աստիճաններով: Եվ պատահական չէ, որ ներկայումս աշխարհի բոլոր սեյսմոակտիվ երկրների սեյսմակայում շինարարության վերաբերյալ նորմերը պարունակում են շինարարական հրապարակի երկրաբանական կտրվածքով պայմանավորված սեյսմիկ վտանգի վերագնահատման համապատասխան քանակական ցուցանիշներ: Այդ գործակիցները չնչին տարբերություններ ունեն 2.4 աղյուսակում բերված տվյալներից, որոնք մեր

կողմից առաջարկված և մտցված են ՀՀՇՆ II-2.02-94 սեյսմակայուն շինարարության նոր նորմերը [7]:



Նկ. 2.24
Բազմաշերտ
լիթոլոգիական
կտրվածքի
հաշվարկային
սխեման

Սեյսմիկ միկրոշրջանացման խնդրի ավելի հստակեցման նպատակով մի անգամ ևս անդրադառնալով այս խնդրին՝ ավելի լայն դրվածքով: Եվ այսպես, ընդունենք, որ ընդհանուր սեյսմիկ շրջանացման քարտեզի որևէ սեյսմիկ գոտու մի որևէ ենթագոտու տարածքի համար պետք է կազմել վերը նշված սկզբունքով սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզ: Ընդունենք, որ ինժեներ-երկրաբանների, գեոտեխնիկայի մասնագետների գեոֆիզիկական հետազոտությունների (հորատանցքեր, սեյսմիկ կարոտաժ, կեռների լաբորատոր փորձարկումներ) արդյունքում ստացվել են միկրոսեյսմոշրջանացման ենթակա տարածքի բոլոր երկրաբանական և ֆիզիկա-մեխանիկական տվյալները: Հարց է ծագում. այդ տվյալների հիման վրա ինչպես կազմել նրա սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզը: Բնական է, որ առկա տվյալները թույլ կտան կազմել տարածքի ցանկացած ուղղածիզ կտրվածքի լիթոլոգիական սյունակը (2.5 բաժնում բերված սյունակների տեսքով): Առաջին մոտավորությամբ ընդունենք, որ սյան բոլոր n շերտերը ունեն հորիզոնական ուղղվածություն: Նախորդ բաժնի երկշերտ դեպքի անալոգիայով ընդունենք, որ ցանկացած լիթոլոգիական սյան հաշվարկային սխեման ունի նկ.2.24 բերված տեսքը, որտեղ հաշվարկների պարզեցման նպատակով ի տարբերություն 2.14 սխեմայի յուրքանջյուր շերտի համար որպես կոորդինատների սկզբնակետ ընդունվում է իր վերին սահմանի հարթությունը:

Ընդունենք, որ արմատական ապարներից դեպի ենթաշերտեր է տարածվում երկայնական կամայական $f(t)$ ալիքը: Նախորդ պարագրաֆի նման $i + 1$ շերտից i շերտ մտնող ալիքը նշանակենք $U_i f(t)$, իսկ $i - 1$ շերտից i շերտը մտնող (անդրադարձած) ալիքը $D_i f(t)$, որտեղ U_i և D_i $2n$ անհայտ գործակիցներ են: Շերտերի հորիզոնական տեղափոխությունները կունենան հետևյալ տեսքը [40, 62].

$$\begin{aligned}
 u_1(x, t) &= U_1 f\left(t + \frac{x_1 - H_1}{v_1}\right) + D_1 f\left(t - \frac{x_1}{v_1}\right) \\
 u_2(x, t) &= U_2 f\left(t + \frac{x_2 - H_2}{v_2}\right) + D_2 f\left(t - \frac{x_2}{v_2}\right) \\
 &\quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \\
 u_i(x, t) &= U_i f\left(t + \frac{x_i - H_i}{v_i}\right) + D_i f\left(t - \frac{x_i}{v_i}\right) \\
 &\quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \\
 u_n(x, t) &= f\left(t + \frac{x_n - H_n}{v_n}\right) + D_n f\left(t - \frac{x_n}{v_n}\right)
 \end{aligned} \tag{2.41}$$

Քանի որ երկրի մակերևույթը ազատ է լարումներից, ապա պետք է տեղի ունենա

$$G_1 \frac{\partial u_1(x, t)}{\partial x} = 0, \quad \text{երբ } x_1 = 0$$

կամ

$$U_1 f\left(t - \frac{H_1}{v_1}\right) - D_1 f(t) = 0 \tag{2.42}$$

Երկու հարևան շերտերի միացման հարթություններում հորիզոնական տեղափոխությունների և շոշափող լարումների անխզելիության պայմանները կտան հետևյալ 2n-2 հավասարությունները՝

երբ $x_i = 0$

$$\begin{aligned}
 U_i f\left(t - \frac{H_i}{v_i}\right) + D_i f(t) &= U_{i-1} f(t) + D_{i-1} f\left(t - \frac{H_{i-1}}{v_{i-1}}\right) \\
 U_i f\left(t - \frac{H_i}{v_i}\right) - D_i f(t) &= m_{i-1} \left[U_{i-1} f(t) - D_{i-1} f\left(t - \frac{H_{i-1}}{v_{i-1}}\right) \right] \\
 i &= 2 \dots\dots\dots n-1
 \end{aligned} \tag{2.43}$$

Եվ վերջապես, արմատական ապարների մակարդակում տեղափոխության մեծությունը պայմանավորված կլինի միայն ընկնող $f(t)$ ալիքով և հիմքից անդրադարձած $D_{n+1} f(t)$ ալիքով, որը կտա ևս մեկ հավասարում,

$$\text{երբ } x_n = H_n, \quad u_n(x, t) = f(t) - D_{n+1} f(t)$$

կամ

$$f(t) + D_n f\left(t - \frac{H_n}{v_n}\right) = f(t) - D_{n+1} f(t) \tag{2.44}$$

Ստացված (2.41) - (2.44) հավասարումների համակարգից ստացվում են հետևյալ առնչությունները [40]՝

$$\begin{aligned}
D_1 f(t) &= U_1 f\left(t - \frac{H_1}{v_1}\right) \\
U_1 f(t) &= \beta_{0,1,2} U_2 f\left(t - \frac{H_2}{v_2}\right) + \alpha_{1,2}^0 D_1 f\left(t - \frac{H_1}{v_1}\right) \\
D_i f(t) &= \alpha_{0,i-1,i} U_i f\left(t - \frac{H_i}{v_i}\right) + \beta_{i-1,i}^0 D_{i-1} f\left(t - \frac{H_{i-1}}{v_{i-1}}\right) \\
U_i f(t) &= \beta_{0,i,i+1} U_{i+1} f\left(t - \frac{H_{i+1}}{v_{i+1}}\right) + \alpha_{i,i+1}^0 D_i f\left(t - \frac{H_i}{v_i}\right) \\
i &= 2 \div n, U_{n+1} = 1
\end{aligned} \tag{2.45}$$

որտեղ ընդունված են հետևյալ նշանակումները՝

$$\begin{aligned}
m_{i-1} &= \frac{\rho_{i-1} v_{i-1}}{\rho_i v_i}, \quad v_i = \sqrt{\frac{G_i}{\rho_i}} \\
\alpha_{0,i-1,i} &= \frac{1 - m_{i-1}}{1 + m_{i-1}} \quad \beta_{0,i,i+1} = 1 + \alpha_{0,i,i+1} \\
\alpha_{i,i+1}^0 &= -\alpha_{0,i,i+1} \quad \beta_{i-1,i}^0 = 1 - \alpha_{0,i-1,i}
\end{aligned} \tag{2.46}$$

Բերված լուծումները հնարավորություն են ստեղծում արմատական ապարներից ընկնող կամայական $f(t)$ ալիքի համար ստանալ բոլոր շերտերի՝ այդ թվում նաև ամենավերին շերտի (երկրի մակերևույթի վրա) տեղափոխությունները, արագությունները և արագացումները, այսինքն պատասխանել վերը շարադրված հարցադրմանը՝ ինչ քանակական ազդեցություն են ունենում այլովիալ գրունտներում արմատական ապարներից վերև տեղակայված շերտերի ֆիզիկամեխանիկական պարամետրեր՝ խտությունները ρ_i , սահքի մոդուլները G_i , սահքի ալիքի տարածման արագությունները v_i և շերտերի հզորությունները H_i վերին շերտի (երկրի մակերևույթի) տեղափոխությունների $u_1(x,t)$, արագությունների $\dot{u}_1(x,t)$ և արագացումների $\ddot{u}_1(x,t)$ մեծությունների վրա, եթե հայտնի է ընկնող ալիքի տեղափոխության $f(t)$ մեծությունը: Սա էլ հենց այսպես կոչված սեյսմիկ միկրոշրջանացման հիմնական խնդիրն է:

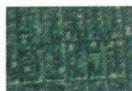
Գործնական տեսակետից խնդրի լուծումը ավելի կհեշտանա, եթե ընկնող $f(t)$ ալիքը ներկայացվի միավոր տեղափոխությամբ (արագությամբ, արագացմամբ), բայց տարբեր պարբերությամբ հարմոնիկ պարզ ալիքի ձևով, ինչպես դա կատարվեց նախորդ բաժնում երկշերտ հիմնատակի դեպքում, այսինքն $f(t)$ ներկայացվի

$$f(t) = 1 \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \tag{2.47}$$

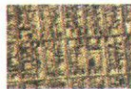
տեսքով, որտեղ T - ընկնող ալիքի պարբերությունն է ($1/T = p$ հաճախությունը):



I. Արմատական (ժառանգյին) ապարներ (Franciscan bedrock)



II. Օձաքարեր (Serpentine)



III. Տարաբնույթ ավազներ (Miscellaneous sands)



IV. Արհեստական ջրահագեցած կավեր և լիղբ (Bay mud and fill)

Նկ. 2.25 Սան-Ֆրանցիսկո քաղաքի երկրաբանական քարտեզը

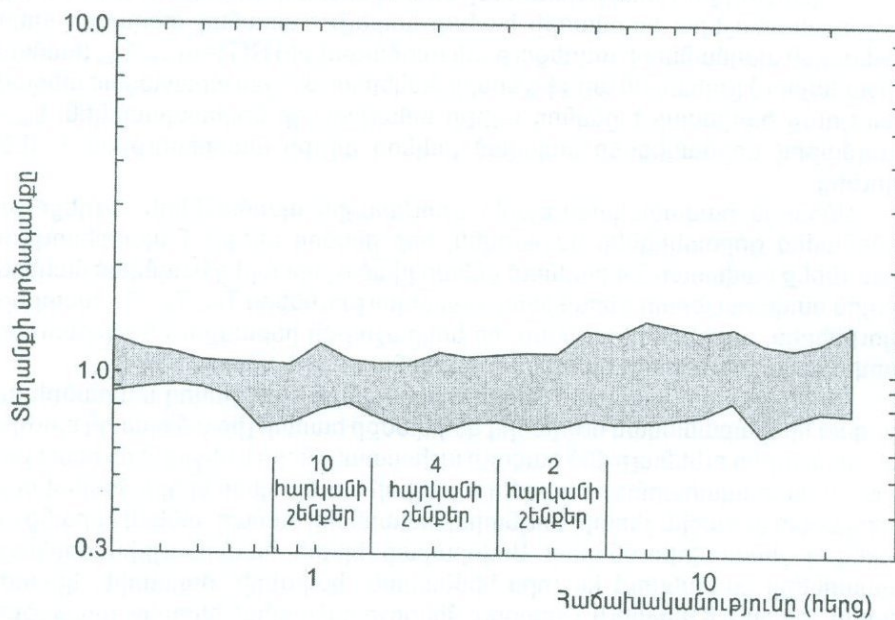
Ընկնող ալիքի T պարբերությունը տալով տարբեր արժեքներ ($0.05 \div 3.0$ վրկ) տվյալ բազմաշերտ կտրվածքի համար կարելի է ստանալ տեղանքի երկրաբանական պայմանների ազդեցության (արձագանքի) $R(T) = u_{1\max}/f_{\max}$ (համասեռ միջավայրում լայնական ալիքից երկրի մակերևույթի վրա առաջացած տեղափոխությունը հավասար է ընկնող ալիքի ամպլիտուդի կրկնապատիկին, $f_{\max} = 2$) բազմաթիվ գործակիցներ կախված ընկնող ալիքի պարբերության T մեծությունից:

Ամենայն հավանականությամբ գրունտային պայմանների ազդեցության ամենամեծ գործակիցներ կստացվեն, երբ ընկնող ալիքի T պարբերությունը ընդունենք հավասար 2.4 բաժնում քննարկված n շերտերից կազմված մակերևութային ստվարաշերտի գերակշռող պարբերությունների T_{01}, T_{02}, T_{03} պարբերություններին, այսինքն ընդունենք, որ երկրաշարժի ընթացքում մակերևութային ստվարաշերտում տեղի են ունենում ռեզոնանսային երևույթներ:

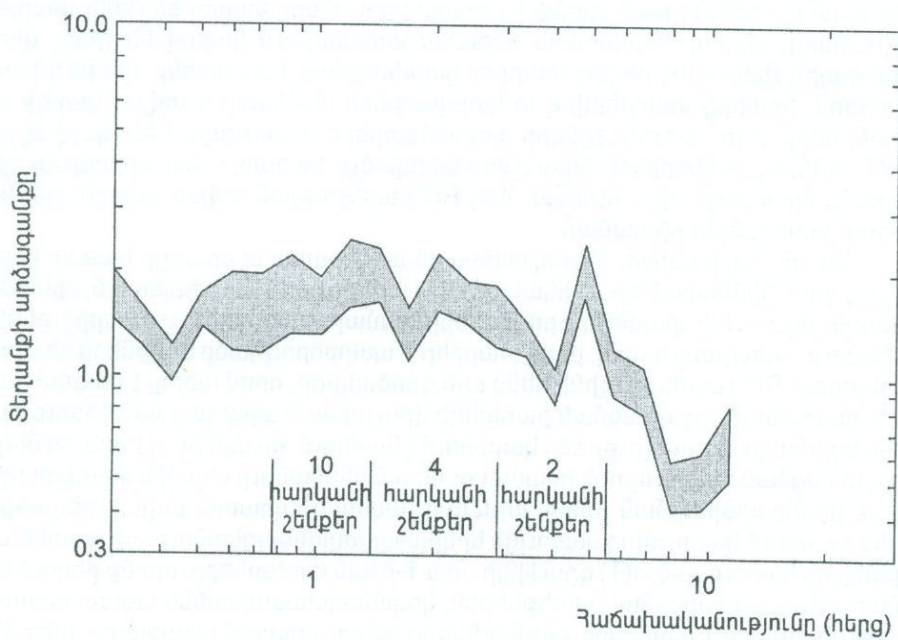
Քանի որ գործնականում միկրոշրջանացման ենթարկվող տարածքի ցանկացած երկրաբանական ուղղաձիգ կտրվածքի համար լիթոսֆերային սյունյակի պարամետրեր ունենալը մեծ ծավալի աշխատանքների և միջոցների հետ է առնչվում, նպատակահարմար է կազմել այդպիսի սյունյակներ երկրի մակերևույթին մերկացած (առաջին շերտի) նույնտիպ ապարների համար՝ անկախ նրանց տակ գտնվող շերտավորումներից: Սովորաբար երկրի մակերևույթին մերկացած ապարները բաժանվում են չորս հիմնական կարգերի՝ ժայռային, կիսաժայռային, փխրուն և փափուկ: Ընդորում միկրոշրջանացման ենթակա տարածքում, միևնույն, ասենք ժայռային մերկացում ունեցող տեղերում ապարների և հզորությունները և նրանց տակ գտնվող շերտավորումները կարող են լինել տարբեր: Այսպիսով, միկրոշրջանացման ենթակա տարածքում կարող են լինել վերին ժայռային շերտով ու իրարից տարբեր կտրվածքներ, իսկ, ասենք, վերին փխրուն շերտով, իրարից տարբերվող m կտրվածքներ: Ունենալով տվյալ կարգի տեղանքների բոլոր կտրվածքների պարամետրերը, կառուցվում են վերը նշված $R(T)$ առնչությունները յուրաքանչյուր կտրվածքի համար, և ապա իրականացնել նրանց միջինացումը և ունենալ մեկ $R(T)$ առնչության տվյալ կարգի գրունտի բոլոր կտրվածքների համար:

Այսպիսով, ի վերջո, միկրոշրջանացման ենթակա տարածքի համար կունենանք չորս հիմնական գրաֆիկական $R(T)$ առնչություններ՝ ժայռային, կիսաժայռային, փխրուն և փափուկ գրունտների համար, խորքային շերտերից ընկնող միևնույն ամպլիտուդայով, բայց տարբեր T պարբերությամբ ալիքների դեպքում: Ընդորում $R(T)$ արժեքը կլինի հենց այն գործակիցը, որով պետք է բազմապատկել ընդհանուր շրջանացման քարտեզի վրա տրված արագացման մեծությունը: Այս եղանակի առավելությունը կայանում է նրանում, որ այն թույլ է տալիս միկրոշրջանացման արդյունքում իմանալ ոչ միայն ընդհանուր սեյսմիկ վտանգի իջեցման կամ բարձրացման չափը, այլև այդ չափով գնահատել տվյալ տեղանքում հետագայում կառուցվող կառույցի երկրաշարժադիմացկանության աստիճանը, քանի որ կառուցված $R(T)$ գրաֆիկի վրա T -ի այն արժեքները, որոնք բերում են R մաքսիմալ կամ մինիմալ արժեքներին, կհամապատասխանեն ազատ տատանման սեփական T պարբերություն ունեցող կառույցներում առաջացող իներցիոն ուժերի մաքսիմալ կամ մինիմալ արժեքներին: Այսպիսով, նշված եղանակով իրականացված տեղանքի միկրոսեյսմոշրջանացումը ոչ միայն կտա այն հիմնական հարցի պատասխանը, թե ընտրված շինարարական հրապարակի (երկրա-

I. Արմատական (ժայռային) ապառներ (Franciscan bedrock)

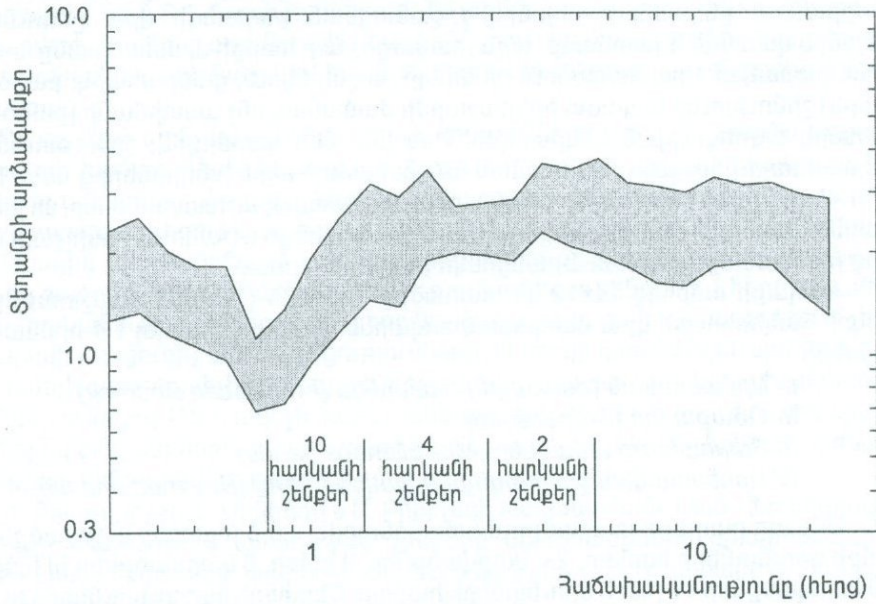


II. Օձաքարեր (Serpentinite)

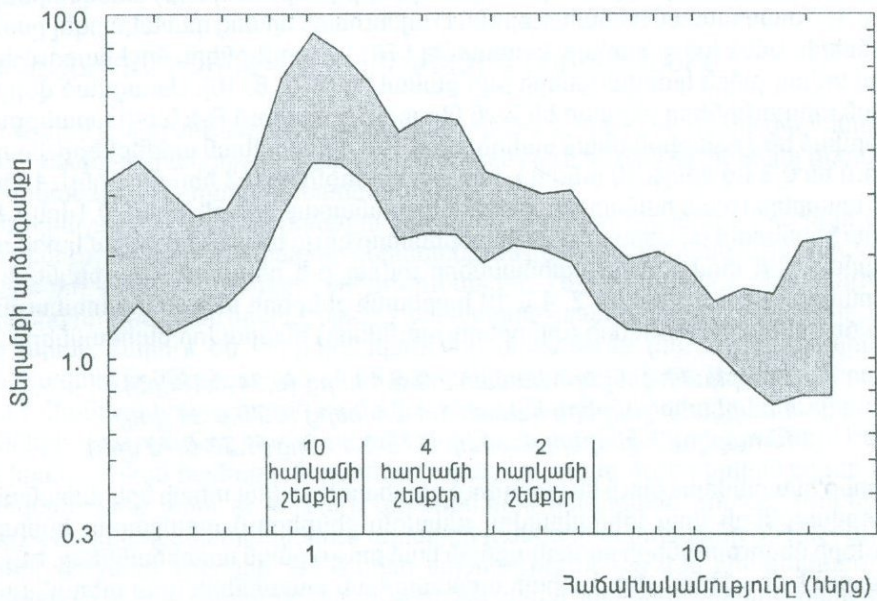


Նկ. 2.26 Սան-Ֆրանցիսկո քաղաքի տարբեր գրունտային տեղանքների արժագանքի սպեկտրները:

III. Տարաբնույթ ավազներ (Miscellaneous sands)



IV. Արհեստական ջրահագեցած կավեր և լիիր (Bay mud and fill)



Նկ. 2.26 Սան-Ֆրանցիսկո քաղաքի տարբեր գրունտային տեղանքների արժագանքի սպեկտրները:

բանական կտրվածքի) սեյսմիկ վտանգի աստիճանը ինչքանով է մեծանում կամ փոքրանում ընդհանուր սեյսմիկ շրջանացման քարտեզի վրա ընդունված սեյսմիկ վտանգի նկատմամբ, այլև լրացուցիչ նոր հարցի պատասխանը՝ տվյալ շինարարական հրապարակում որ տիպի (կոշտ, ճկուն, ցածրահարկ, բարձրահարկ) շինությունը ապագա երկրաշարժի ժամանակ ինչ աստիճանի լրացուցիչ սեյսմիկ ազդեցության կենթարկվի: Իսկ սա, մեր կարծիքով, շինությունների սեյսմակայունության ապահովման ամենաառաջնային խնդիրներից մեկն է:

Վերը նշված եղանակով, նմանատիպ մեծածավալ աշխատանքներ, մի խումբ մասնագետների՝ Ժակ Բոաթրիչթի, Լինդա Սիկկինգի և Մանուել Բոնիլայի կողմից իրականացվել է Սան Ֆրանցիսկո քաղաքի համար՝

Քաղաքի ամբողջ 14x12 կմ տարածքը՝ նկ. 2.25 (1:24000 մասշտաբ) ըստ երկրի մակերևույթի վրա մերկացած ապարների տարբերակվել է 4 հիմնական խմբերի՝

I. Արմատական (ժայռային) ապարներ (*Franciscan Bedrock*)

II. Օձաքարեր (*Serpentinite*)

III. Տարաբնույթ ավազներ (*Miscellaneous sands*)

IV. Արհեստական ջրահագեցած կավեր և լիրք (*Bay mud and fill*):

Ամբողջ քաղաքի տարածքում առանձնացվել են 8 տարբեր կտրվածքներ I խմբի գրունտների համար, 2 – կտրվածքներ II խմբի, 8 կտրվածքներ III խմբի և 10 կտրվածքներ IV խմբի գրունտների համար: Շերտերի հզորությունները III և IV խմբերում շատ մեծ չէին (փոքր, քան 4մ), իսկ արմատական ապարների հզորությունը հասնում էր մինչև 30 մետրի: Բոլոր 28 կտրվածքների համար կառուցվել են կտրվածքի հակազդման կամ արձագանքի (*response*) $R(p)$ սպեկտրները, ($p = 1/T$ -տատանման հաճախությունն է) այնուհետև նրանց դասակարգել ըստ I-IV խմբերի: Ամեն խմբի համար կատարվել է $R(p)$ -ի արժեքների միջինացում՝ ելնելով տվյալ խմբի կտրվածքների քվի քանակից (8, 2, 8, 10): Ստացված վերջնական արդյունքները բերված են 2.26 նկարում, ընդ որում R -ի և p -ի առանցքները բերված են լոգարիթմական սանդղակով՝ R -ի վերացական արժեքները փոփոխվում են 0.3-ից մինչև 10 անգամ, իսկ p -ի արժեքները 0.3 հերցից մինչև 10 հերց (T պարբերության համար համապատասխանաբար 3.3վրկ. մինչև 0.1վրկ.): $R(p)$ գրաֆիկներում սովորագծված մակերեսները ցույց են տալիս տվյալ կտրվածքի համար R -ի փոփոխման սահմանները տվյալ p -ի դեպքում: Գրաֆիկների p -ի առանցքի վրա նշված են 2, 4 և 10 հարկանի շենքերի ազատ տատանումների հաճախականությունների (տարբերությունների) հնարավոր սահմանները՝

2 հարկանի շենքերի համար 2.9-5.4 հերց (0.34-0.18վրկ)

4 հարկանի շենքերի համար 1.4-2.9 հերց (0.70-0.34 վրկ)

10 հարկանի շենքերի համար 0.78-1.4 հերց (1.28-0.70 վրկ),

որոնց հնարավորություն են ստեղծում գնահատել տվյալ տիպի երկրաբանական կտրվածքների վրա տեղակայվող ապագա շենքերում առաջացող իներցիոն ուժերի մեծությունների սաստկացման կամ թուլացման աստիճանները: Ինչպես երևում է գրաֆիկներից, I տիպի արմատական ապարների վրա տեղակայված բոլոր 3 տիպի շենքերի (2, 4 և 10 հարկանի) համար գրունտային պայմաններով

* Ground Shaking in San Francisco by Juke Boatwright, Linda Seeking and Manuel G.Bonilla.
US Department of the Interior. US Geological Survey. Virginia, 1995
(իրատարակված մեկ էջանոց մեծ չափերով պլակատի տեսքով)

պայմանավորված ռեակցիայի $R(p)$ արժեքները իրար համարյա հավասար են և փոփոխվում են 0.8-1.1 սահմաններում: IV տիպի ապարներով տեղանքներում կառուցված շենքերից գրունտային պայմաններով պայմանավորված սաստկացման ամենամեծ աստիճանը կունենան 10-հարկանի շենքերը՝ 3.2 անգամից մինչև 8.5 անգամ:

Բոլոր $R(p)$ առնչությունների վերլուծությունները ցույց են տալիս տվյալ տարածքի համար (Սան Ֆրանցիսկո քաղաքի) I տիպի արմատական գրունտային պայմաններում բոլոր շենքերը (կոշտության-հարկայնության) կգտնվեն երկրաշարժի ազդեցության տեսակետից բարենպաստ պայմաններում, II տիպի գրունտային պայմաններում ամենաբարենպաստ պայմաններում կգտնվեն 4 հերցից ցածր սեփական հաճախականություն ունեցող շենքերը, 1 հերցից ցածր հաճախականություն ունեցող շենքերը նույնպես այս տիպի տեղանքներում չեն ենթարկվի լրացուցիչ մեծ ազդեցությունների, III տիպի գրունտային պայմաններում ավելի գերադասելի են 1 հերց և փոքր ազատ տատանման հաճախականություններ ունեցող (10 և ավելի հարկ) շենքերը, իսկ IV տիպի գրունտային պայմաններով տեղանքներում կառուցված համարյա բոլոր շենքերը երկրաշարժերի ժամանակ կենթարկվեն լրացուցիչ մեծ ազդեցությունների:

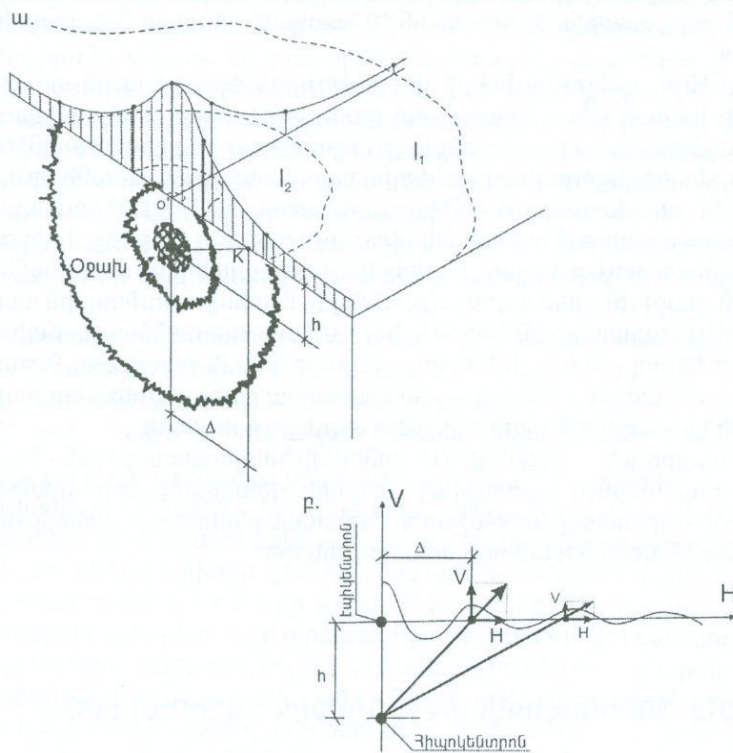
Ժ. Բոաթվիչթի, Լ. Միկինգի և Մ. Բոնիլայի հավաստմամբ Սան - Ֆրանցիսկո քաղաքի տարածքում կառուցված շենքերի վնասվածքների աստիճանները 1989թ. Լոմո - Պրիետայի երկրաշարժի ժամանակ ընդհանուր առմամբ համապատասխանել են վերը նշված եզրահանգումներին:

2.10 ԳԵՏՆԻ ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԵՎ ՈՒՂՂԱԾԻԳ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԸ

Ինչպես նշվեց սույն գլխի ներածական բաժնում, երկրաշարժերի ժամանակ ժամանակակից գրանցող սարքերը հնարավորություն են տալիս գրանցել գետնի հորիզոնական և ուղղաձիգ տատանումները:

Երկրաշարժի էպիկենտրոնային շրջանում գետնի ուղղաձիգ արագացումների մեծությունները սովորաբար գերազանցում են հորիզոնական ուղղությամբ առաջացող արագացումների մեծություններին: Էպիկենտրոնից հեռանալով ուղղաձիգ ուղղությամբ երկրաշարժից առաջացած արագացումների մեծությունները արագ մարում են հորիզոնականների նկատմամբ (նկ. 2.27): Այդպիսի օրինաչափությունների քանակական պարամետրերը ստանալու համար անհրաժեշտ է միևնույն երկրաշարժի ժամանակ էպիկենտրոնից տարբեր հեռավորությունների վրա ունենալ գետնի բազմաթիվ եռակոմպոնենտ գրանցումներ: Իսկ դրա իրագործման համար անհրաժեշտ է կազմակերպել ուժեղ երկրաշարժերի գրանցման շատ խիտ ու հուսալի գործիքներով հագեցված դիտարկումների ցանց: Վերջին տասնամյակներում այդպիսի ցանցերի ստեղծմանը ձեռնամուխ են եղել մի շարք երկրներ: Ամենամեծ հաջողությունները այս բնագավառում ունեն ԱՄՆ-ի երկրաշարժագետները: Կալիֆոռնիայի նահանգի ամբողջ տարածքը հագեցված է ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի արագացումների գրանցման ժամանակակից մեծ ճշտության գրանցող և մշակող գործիքներով, որոնց արդյունքները ուժեղ երկրաշարժերից հետո շատ արագ հրապարակվում

են և հնարավորություն ստեղծում խորացնել մեր գիտելիքները ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի շարժումների օրինաչափությունների մասին [84, 118, 141]:

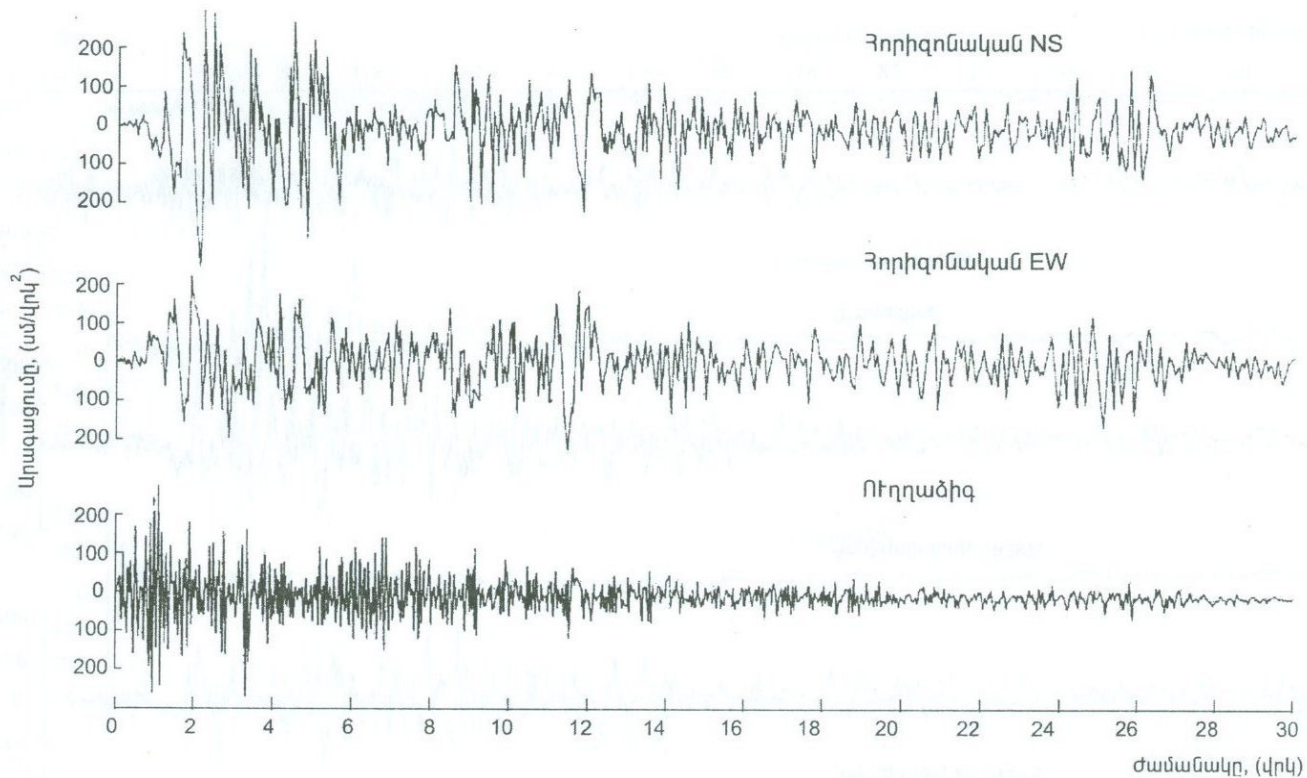


Նկ. 2.27 Երկրաշարժի օջախային գոտու (ա) և հորիզոնական ու ուղղաձիգ (բ) տատանումների կոմպոնենտների հարաբերության սխեմաները:

Ներկայումս տարբեր երկրներում արդեն կուտակված են մեծ թվով այդպիսի գրանցումներ: Մի շարք ուժեղ երկրաշարժերի եռակոմպոնենտ աքսելերոգրամները բերված են նկ. 2.28.1 - 2.28.13 նկարներում, իսկ նրանց հիմնական պարամետրերը՝ 2.6 աղյուսակում: Ինչպես աղյուսակում բերված տվյալները, այնպես էլ բազմաթիվ այլ երկրաշարժերի եռակոմպոնենտ գրանցումների ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ գետնի հորիզոնական արագացումների ամենամեծ մեծությունները շատ քիչ են տարբերվում միմյանցից: Ինչ վերաբերում է ուղղաձիգ բաղադրիչին, ապա այն հորիզոնականի նկատմամբ կարող է տարբերվել բավական մեծ տիրույթում: Ընդ որում այդ տարբերությունը շատ խիստ կերպով կախված է գրանցման տեղի էպիկենտրոնային հեռավորությունից:

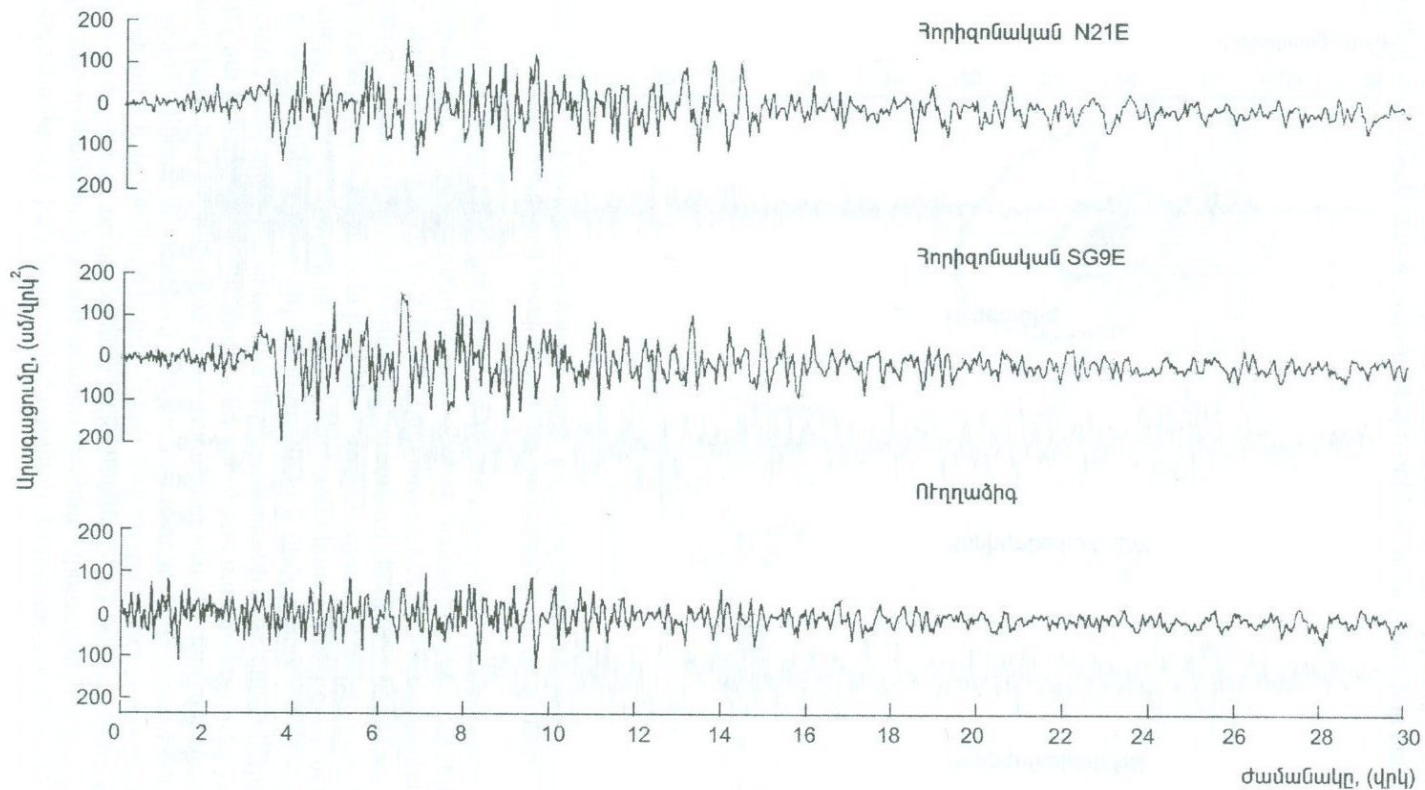
Կալիֆոռնիայի նահանգում տեղի ունեցած երկու երկրաշարժերի՝ 1971 թվի փետրվարի 9-ի և 1989 թվի հոկտեմբերի 10-ի երկրաշարժերի գրանցման արդյունքների մշակման արդյունքները բերված են 2.29 և 2.30 նկարներում: Առաջին երկրաշարժի ժամանակ գետնի եռակոմպոնենտ արագացումները գրանցվել են 43 տեղամասերում, իսկ երկրորդի ժամանակ՝ 36 տեղամասերում [124]:

EL CENTRO 1940 MAY 18

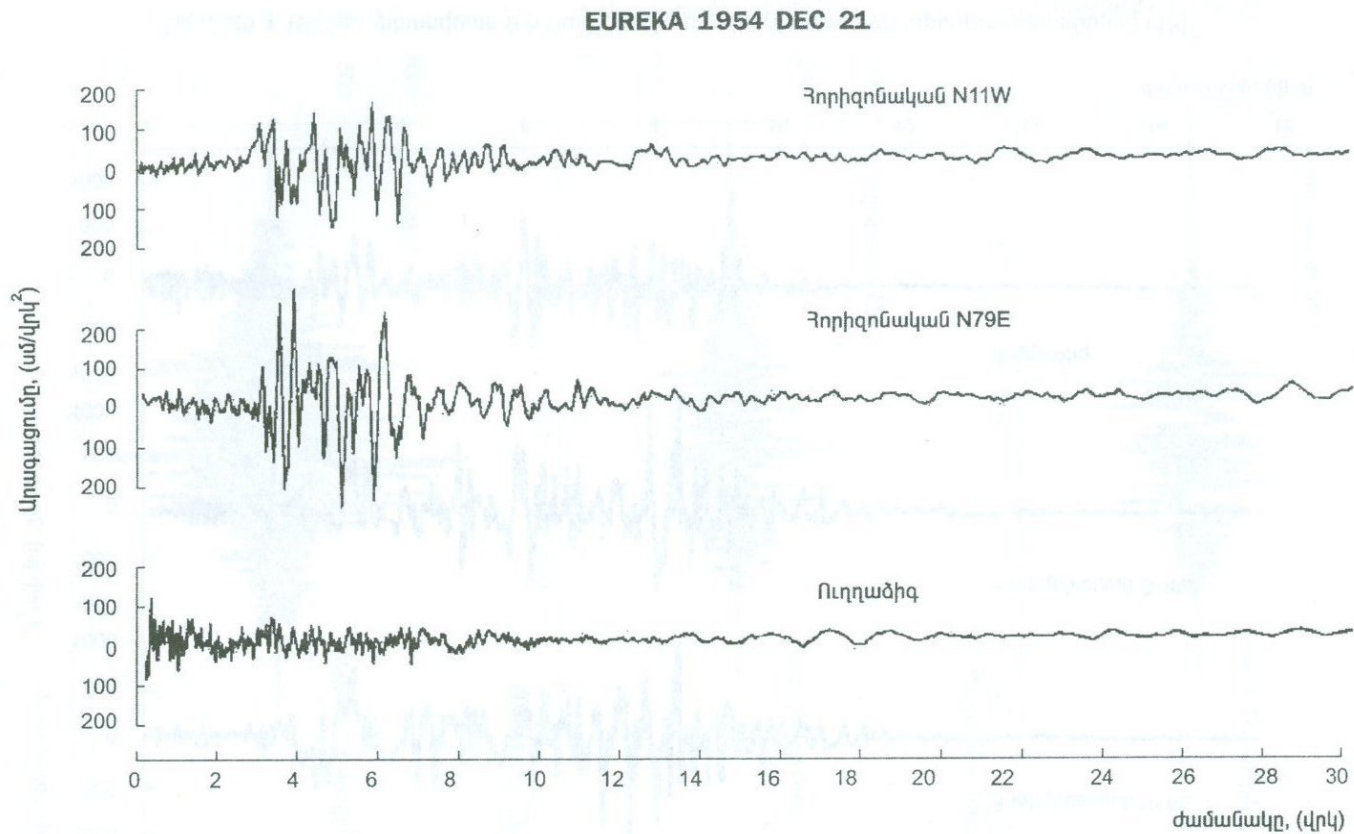


Նկ. 2.28.1 1940թ. մայիսի 18-ի ել-Ցենտրոյի երկրաշարժի եռակոմպոնենտ արժեքերի գրանցումները [137]:

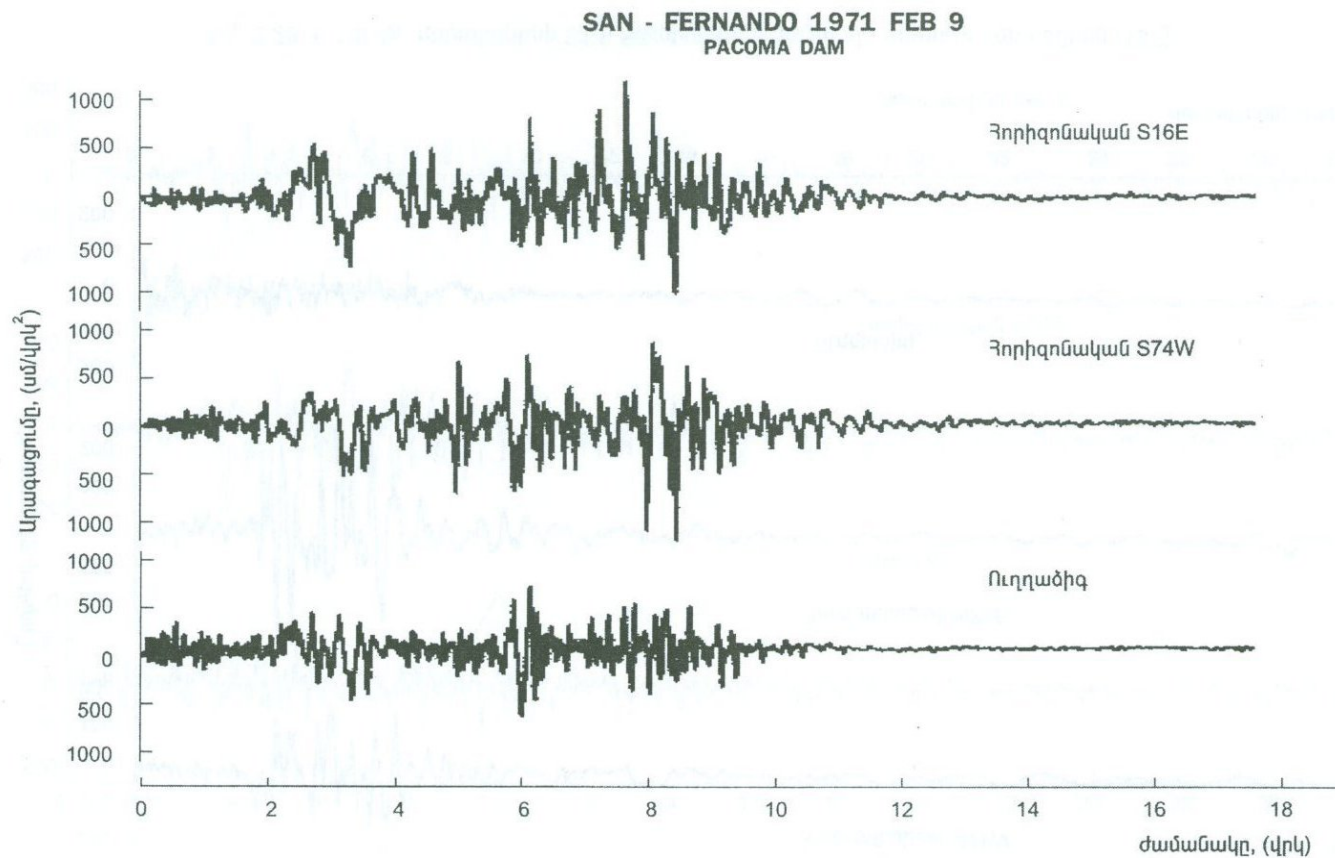
TAFT 1952 JUL 21



Նկ. 2.28.2 1952թ.-ի հուլիսի 21-ի Թաֆտի երկրաշարժի եռակոմպոնենտ աքսելերոգրամները [137]:

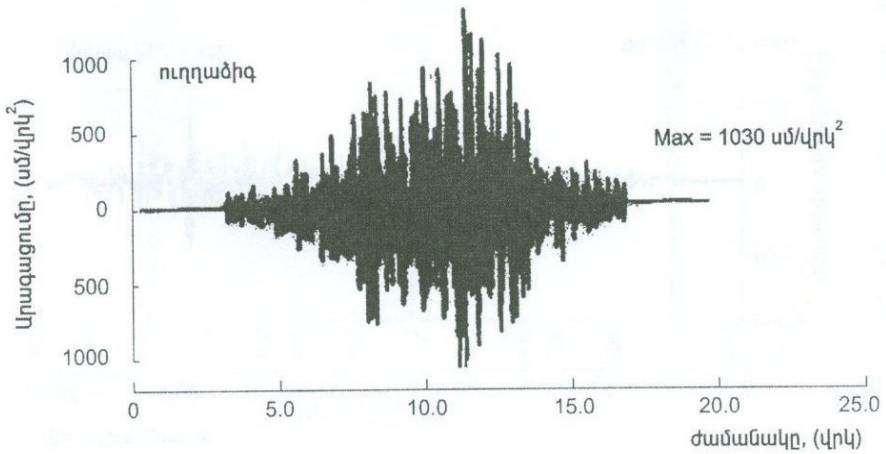
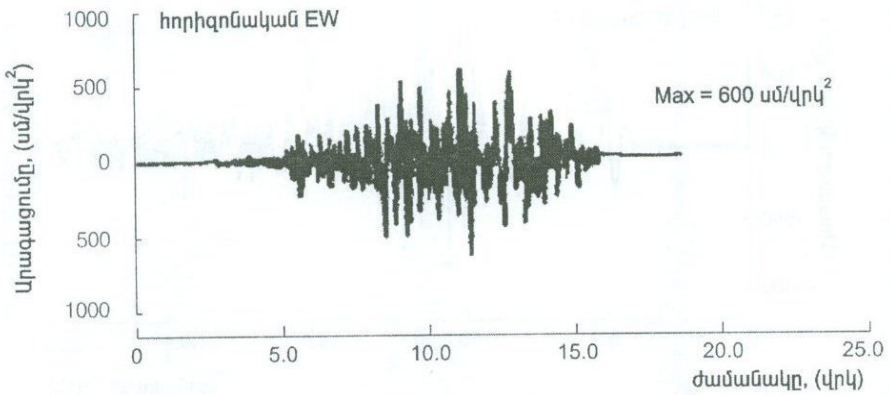
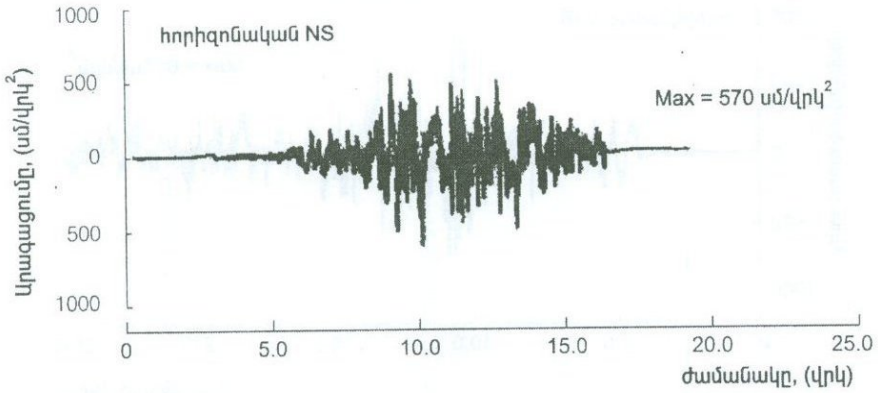


Նկ. 2.28.3 1954թ. դեկտեմբերի 21-ի Յուրկայի երկրաշարժի աքսելերոգրամները [137]:



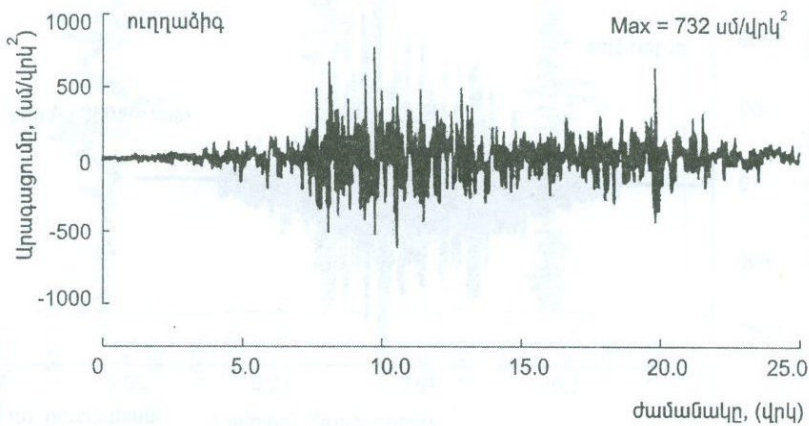
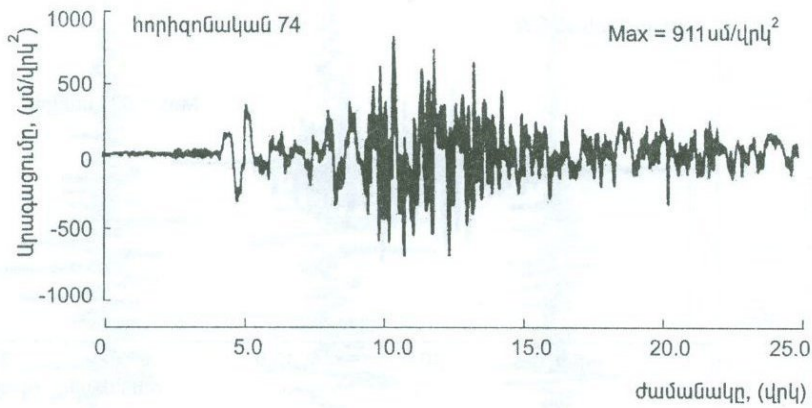
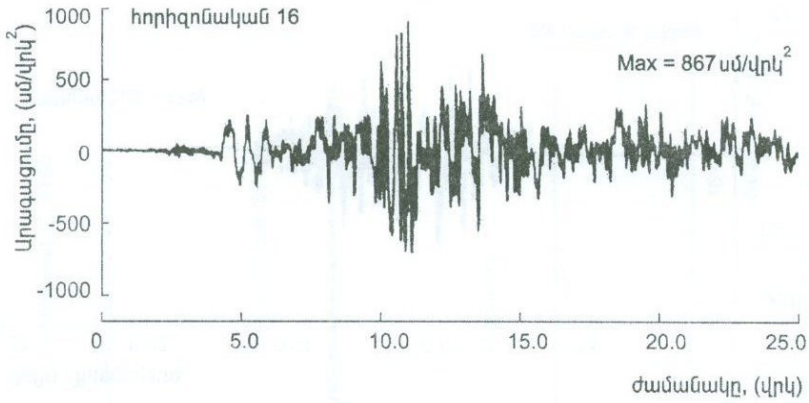
Նկ. 2.28.4 1971թ. փետրվարի 9-ի Սան-Ֆերնանդոյի երկրաշարժի աքսելերոգրամները [118]:

GAZLI 1976 MAY 17

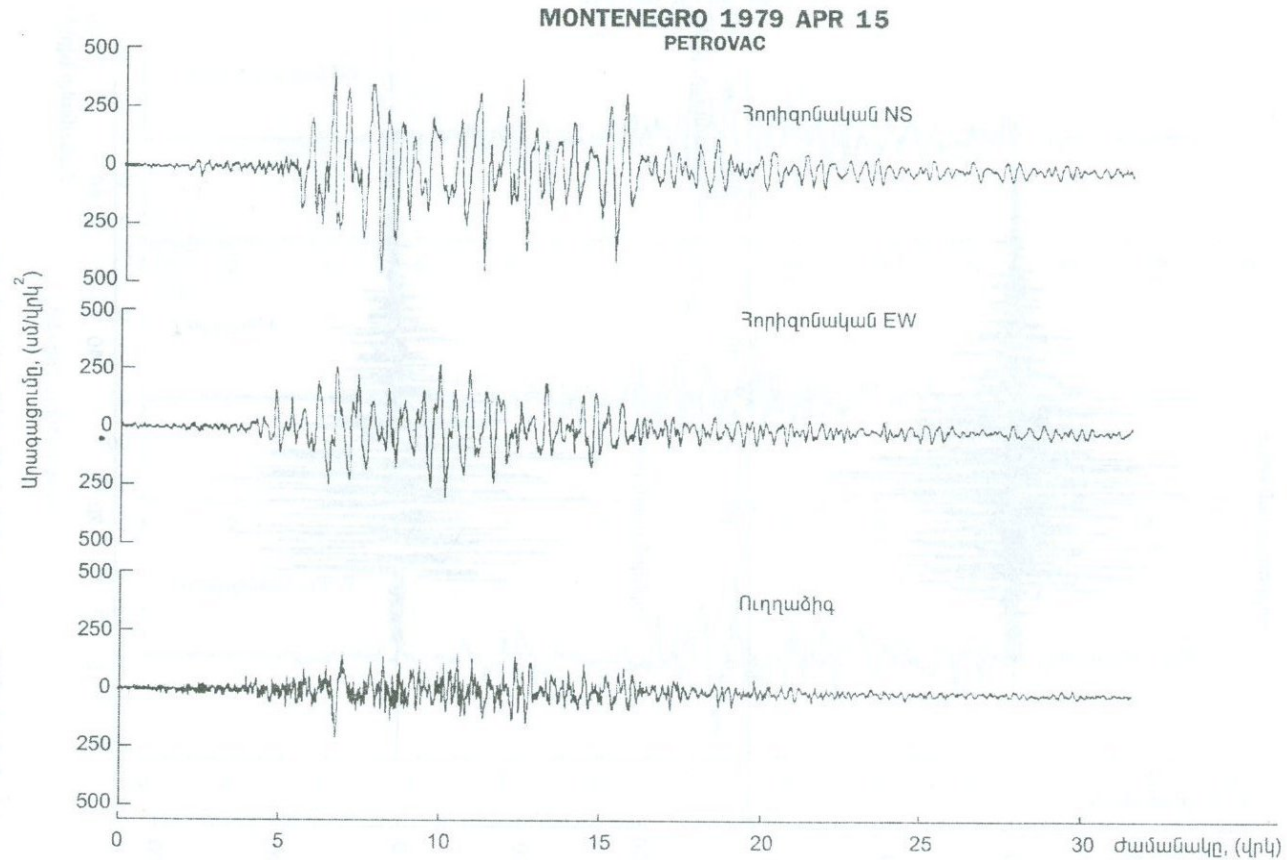


Նկ. 2.28.5 1976թ. մայիսի 17-ի Գազլիի երկրաշարժի արձանագրումը [129]:

TABAS 1978 JUN 26

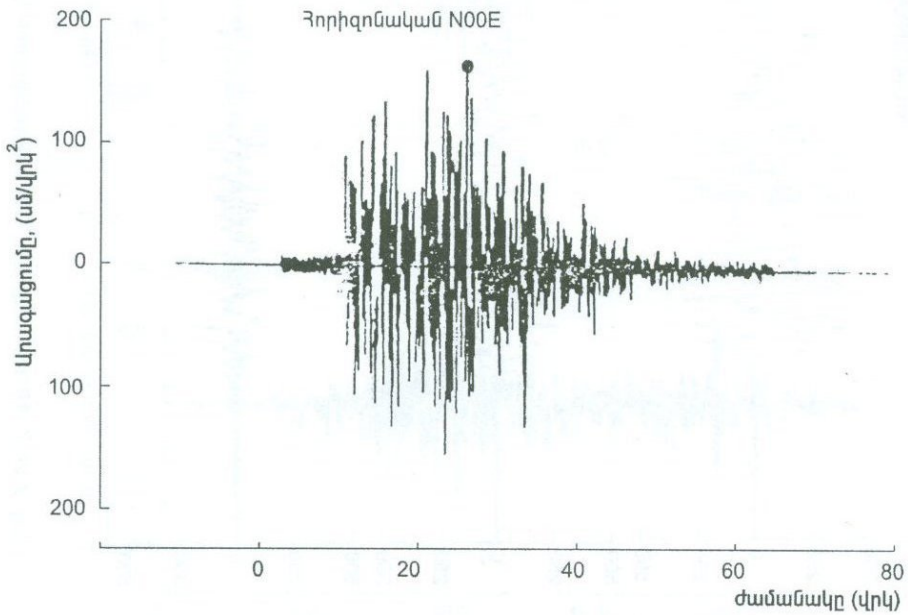
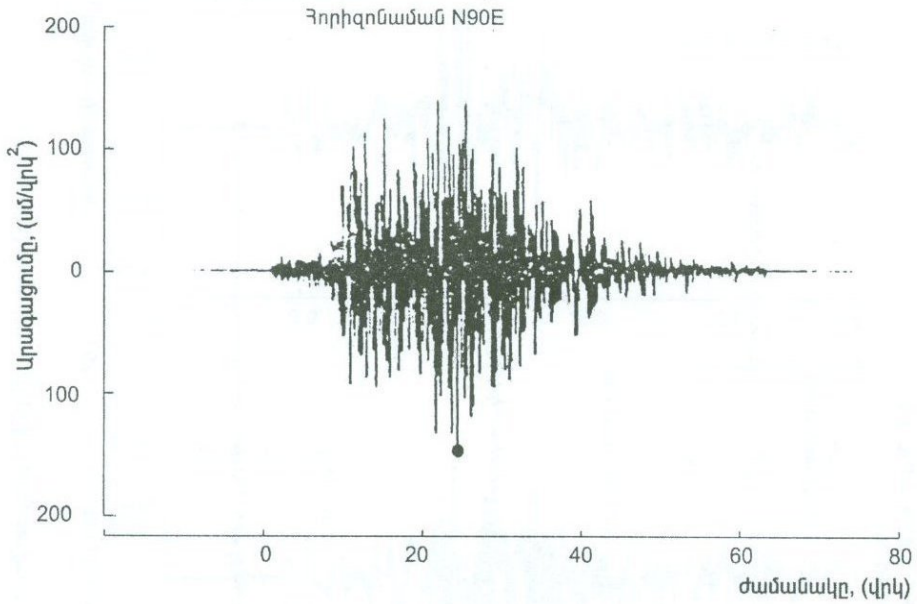


Նկ. 2.28.6 1978թ. հունիսի 26 - ի Թաբասի երկրաշարժի արձեւերոգրամները [129]:



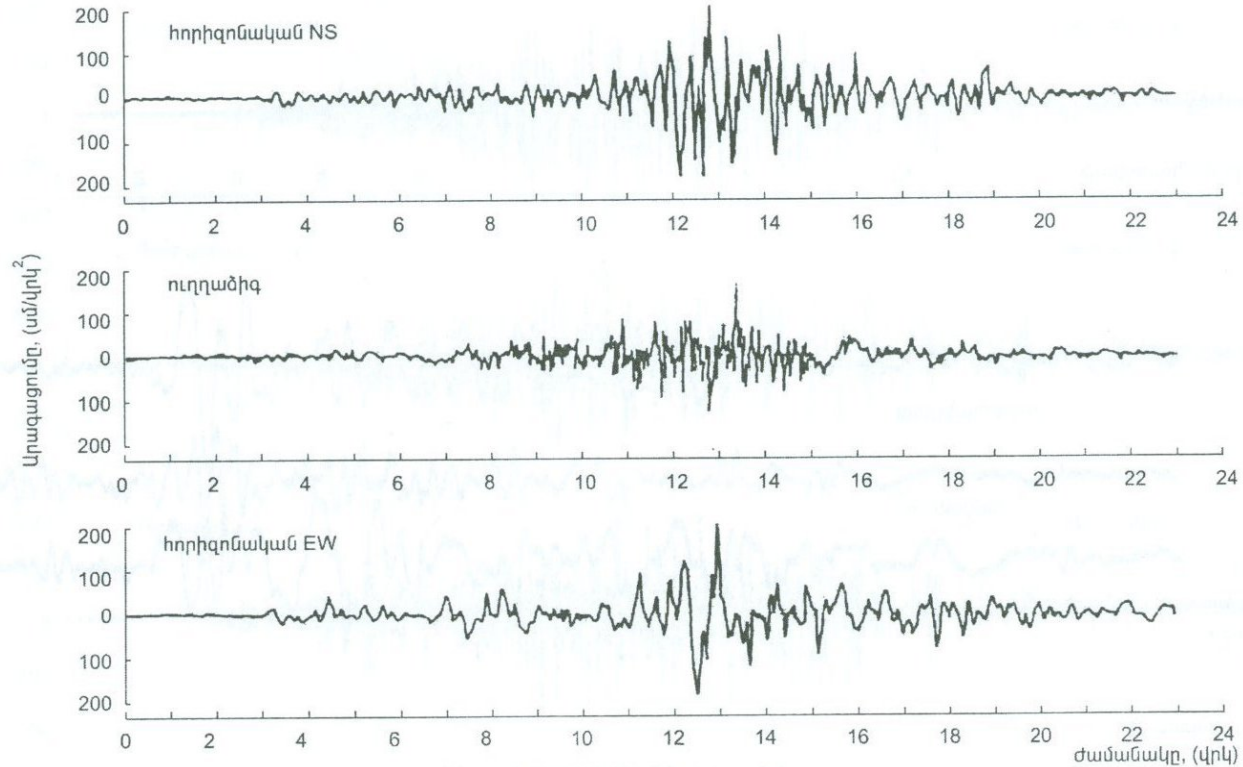
Նկ. 2.28.7 1979թ. ապրիլի 15-ի Մոնտենեգրոյի երկրաշարժերի արբւելերոգրամները [129,139]:

MICHIOCAN 1985 SEP 19
LA UNION



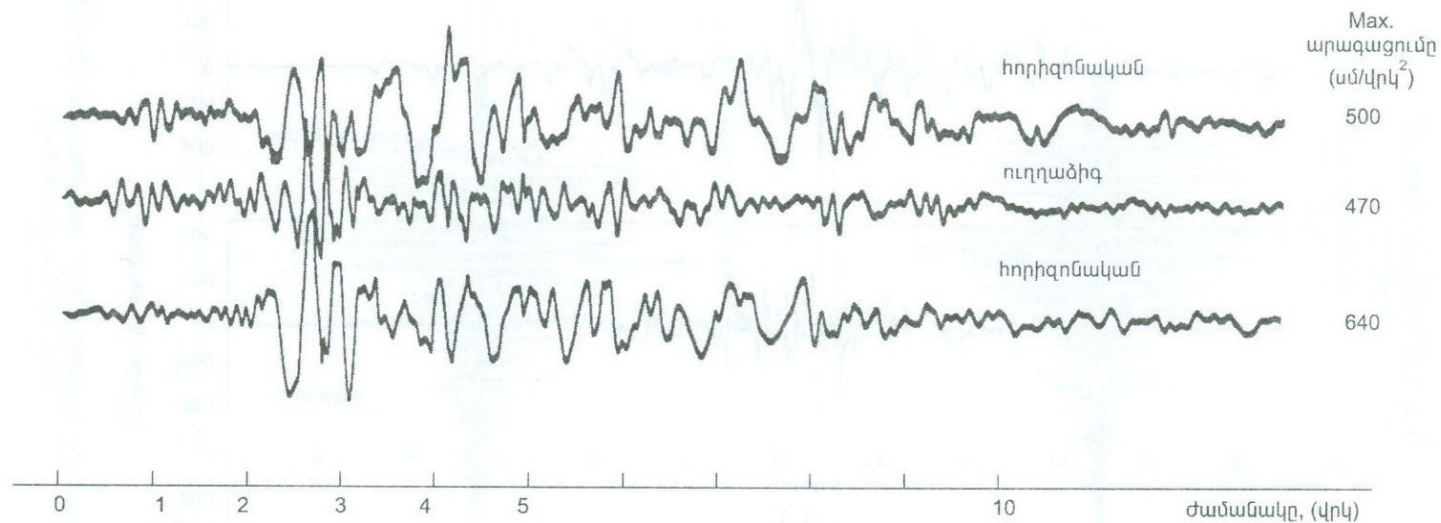
Նկ. 2.28.8 1985թ. սեպտեմբերի 19-ի Մեքսիկայի երկրաշարժերի
աքսելերոգրամները [148]:

SPITAK 1988 DEC 7
GHUKASYAN

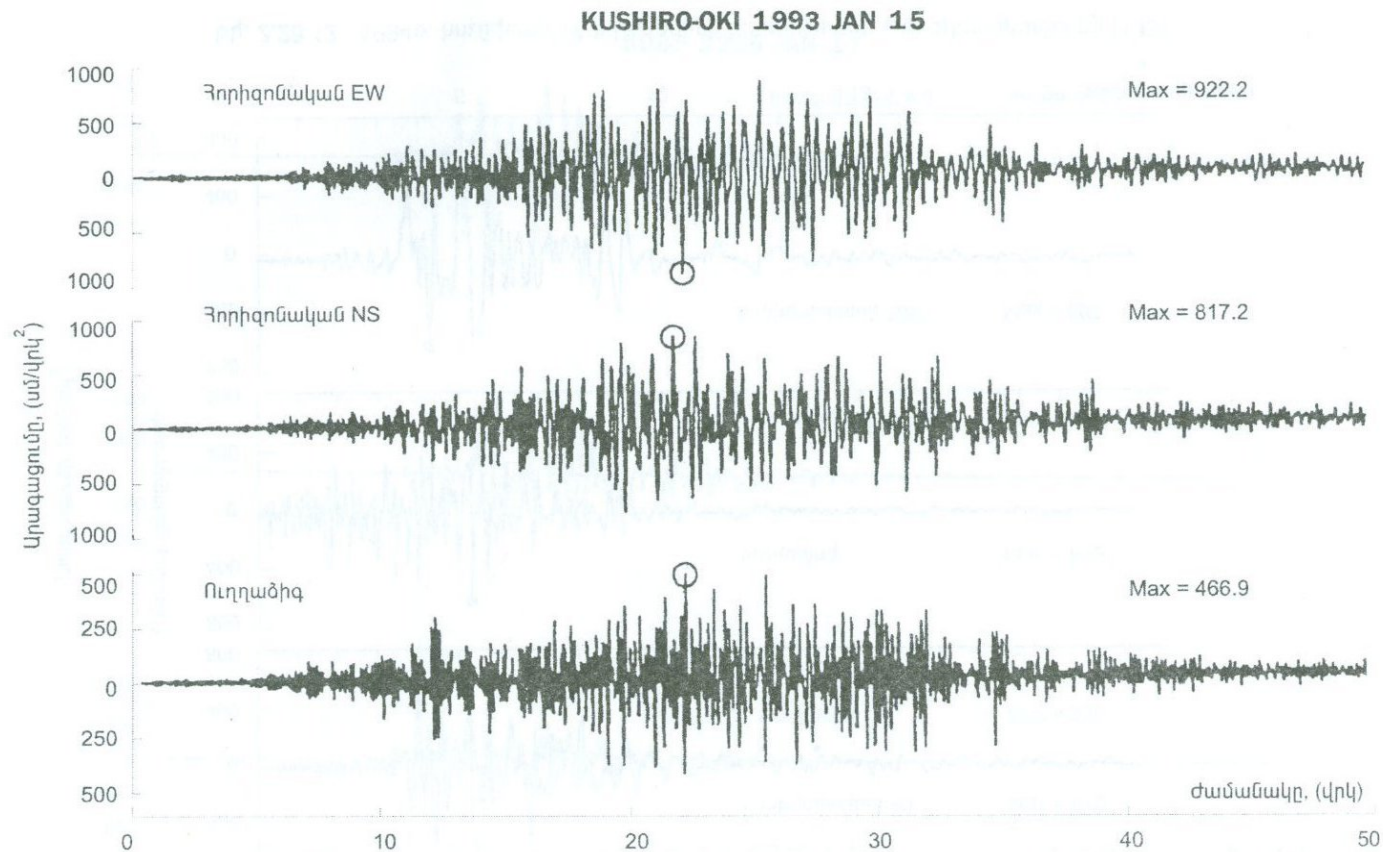


Նկ. 2.28.9 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժի արժեքները [20, 86]:

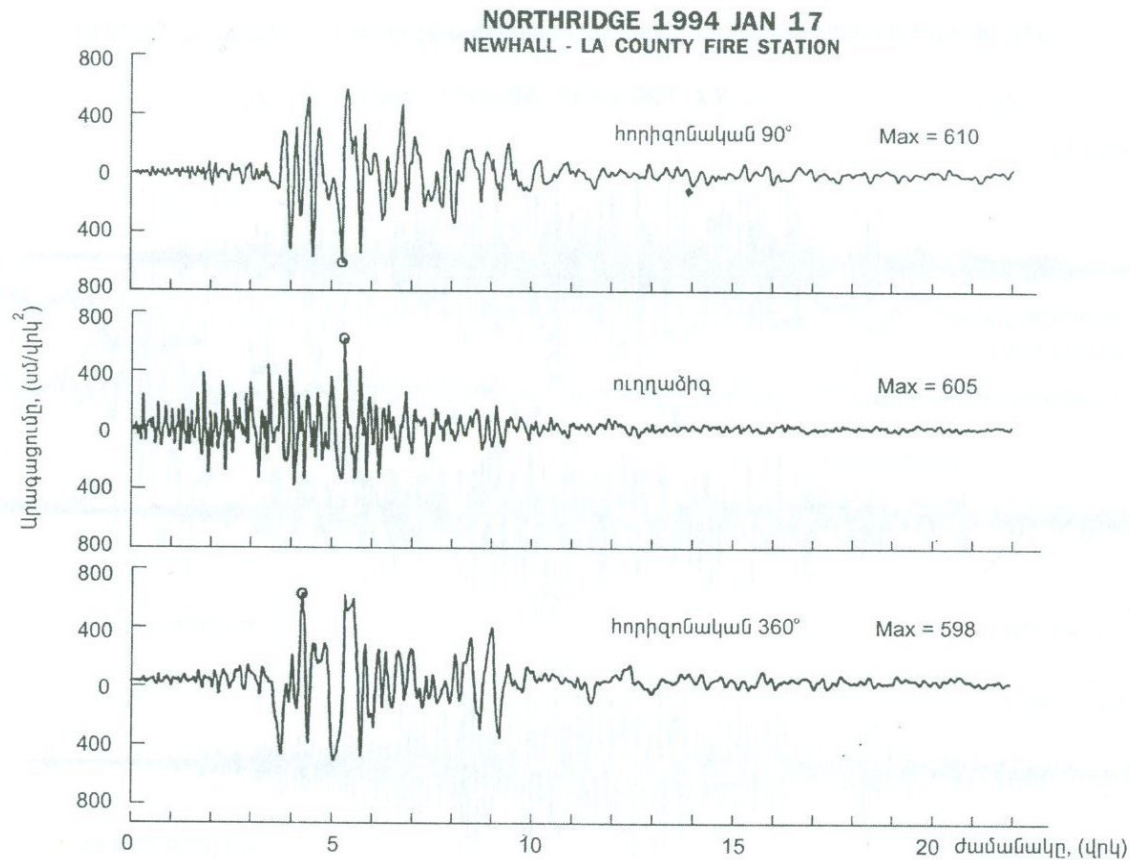
LOMO - PRIETA 1989 OCT 17



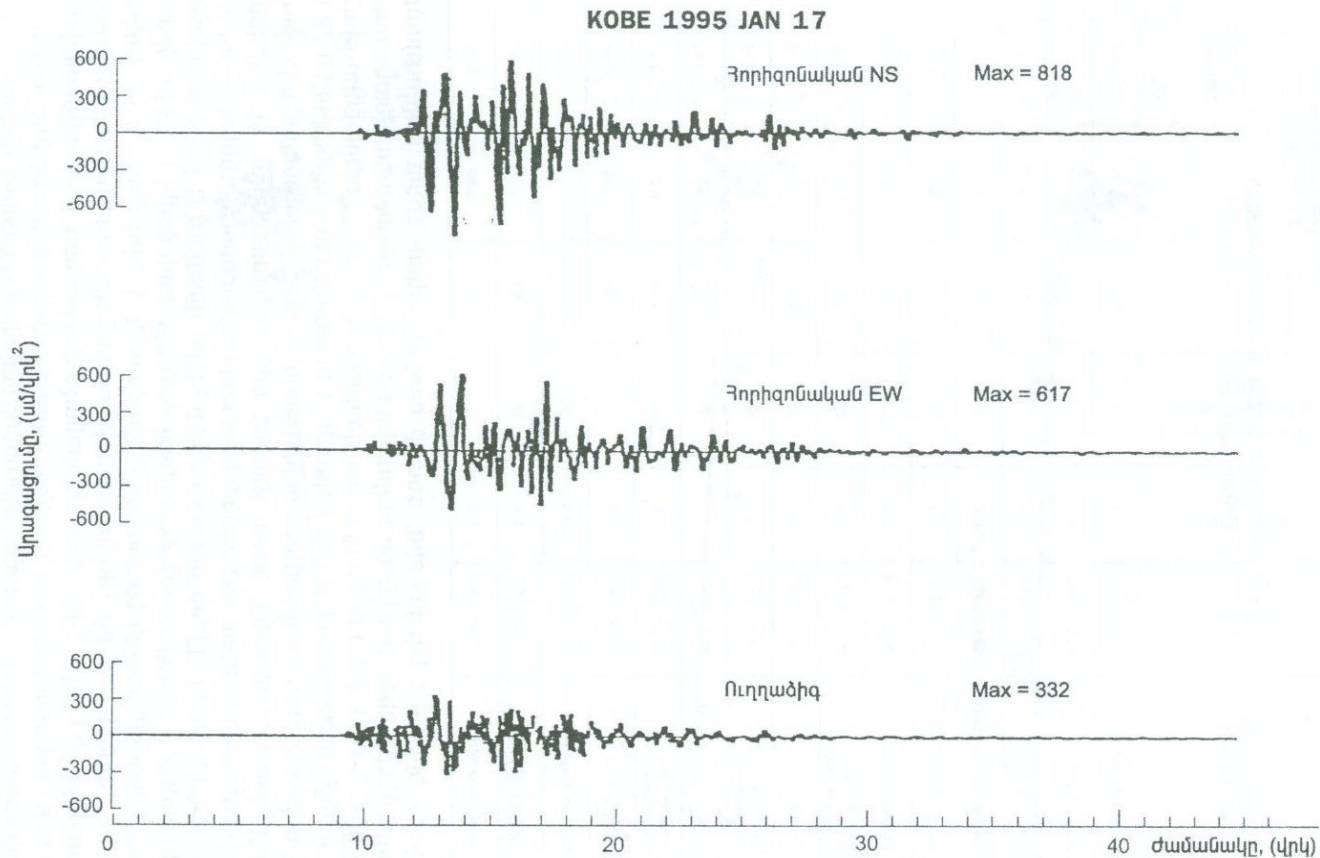
Նկ. 2.28.10 1989թ. հոկտեմբերի 10-ի Լոմո-Պրիետայի երկրաշարժի աքսելերոգրամները [84]:



Նկ. 2.28.11 1993թ. հունվարի 15-ի Կուշիռ-Օկի երկրաշարժի արբելերոգրամները [120]:



Նկ. 2.28.12 1994թ. հունվարի 17-ի Նորթրիջի երկրաշարժի արբեւերոգրամները [133]:

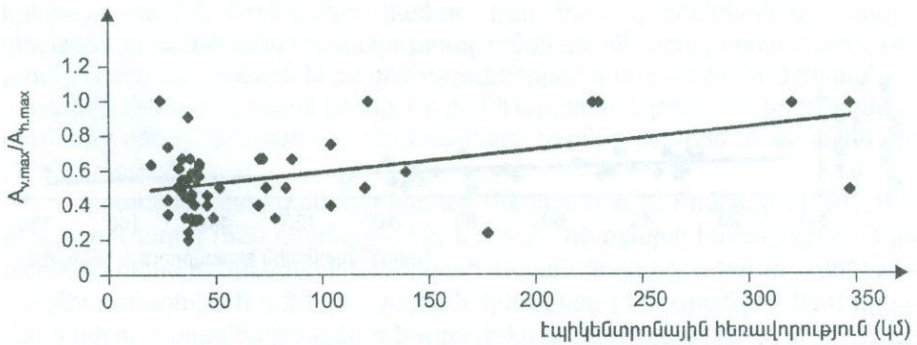
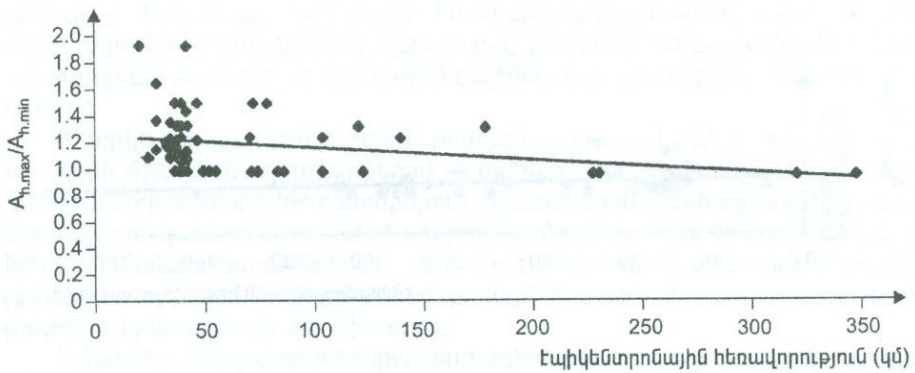
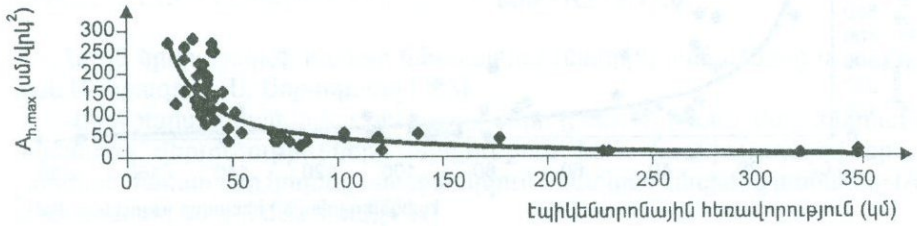


Նկ. 2.28.13 1995թ. հունվարի 17-ի Կոբեի երկրաշարժի արժեքները [147]:

	Երկրաշարժի անվանումը	Տարեթիվը	Սազմիտուրը M	Էպիկենտրոնային հեռավորությունը (կմ)	Ամենամեծ արագացումը g-ի մասերով		
					հորիզոնական բաղադրիչ		ուղղաձիգ բաղադրիչ
					1	2	
1	Էլ Ցենտրո (ԱՄՆ)	18.05.1940	6.7	50	0.32	0.21	0.28
2	Թաֆտ (ԱՄՆ)	21.07.1952	7.7	0+5	0.19	0.17	0.12
3	Յուրիկա (ԱՄՆ)	21.12.1954	6.6	7	0.28	0.17	0.11
4	Սան Ֆերնանդո (ԱՄՆ)	09.02.1971	6.6	5	1.25	1.17	0.72
5	Գազլի (Ուզբեկստան)	17.05.1976	7.2	22	0.60	0.57	1.03
6	Թաբա (Իրան)	16.03.1978	7.4	3+5	0.87	0.911	0.732
7	Մոնտենեգրո (Հարավսլավիա)	15.04.1979	7.0	29	0.43	0.3	0.25
8	Մեքսիկա	19.09.1985	8.2	45	0.16	0.15	0.13
9	Սափտակ (Հայաստան)	07.12.1988	6.8	30	0.21	0.17	0.15
10	Լոմա-Պրետա (ԱՄՆ)	17.10.1989	7.1	7	0.64	0.50	0.47
11	Կուշիո-Օկի (Ճապոնիա)	15.01.1993	7.8	14	0.92	0.82	0.46
12	Մանջիլ (Իրան)	20.06.1990	7.7	5	0.65	0.62	0.52
13	Երզնկա (Թուրքիա)	13.03.1992	6.9	10	0.50	0.39	0.25
14	Նորթրիջ (ԱՄՆ)	17.01.1994	6.7	19	0.61	0.60	0.61
15	Կոբե (Ճապոնիա)	17.01.1995	7.2	10	0.82	0.62	0.33

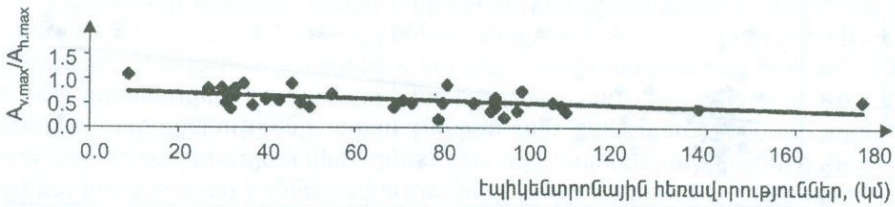
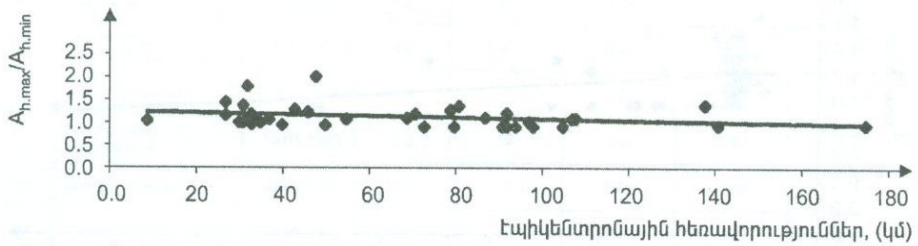
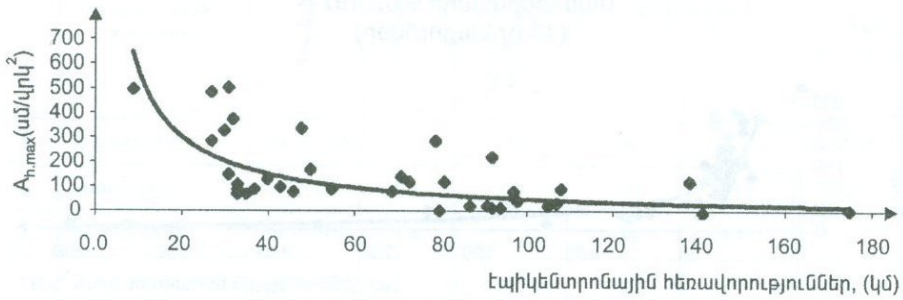
Ինչպես երևում է նկարներից, գետնի հորիզոնական երկու ուղղությամբ արագացումների մեծությունների հարաբերությունը համապատասխանաբար կազմել են 0.5-1.0 և 0.3-1.0: Բայց երկու դեպքում էլ A_{min}/A_{max} հարաբերության միջին արժեքը ավելի մոտ է մեկին և կազմել է համապատասխանաբար 0.78 և 0.8: Ինչ վերաբերվում է ուղղաձիգ և հորիզոնական ուղղություններով արագացումների հարաբերությանը, ապա չնայած այն հանգամանքին, որ էպիկենտրոնային հեռավորության մեծացման հետ այդ հարաբերությունները փոքրանում են, բայց հստակ օրինաչափություններ երկու դեպքում էլ չեն նկատվում: Սան Ֆերնանդոյի երկրաշարժի ժամանակ A_v/A_{Hmax} փոփոխվել է 1.2-ից մինչև 0.25, իսկ Լոմա-Պրիետայի երկրաշարժի ժամանակ՝ 1.1-ից մինչև 0.12: Երկու դեպքում էլ էպիկենտրոնից 100 կմ հեռավորության վրա այդ հարաբերության միջին արժեքը չի իջել 0.5-ից: Հստակ օրինաչափությունների չեն ենթարկվում նաև գետնի հորիզոնական և ուղղաձիգ ուղղություններով գրանցված արագացումների մեծությունների փոփոխությունները կախված էպիկենտրոնային հեռավորություններից, չնայած ընդհանուր առմամբ տեղի է ունենում նրանց կտրուկ նվազում:

Սան-Ֆերնանդո 9.02.1971
(43 գրանցումներ)



Նկ. 2.29 Սան-Ֆերնանդոյի երկրաշարժի ժամանակ գրունտի ուղղաձիգ և հորիզոնական արագացումների հարաբերակցությունները:

Loma Prieta 10.10.1989
(39 գրանցումներ)



Նկ. 2.30 Լոմո - Պրիետայի երկրաշարժի ժամանակ ուղղաձիգ և հորիզոնական արագացումների հարաբերակցությունները:

4.4. Կամբելլը [83] Լոնոն-Պրիետայի երկրաշարժի համար հորիզոնական $A_{\max}$ արագացումների համար ստացել է հետևյալ էմպիրիկ բանաձևերը.

$$\begin{aligned} \ln A_{\max} &= 1.876 - 1.03 \ln(R+7.79), & \text{երբ } R \leq 50.6 \text{ կմ} \\ \ln A_{\max} &= -2.313, & \text{երբ } 50.6 < R < 79.1 \text{ կմ} \\ \ln A_{\max} &= 3.223 - 1.24 \ln(R+7.79), & \text{երբ } R \geq 79.1 \text{ կմ} \end{aligned} \quad (\text{ա})$$

Նույն երկրաշարժի համար նմանատիպ էմպիրիկ բանաձևերը ստացել են նաև Մ. Նիագին և Ս. Մորտգատը [123]:

Վերը շարադրված երկու երկրաշարժերի (Լոնոն Պրիետա, Սան-Ֆերնանդո) համատեղ վերլուծությունների արդյունքում $M=7$ մագնիտուդայով երկրաշարժերի համար մեր կողմից առաջարկվում է հետևյալ էմպիրիկ բանաձևը ($A_{\max}$ արտահայտված g-ի մասերով) [124]

$$A_{\max} = 9R^{-1.12} \quad (\text{բ})$$

որը լավ արդյունքներ է տալիս նաև Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Ղուկասյանում և Երևանում գրանցված համապատասխանաբար 0.21g և 0.06g արագացումների համար: Ըստ վերոհիշյալ բանաձևի Ղուկասյանի ($R = 30$ կմ) արագացման մեծությունը ստացվում է 0.199g, իսկ Երևանի ($R = 90$ կմ) համար՝ 0.058g:

Իհարկե երկու երկրաշարժերի, թեկուզ և բավարար քանակությամբ, գրանցումների մշակման արդյունքներով չի կարելի հանգել միանշանակ եզրակացությունների արժարժվող հարաբերությունների օրինաչափությունների մասին: Այստեղ շատ կարևոր են այնպիսի պարամետրեր, ինչպիսիք են գրանցվող վայրի երկրաբանական պայմաններն ու ռելիեֆը, էպիկենտրոնի նկատմամբ գրանցող գործիքի և տրոհման հարթությունից գրանցման վայրի դիրքերը, օջախի խորությունը ու երկրաշարժի մագնիտուդը:

Աշխարհի առաջատար երկրաշարժագետների հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ այդ օրինաչափությունները տարբեր են նաև երկրագնդի տարբեր երկրաշարժածին ռեգիոնների համար: Ընդ որում գործնական կիրառական տեսակետից անենամեն մշանակությունը ունեն գետնի արագացման կախվածությունը էպիկենտրոնային հեռավորություններից, որոնց անվանում են նաև երկրաշարժի էֆեկտի մարման կորեր: Մի քանի այդպիսի կորերի էմպիրիկ հավասարումները ստացված տարբեր հեղինակների կողմից բերված են առաջին գլխի (1.102) բանաձևերով:

Եվրոպական մայրցամաքի համար Ամբրասեյսը ու Բոմները (1991) $M \geq 4$ մագնիտուդայով (529 գրանցումներ) և $h \leq 25$ կմ օջախի խորությամբ երկրաշարժերի համար, Արևմտյան Ամերիկայի համար Ջոյները ու Բուռը (1981) $M \geq 5$ մագնիտուդայով և $h \leq 20$ կմ օջախի խորությամբ (182 գրանցումներ) երկրաշարժերի ու Ճապոնիայի համար Ֆուկուչիմա ու Տանական (1990) $M \geq 5$ մագնիտուդայով (ճապոնական տարբերակ) ու $h \leq 25$ կմ երկրաշարժերի համար (486 գրանցումներ) [72, 73, 93, 102, 151] ստացել են արագացումների մարման կորեր, որոնք բերված են 2.31 նկարում [151]

Այդ առնչությունները ըստ [151] ընդհանուր դեպքում կարելի է ներկայացնել հետևյալ բանաձևով՝

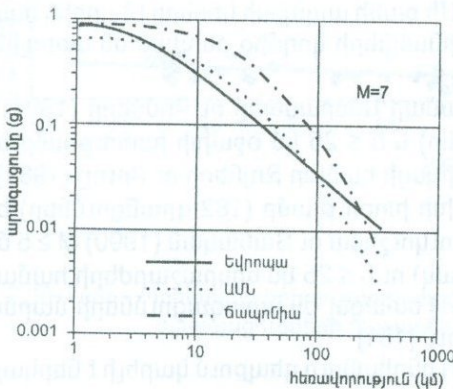
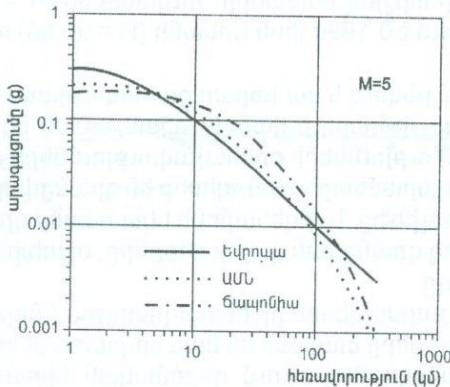
$$\log A_{hmax} = \alpha + \beta M - n_0 \log R' + bR' + \sigma P \quad (q)$$

որտեղ $R' = \sqrt{R^2 + h_0^2}$ իսկ $\alpha, \beta, n_0, b, h_0, \sigma$ -ի արժեքները եվրոպայի, Ամերիկայի և Ճապոնիայի համար բերված են 2.7 աղյուսակում:

Աղյուսակ 2.7

ՏԱՐԱԾՔ	α	β	b	n_0	h_0	σ
Եվրոպա	-1.09	0.238	-0.00050	1.0	6.0	0.278
ԱՄՆ	-1.03	0.248	-0.00196	1.0	6.6	0.249
Ճապոնիա	1.91	0.283	-0.00183	1.0	0.0	0.313

Այստեղ σ -ով նշանակված է $\log A_{hmax}$ ֆունկցիայի ստանդարտը, իսկ P հաստատուն է, որը ընդունվում է հավասար է 0 - ի 50 % ապահովածության դեպքում և 1-ի 84 % ապահովածության դեպքում: Նշենք, որ (q) բանաձևը (Եվրոպա) կիրառելով Սպիտակի երկրաշարժի համար Դուկասյանում ($M=6.8, R=30, P=1$) արագացումների մեծության համար կունենանք $A_{hmax}=0.22g$, որը շատ մոտ է իրականում գործիքով գրանցված արժեքներին:



Նկ. 2.31

Արագացումների մարման կորերը ըստ գրանցված 5 և 7 մագնիտուդով երկրաշարժերի տվյալների [151]:

Ավելի պարզեցված կորեր առաջարկվում է երկրաշարժակայուն Շինարարության Միջազգային Ասոցիացիայի կողմից [77], որոնք բերված են 2.32 նկարում:

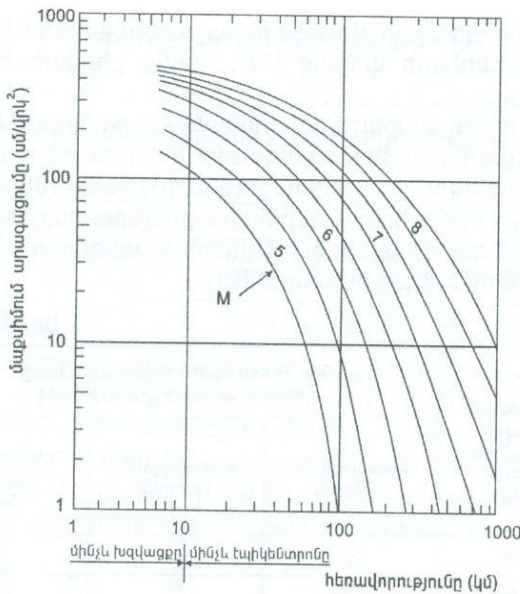
Ինչպես նշվեց վերևում, ուժեղ երկրաշարժի ժամանակ գրանցվում են հիմնականում գրունտի արագացումները, իսկ արագությունների ու տեղափոխությունների մեծությունները ստացվում են արագացումների գրանցումներից ինտեգրման եղանակով: Մի շարք ուժեղ երկրաշարժերի աքսելերոգրամներից ինտեգրման միջոցով ստացված գետնի արագությունների ու տեղափոխությունների մեծությունները բերված են 2.8 աղյուսակում [91]:

Աղյուսակ 2.8

Երկրաշարժեր	Մագնիտուդան M	Էպիկենտրոնային հեռավորությունը (կմ)	Գետնի ամենամեծ փոխադրահայաց հորիզոնական ուղղություններով		
			արագացումը (սմ/վրկ ²)	արագությունը (սմ/վրկ)	տեղափոխությունը (սմ)
Էլ Ցենտրո, 1940	6.6	8	342 210	33 37	11 20
Օլիմպա, 1949	7.1	20	162 275	21 17	8.6 10.4
Թաֆտ, 1952	7.6	56	153 176	16 18	6.7 9.0
Սան Ֆերնանդո, 1971	6.6	21	310 264	17 28	3.4 6.2
Թոլմեզզո, 1976	6.3	24	342 310	20 32	3.3 3.9
Ֆոոզաոիա, 1976	5.9	16	299 323	23 22	2.6 3.6
Պետրովակ, 1979	7.0	29	429 299	41 24	8.2 3.2
Քերցեմուվի, 1979	7.0	65	209 226	15 11	2.6 2.6
Բանյա Լուկա, 1981	5.4	2	506 387	24 8	4.4 1.2
Մեխիկո, SCT 1985	8.1	400	98 168	39 61	19 22
Մեխիկո, Univ 1985	8.1	400	32 35	10 9	6.2 7.7
Կուշիոո-Օկի, 1993	7.8	14	922 817	60 67	5.9 9.3
Երևան, (Սպիտակ 1988)	6.8	100	61	3.01	0.9

Ինչպես երևում է աղյուսակից, որոշակի օրինաչափություններ չկան գետնի մաքսիմալ արագացման, արագության և տեղափոխության մեծությունների միջև: Անշուշտ այստեղ մեծ դեր են կատարում գրանցման վայրի գրունտային պայմանները, բայց անգամ միևնույն տեղում գրանցված երկու փոխադրահայաց ուղղություններով արագացումների, արագությունների և տեղափոխությունների հարաբերությունները շատ խիստ տարբերվում են իրարից:

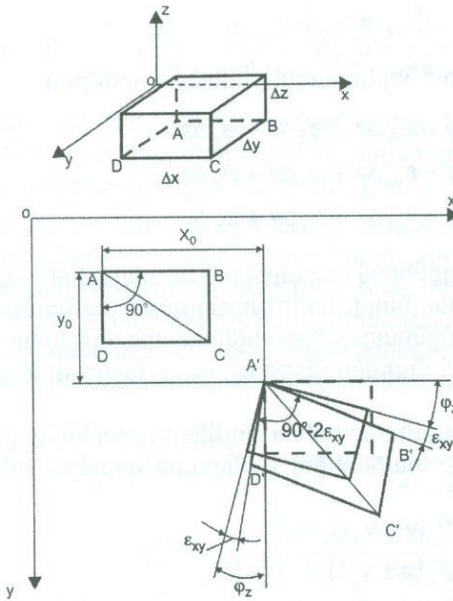
Այստեղ դժվար է պարզել, թե դա արդյունք է գետնի աքսելերոգրամից ինտեգրման միջոցով նրա վելիստոգրամը և սեյսմոգրամը ստանալիս սխալների կուտակման, թե իրականում դա միևնույն տեղանքի երկու փոխադրահայաց ուղղություններով միջավայրի անիզոտրոպ հատկությունների հետևանք է: Այս բոլոր հարցերի պատասխանները կարելի է ստանալ միայն նույն տեղում գետնի արագացման ու տեղափոխության գործիքային ամմիջապես գրանցման տվյալների համադրությամբ:



Նկ. 2.32
Արագացումների
մարման
ընդհանրացված
կորերը տարբեր M
մագնիտուդերի
համար [77]:

2.11 ԳԵՏՆԻ ՊՏՏԱԿԱՆ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԸ

Այժմ քննարկենք գետնի պատական շարժումների հարցը: Երկրաշարժի ժամանակ գրունտի դեֆորմացման գործընթացում նրա ցանկացած խորանարդիկը ենթարկվում է ինչպես հորիզոնական, այնպես էլ պատական ձևափոխությունների (դեֆորմացիաների): Երկրաշարժի ժամանակ գրունտի շարժումների մասին լրիվ տեղեկությունը իր մեջ պետք է ընդհանուր դեպքում ընդգրկի շարժման բոլոր վեց բաղադրամասերը, որոնցից երեքը կկազմեն գրունտի համընթաց շարժման գլխավոր վեկտորը, իսկ մյուս երեքը՝ պատական շարժման գլխավոր մոմենտը: Ինչպես նշվեց վերևում, վերջին տարիներին զգալի տեղեկություններ են կուտակված գրունտի համընթաց շարժումների վերաբերյալ: Մյուս կողմից ավերիչ երկրաշարժերի հետևանքների ուսումնասիրությունները վկայում են, որ երկրաշարժի ժամանակ թե բուն գրունտում և թե շենքերում և կառուցվածքներում առաջանում են համապատասխան պտույտներ և ոլորման դեֆորմացիաներ: Ընդամենն ոլորման դեֆորմացիաները առաջանում են ոչ միայն հատակագծում ոչ սիմետրիկ կամ մեծ ձգվածության շենքերում, այլև կոշտությունների և զանգվածների լրիվ սիմետրիկ բաշխվածությամբ ու ոչ մեծ չափերով շենքերում: Հետևաբար վերջիններիս հիմնական պատճառը երկրաշարժի ժամանակ գրունտում առաջացող պտտական շարժումներն են: Գետնի պտտական շարժումների գրանցման համար դեռ համապատասխան գործիքներ չեն ստեղծվել, այդ պատճառով այդպիսի շարժումների բնական գրանցումները իրական երկրաշարժերի ժամանակ առայժմ բացակայում են: Սակայն նրանց կարելի է անուղղակի բացահայտել՝ ելնելով հոծ միջավայրի համար առաձգականության տեսու-



Նկ 2.33
Առաձգական մարմնի
(գրունտի) էլեմենտի
պտտական
դեֆորմացիան:

թյան հիմնական հավասարումներից՝ ունենալով երկու հորիզոնական ուղղություներով գետնի իրական շարժումների զրանցումները (աքսելերոգրամները): Քննարկենք առաձգական մարմնի (գրունտի) մի էլեմենտար փոքր մարմնի տարածական դեֆորմացիոն վիճակը (Նկ. 2.33): Ցանկացած A կետի տեղափոխությունները նշանակենք x_0, y_0, z_0 : A կետին սիմետրիկ C կետի տեղափոխությունները ընդհանուր դեպքում կվորոշվեն [52, 61, 112] հետևյալ հավասարումներով՝

$$\begin{aligned} x'_0 - x_0 &= \frac{\partial x_0}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial x_0}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial x_0}{\partial z} \Delta z \\ y'_0 - y_0 &= \frac{\partial y_0}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial y_0}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial y_0}{\partial z} \Delta z \\ z'_0 - z_0 &= \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial z_0}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial z_0}{\partial z} \Delta z \end{aligned} \quad (2.48)$$

օգտվելով առաձգականության տեսության մեջ ընդունված նշանակումներից

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial x_0}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial y_0}{\partial y}, \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial z_0}{\partial z}, \\ 2\varepsilon_{xy} &= \frac{\partial x_0}{\partial y} + \frac{\partial y_0}{\partial x}, \quad 2\varepsilon_{xz} = \frac{\partial x_0}{\partial z} + \frac{\partial z_0}{\partial x}, \quad 2\varepsilon_{yz} = \frac{\partial y_0}{\partial z} + \frac{\partial z_0}{\partial y}, \\ \frac{\partial z_0}{\partial y} - \frac{\partial y_0}{\partial z} &= 2\varphi_x, \quad \frac{\partial x_0}{\partial z} - \frac{\partial z_0}{\partial x} = 2\varphi_y, \quad \frac{\partial y_0}{\partial x} - \frac{\partial x_0}{\partial y} = 2\varphi_z, \end{aligned} \quad (2.49)$$

$$(\varepsilon_{xy} \neq \gamma_{xy})$$

(2.48) հավասարումները կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$\begin{aligned} x'_0 - x_0 &= \varepsilon_{xx} \Delta x + \varepsilon_{xy} \Delta y + \varepsilon_{xz} \Delta z - \varphi_z \Delta y + \varphi_y \Delta z \\ y'_0 - y_0 &= \varepsilon_{xy} \Delta x + \varepsilon_{yy} \Delta y + \varepsilon_{yz} \Delta z - \varphi_x \Delta z + \varphi_z \Delta x \\ z'_0 - z_0 &= \varepsilon_{xz} \Delta x + \varepsilon_{yz} \Delta y + \varepsilon_{zz} \Delta z - \varphi_y \Delta x + \varphi_x \Delta y \end{aligned} \quad (2.50)$$

որոնք համապատասխան առանցքներով հարաբերական տեղափոխությունները ներկայացնում են որպես երկու բաղադրիչների զուգորդման արդյունք: Առաջին բաղադրիչը կախված է միայն համընթաց դեֆորմացիաներից, իսկ երկրորդը ներկայացնում է պինդ ամբողջական մարմնի փոքր φ_x , φ_y , φ_z պտույտները x , y և z առանցքների նկատմամբ:

Այժմ ընդունելով, որ $x_0(t)$ և $y_0(t)$ տեղափոխությունները պայմանավորված են x և y առանցքների ուղղությամբ տարածվող լայնական սեյսմիկ ալիքներով, կարող են ներկայացնել

$$\begin{aligned} x_0(y, t) &= F_1(y \pm v_s t) \\ y_0(x, t) &= F_2(x \pm v_s t) \end{aligned} \quad (2.51)$$

որտեղ v_s – տվյալ միջավայրում (գրունտում) լայնական սեյսմիկ ալիքի տարածման արագությունն է, իսկ $x_0(y, t)$ և $y_0(x, t)$ տեղափոխությունները, ինչպես տեսանք առաջին գլխում, բավարարում են ալիքային հավասարումներին

$$v_s \frac{\partial^2 x_0}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 x_0}{\partial t^2} = 0, \quad v_s \frac{\partial^2 y_0}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2} = 0,$$

(2.51) արտահայտությունից կունենանք

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_0}{\partial y} &= F'_1(y \pm v_s t), & \frac{\partial y_0}{\partial x} &= F'_2(x \pm v_s t), \\ \frac{\partial x_0}{\partial t} &= \pm v_s F'_1(y \pm v_s t), & \frac{\partial y_0}{\partial t} &= \pm v_s F'_2(x \pm v_s t), \end{aligned}$$

Հետևաբար երկրի մակերևութին ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ φ_z պտույտի համար ըստ (2.49) համակարգի վերջին հավասարման կունենանք

$$\begin{aligned} \varphi_z(t) &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial y_0}{\partial x} - \frac{\partial x_0}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} [F'_2(x \pm v_s t) - F'_1(y \pm v_s t)] = \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{v_s} \frac{\partial y_0}{\partial t} - \frac{1}{v_s} \frac{\partial x_0}{\partial t} \right] = \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial y_0}{\partial t} - \frac{\partial x_0}{\partial t} \right] \end{aligned} \quad (2.52)$$

Նման ձևով մյուս երկու ուղղություններով (x և y հորիզոնական առանցքների ուղղահայաց) պտույտների համար կունենանք

$$\varphi_x(t) = \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial z_0}{\partial t} - \frac{\partial y_0}{\partial t} \right], \quad \varphi_y(t) = \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial x_0}{\partial t} - \frac{\partial z_0}{\partial t} \right] \quad (2.53)$$

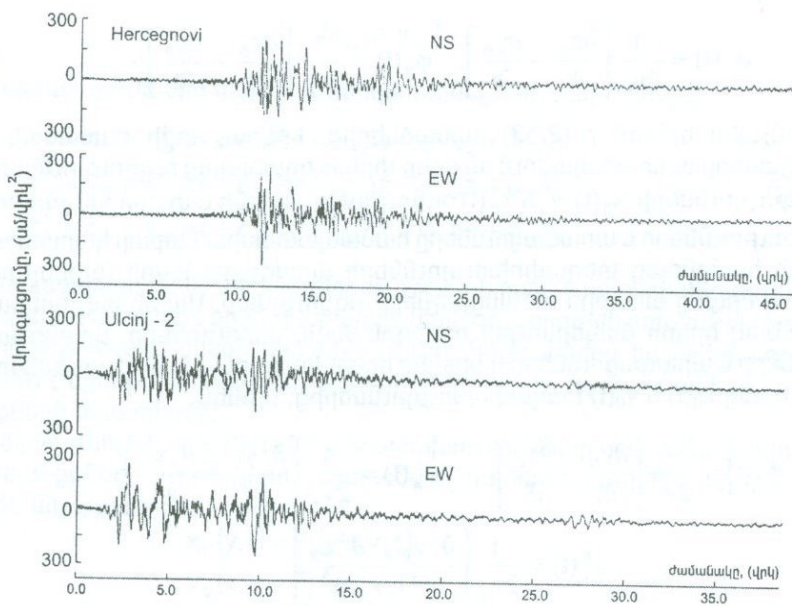
Ինչպես երևում է (2.53) բանաձևերից, երկրաշարժի ժամանակ գետնի պտույտները արտահայտվում են երեք փոխուղղահայաց ուղղություններով նրա արագությունների $x'_0(t)$, y'_0 և $z'_0(t)$ օգնությամբ: Գետնի պտտական շարժումների արագությունները և արագացումները համապատասխանաբար կարտահայտվեն գետնի համընթաց տեղափոխությունների արագացումների (աքսելերոգրամների) և նրանց առաջին ածանցյալների օգնությամբ: Այսպիսով, երկրաշարժի ժամանակ երկրի մակերևույթի հորիզոնական պտույտները, նրանց արագությունները և արագացումները կախված երկու հորիզոնական ուղղությամբ գետնի համընթաց $x_0(t)$ և $y_0(t)$ տեղափոխություններից, կլինեն

$$\begin{aligned} \varphi_z(t) &= \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial y_0}{\partial t} - \frac{\partial x_0}{\partial t} \right], & \varphi'_z(t) &= \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 x_0}{\partial t^2} \right], \\ \varphi''_z(t) &= \frac{1}{2v_s} \left[\frac{\partial^3 y_0}{\partial t^3} - \frac{\partial^3 x_0}{\partial t^3} \right] \end{aligned} \quad (2.54)$$

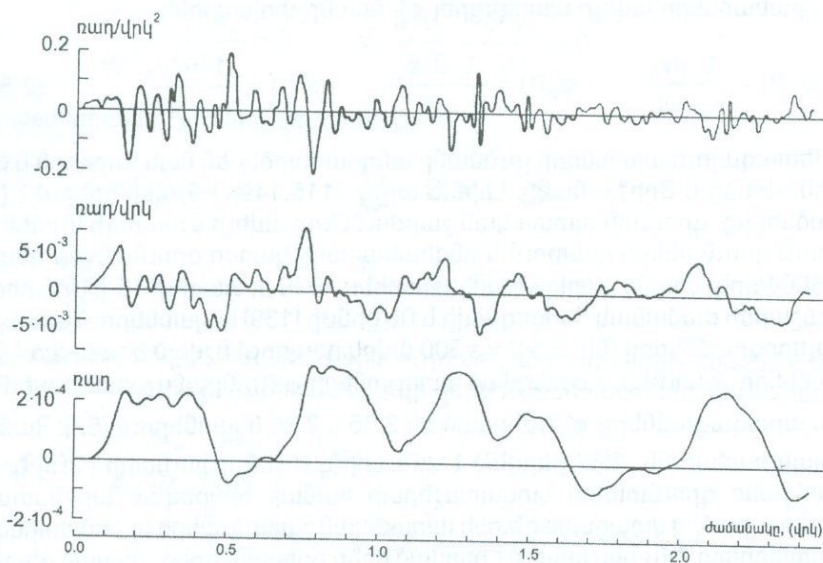
Գետնի պտտական շարժումների բացահայտման վերը շարադրված եղանակը առաջարկել է Ն.Նյունարկը [122]: Ընդ որում ընդունելով, որ երկու հորիզոնական x_0 և y_0 տեղափոխությունները քիչ են տարբերվում իրարից, մա (2.54) բանաձևերը ավելի պարզեցրել է և նրանք փոխարինել

$$\varphi_z(t) = \frac{1}{v_s} \frac{\partial y_0}{\partial t}, \quad \varphi'_z(t) = \frac{1}{v_s} \frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}, \quad \varphi''_z(t) = \frac{1}{v_s} \frac{\partial^3 y_0}{\partial t^3} \quad (2.54a)$$

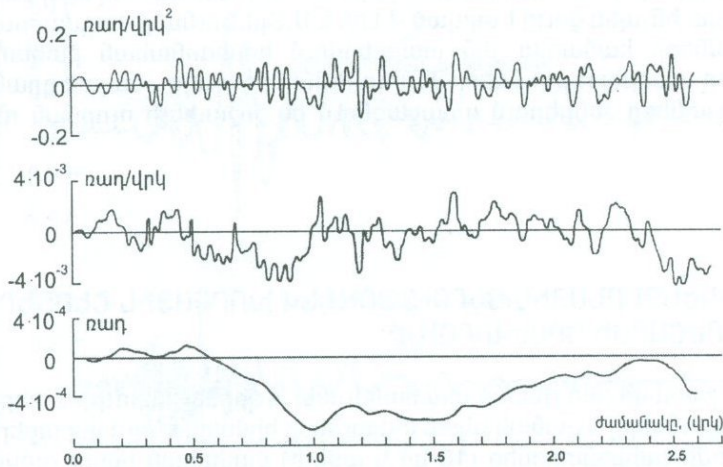
Հետագայում այս խնդրի լուծմանը անդրադարձել են մաս Կորոնին և Շինո-Ջակին, Վոնգը և Տրիֆունակը, Լիին և այլոք [115, 149]: Ինչպես երևում է (2.54) բանաձևերից, գրունտի պտտական շարժումները ավելի նշմարելի կլինեն շատ փափուկ գրունտների դեպքում և ընդհակառակը կարծր գրունտների դեպքում ($v_s \geq 800$ մ/վրկ) նրանց կարելի է արհամարհել: 1979 թ. ապրիլի 15-ի Մոնտեգրոյի երկրաշարժի ժամանակ Հերցեգոնովի և Ուլցինժի [139] կայաններում գրանցված աքսելերոգրամներով (նկ. 2.34) $v_s = 300$ մ/վրկ դեպքում նշված եղանակով (2.54) բանաձևերի օգնությամբ ստացված պտույտները $\varphi_z(t)$, նրանց արագությունները $\varphi'_z(t)$ և արագացումները $\varphi''_z(t)$ բերված են 2.35 և 2.36 նկարներում [52]: Համեմատության համար նկ. 2.37 բերված է Վ.Ու.Լիի և Մ.Դ.Տրիֆունակի [115] կողմից անհամասեռ գրունտային ստվարաշերտի համար սինթեզած արհեստական աքսելերոգրամից ստացված գետնի պտտական շարժումների կինեմատիկական պարամետրերը: Ինչպես երևում է բերված երեք օրինակներից, չնայած գետնի արագացման հորիզոնական բաղադրիչների զգալի մեծություններին՝ 254 սմ/վրկ² և 221 սմ/վրկ² Հերցեգոնովի, 227 սմ/վրկ² և 181 սմ/վրկ² Ուլցինժի, և 470 սմ/վրկ² (սինթետիկ աքսելերոգրամ) գետնի պտտման անկյունները կազմում են $3 \cdot 10^{-4}$ ռադիան, $7 \cdot 10^{-4}$ ռադիան և $10 \cdot 10^{-4}$ ռադիան, որոնք չեն հասնում մինչև անգամ



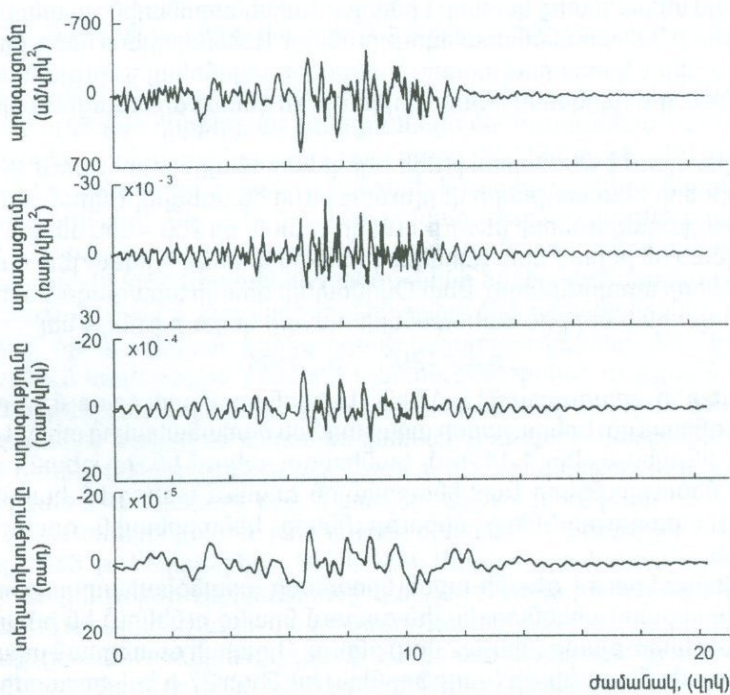
Նկ. 2.34 1979թ. ապրիլի 15-ի Սոնտեգրոյի երկրաշարժի հորիզոնական կոմպոնենտների արձանագրումները, գրանցված Hercegnovi և Ulcinj-2 կայաններում:



Նկ. 2.35 Գրունտի պտտական շարժումների կինեմատիկական պարամետրերը, ստացված Զերցեգնովի կայանում գրանցված գրունտի հորիզոնական կոմպոնենտների շարժումներից (սկզբնական ուժեղ ցնցումների փուլում [52]):



Նկ. 2.36 Գրունտի պտտական շարժումների կինեմատիկական պարամետրերը, ստացված Ուլցինժի կայանում գրանցված գրունտի հորիզոնական կոմպոնենտների շարժումներից (սկսնական ուժեղ ցնցումների փուլում [52]):



Նկ. 2.37 Գրունտի սինթետիկ քսելերոգրամը և նրանից ստացված գրունտի պտտական շարժման պարամետրերը [115]:

1⁰-ին: Ինչ վերաբերում է պտտական շարժումների գերակշռող պարբերություններին, ապա ինչպես ցույց է տրված Վ.Լիի և Մ.Տրիֆունակի հոդվածում, նրանց մեծությունները համարյա չեն տարբերվում հորիզոնական բաղադրիչների գերակշռող պարբերությունների մեծություններից: Բայց, չնայած դրան, գետնի այդ պտույտները շենքերում առաջացնում են շոշափելի ոլորման դեֆորմացիաներ:

2.12 ԷՊԻԿԵՆՏՐՈՆԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ԵՎ ԽՈՐՔԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐՈՒՄ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ԴՐՍԵՎՈՐՈՒՄԸ

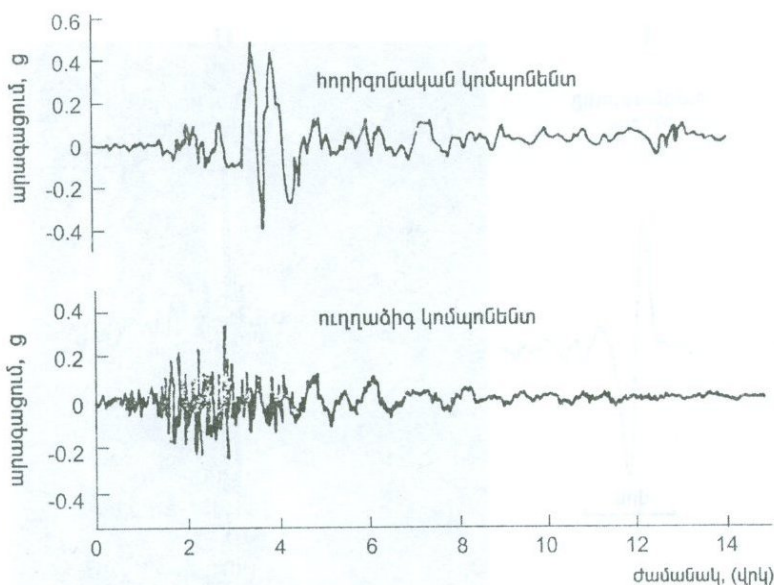
Վերը շարադրված գետնի տատանումների օրինաչափությունների մասին դատողությունները և քանակական տվյալները հիմնականում վերաբերվում էին երկրաշարժի էպիկենտրոնից (10 կմ և ավելի) բավական հեռու գտնվող տարածքներին: Բայց, փոքր չափերի սեյսմոակտիվ երկրների համար, ինչպիսին է նաև Հայաստանը, շատ հավանական է, որ երկրաշարժի էպիկենտրոնը գտնվի հենց բնակավայրի կամ մեծ պատասխանատվության արդյունաբերական համալիրի տարածքում, ինչպես դա տեղի ունեցավ 1988 թ. դեկտեմբերի 7-ին Սպիտակում: Այս տեսակետից կարևոր է իմանալ էպիկենտրոնային շրջանում երկրաշարժի դրսևորման առանձնահատկությունները: Ամենակարևոր մեծությունը, որը հիմնական դեր է կատարում կառուցվածքների սեյսմոկայունության ապահովման գործում, դա էպիկենտրոնային տիրույթում գետնի արագացումների մեծությունն է:

Ինչպես նշում է Օկոմոտոն [125], էպիկենտրոնային տիրույթում 14 ($M=6-8$) երկրաշարժերի հետևանքների վերլուծությունը հանգեցրել է նրան այն մտքին, որ գետնի արագացումների մեծությունները հասել են 200 – 600 սմ/վրկ²: Այդպիսի համոզման են բերում նաև էպիկենտրոնային գոտում հազվադեպ հաջողված գրանցումների արդյունքները: Ըստ Օկոմոտոյի գետնի արագացումների մեծությունների վերին և ներքին սահմանների համար կարելի է ընդունել

$$a_{\max}=12M^2, \quad a_{\min}=6M^2$$

որտեղ a գետնի արագացումն է (սմ/վրկ²) էպիկենտրոնային գոտում, M -ը՝ երկրաշարժի մագնիտուդը: Երկրաշարժի առաջացման ժամանակակից տեսական եղանակները, ինչպես նշվեց 1.14-ում, կանխագուշակում են, որ գետնի արագացումների մեծությունները էպիկենտրոնային գոտում կարող են հասնել մինչև 1g-ի, իսկ արագությունների մեծությունները կենտրոնային գոտում մինչև 100 սմ/վրկ:

Ինչ վերաբերում է գետնի արագացումների առանձնահատկություններին, ապա սովորաբար էպիկենտրոնային գոտում նրանք ունենում են իմպուլսային կարճատև տևողությամբ (մինչև 2 վրկ) բնույթ: Այդպիսի գրանցման տիպիկ օրինակ է 1966 թվի Պարկֆիլդի (Կալիֆորնիա) հունիսի 27-ի երկրաշարժի ($M=5.6$) գրանցումը, որը ցույց է տրված նկ. 2.38-ում: Էպիկենտրոնային գոտում գետնի ուղղաձիգ արագացումների մեծությունները համաչափ են հորիզոնականների մեծություններին և կարող են մինչև անգամ գերազանցել նրանց: Բացի դրանից



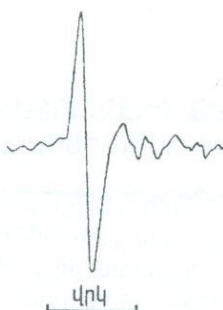
Նկ. 2.38 Պարկֆիլդի 1966թ. հունիսի 27-ի երկրաշարժի աքսելերոգրամը [40]:

կախված գրանցման վայրի՝ էպիկենտրոնի և խզվածքի տարածման ուղղության նկատմամբ ունեցած դիրքից, արագացումների մեծությունները կարող են կամ շատ մեծ լինել, կամ ընդհակառակը՝ շատ փոքր: Էպիկենտրոնային տիրույթում երկրաշարժը ուղեկցվում է կտրուկ լանջերի և գետերի ափերի առանցքներով զգալի սողանքներով: Նկ. 2.39 ցույց են տրված տարբեր ուժգնության երկրաշարժերի ժամանակ էպիկենտրոնային գոտում գետնի սեյսմոգրամների տիպերը ըստ Ռուստանովի [46]: Մի կարևոր հանգամանք է: Էպիկենտրոնային գոտում գետնի արագացումները բնութագրվում են ավելի մեծ հաճախականություններով (3-15 հերց), որոնք, չնայած իրենց զգալի ամպլիտուդաների, մեծ վտանգ չեն ներկայացնում սովորական շենքերի և կառուցվածքների ավերման համար և հեռավորությունից կախված (մի քանի կմ) շատ արագ մարվում են: Այդպիսի արագացումները կարող են պատճառ դառնալ շատ կոշտ կառույցների փլուզման կամ գերեզմանաքարերի տապալման ու զգալի պտույտի համար, ինչպես ցույց է տրված 2.40 նկարում, որը նկատվել է Սպիտակում [152]:

Էպիկենտրոնային գոտում ամենաշատ քանակով գործիքային տվյալներ են ստացվել 1986 թ. հոկտեմբերի 10-ին Սան-Սալվադորի երկրաշարժի ժամանակ [85]: Երկրաշարժի էպիկենտրոնը գտնվել է քաղաքի շրջակայքում 8 կմ խորության վրա: Երկրաշարժի մագնիտուդը հասել է $M_s=5.4$, ինտենսիվությունը VIII-IX բալի ըստ MM սանդղակի, գետնի ամենամեծ արագացումը հորիզոնական ուղղությամբ՝ 0.72g, ուղղաձիգ ուղղությամբ՝ 0.46g: Գետնի տատանումների տևողությունը 2-5 վրկ, գերակշռող պարբերությունների մեծությունները՝ 0.2-0.85 վրկ: Երկի այս երկրաշարժը միակն էր, որի դեպքում էպիկենտրոնային գոտում մի շարք տեղերում գրանցվել են գետնի տատանումները: Երկրաշարժի էպիկենտրոնի

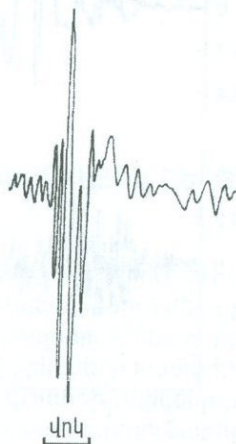
I

ուժգնությունը
VII բալ



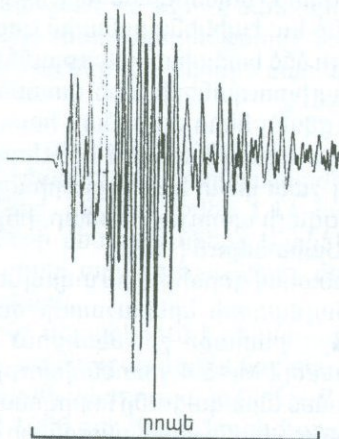
II

ուժգնությունը
VII-VIII բալ



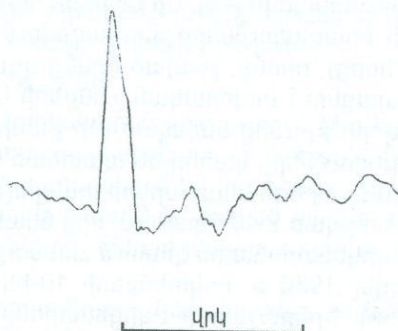
III

ուժգնությունը
VI-VII բալ

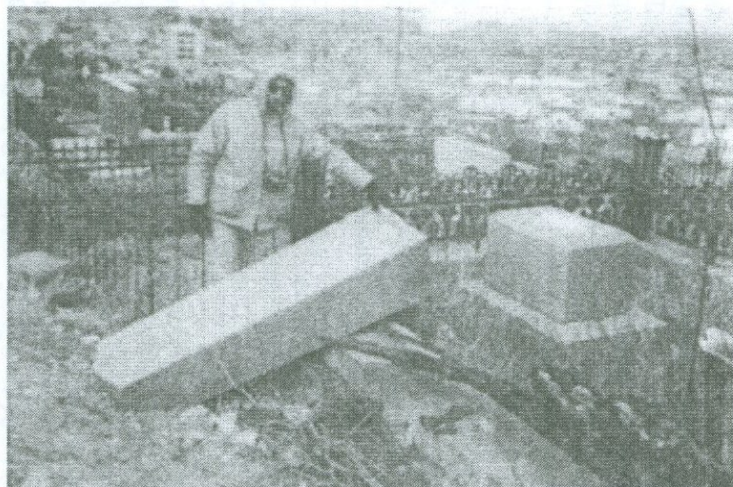


IV

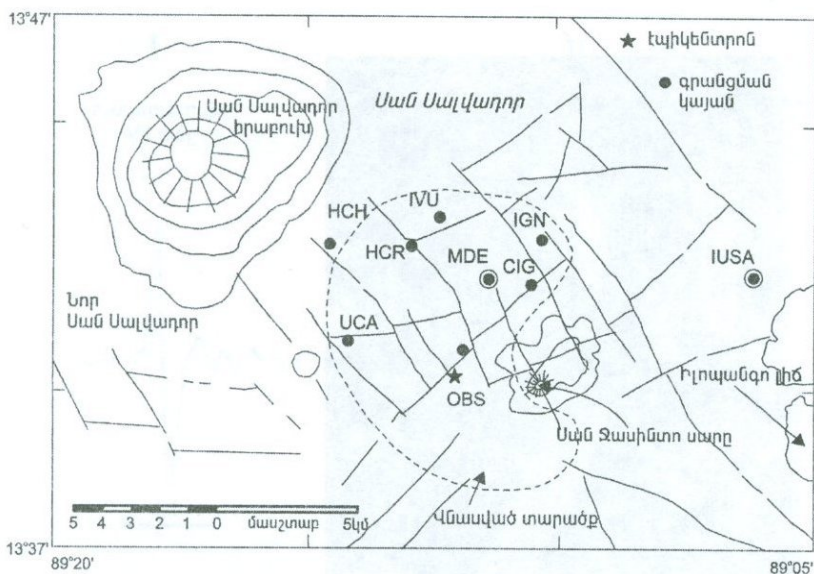
ուժգնությունը
VI բալ



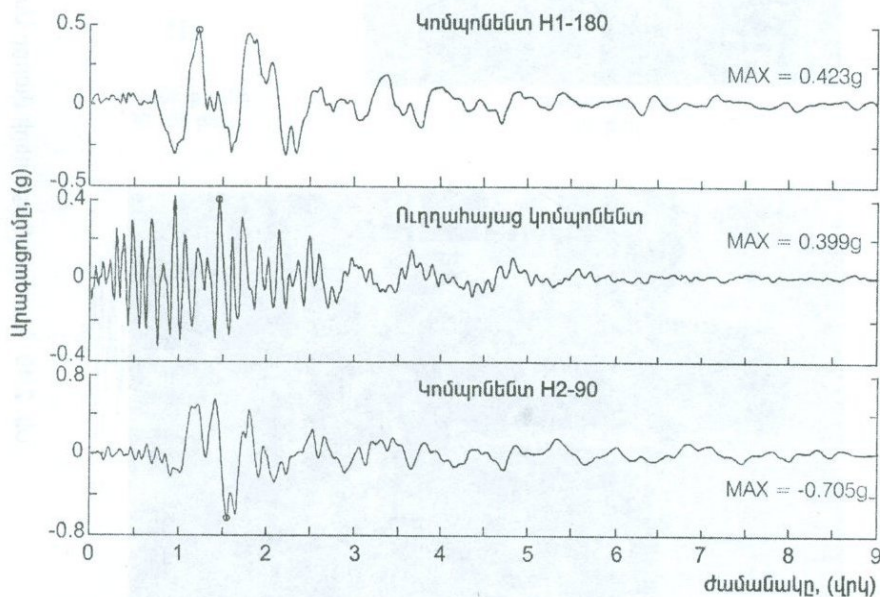
Նկ. 2.39 Էպիկենտրոնային գոտում գրունտի տեղափոխությունների
(սեյսմոգրամների) տիպեր [46]:



Նկ. 2.40 Գերեզմանաքարերի վարքը Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ [152]:



Նկ. 2.41 1986թ. հոկտեմբերի 10-ի Սան-Մալվադորի երկրաշարժը գրանցած կայանների տեղաբաշխումը [85]:



Նկ. 2.42 CIG կայանում գրանցված երկրաշարժի աքսելերոգրամը [85] (Սան-Մալվադոր, 10 հոկտեմբեր, 1986):

դիրքը և գրանցման 7 կայանների դասավորությունը ցույց է տրված 2.41 նկարում: Երկրաշարժի ժամանակ գրանցված գետնի տատանումների և նրանց ինտեգրման միջոցով ստացված գետնի արագությունների և տեղափոխությունների մեծությունները բերված են 2.9 աղյուսակում: Նկար 2.42 ցույց է տրված CIG կայանում գրանցված եռկոմպոնենտ աքսելերոգրամը: Ինչպես երևում է նկարից, արագացման ուղղաձիգ կոմպոնենտը հորիզոնականի նկատմամբ զգալի փոքր գերակշռող պարբերություն ունի:

Աղյուսակ 2.9

Գրանցման կայանի պայմանական անունը	Էպիկենտրոնային հեռավորությունը (կմ)	հորիզոնական կոմպոնենտներ						ուղղաձիգ կոմպոնենտ			Գրունտային պայմաններ (ներկայից զառիթափությունը T ₀ վրկ)
		1			2						
		A (g)	ν (սմ/վրկ)	D (սմ)	A (g)	ν (սմ/վրկ)	D (սմ)	A (g)	ν (սմ/վրկ)	D (սմ)	
OBS	0.9	0.66	-	-	0.54	-	-	0.37	-	-	
UCA	3.8	0.39	33	6.2	0.43	49	11.6	0.24	9.3	1.7	0.48; 0.54
CIG	4.3	0.42	62	15	0.71	80	12	0.40	11	2.3	0.65; 0.25
HCR	4.5	0.34	32	4.2	0.47	45	13	0.26	13	2.5	0.46; 0.50
IVU	5.3	0.37	39	9.8	0.72	55	7.1	-	-	-	0.2; 0.50
IGH	5.7	0.54	72	10	0.4	56	18	0.46	18	2.1	0.4+0.7; 0.85
HSH	6.2	0.22	18	4.6	0.32	26	4.4	0.15	7.3	1.4	0.23; 0.55

Ուժեղ երկրաշարժի ($M > 6$) ժամանակ էպիկենտրոնային գոտում առաջանում են երկրի կեղևի խզվածքներ, որոնք հաճախ հասնում են մաս երկրի մակերևույթ: Շատ հետազոտողներ գտնում են, որ երկրաշարժի ժամանակ առաջացած խզվածքները կապված են երկրաբանական դարաշրջաններում կազմավորված ընդհանուր երկրաբանական բեկվածքներով: Խզվածքները երկրի մակերևույթի վրա առաջացնում են այսպես կոչված դիսլոկացիաներ, ինչպես հորիզոնական, այնպես էլ ուղղաձիգ ուղղություններով: Խզվածքի երկարությունը և տեղաշարժի չափը կախված են երկրաշարժի մագնիտուդից: Նրանց մեծությունները կարելի է որոշել հետևյալ էմպիրիկ բանաձևերով [40]:

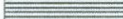
$$\lg L = 1.32M - 8$$

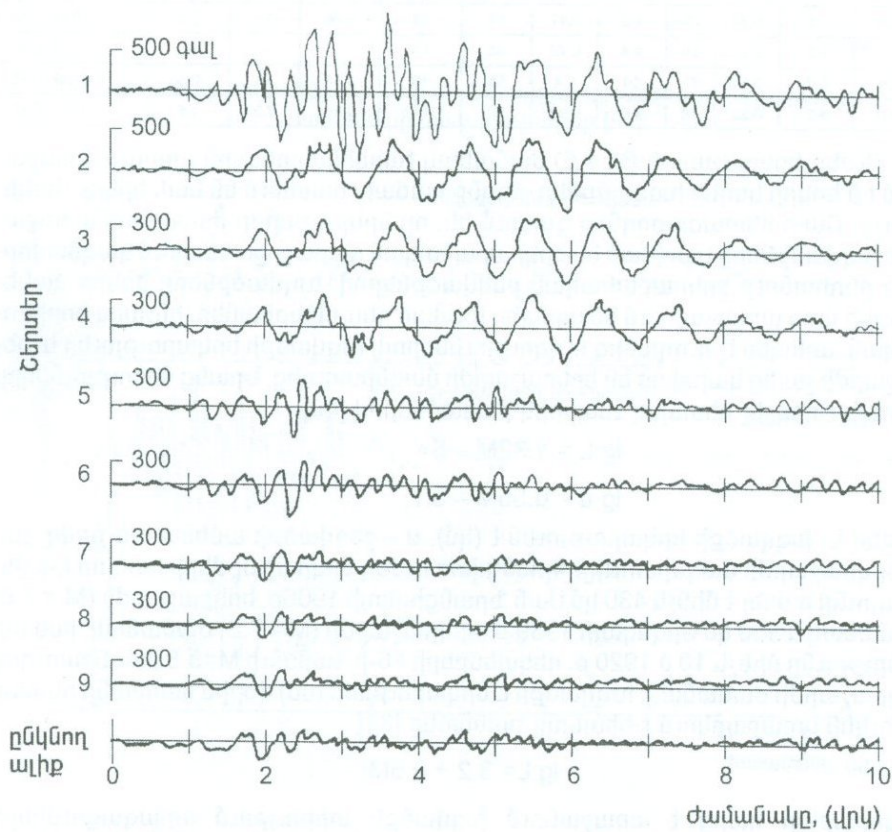
$$\lg u = 0.55M - 3.7$$

որտեղ L - խզվածքի երկարությունն է (կմ), u - շեղվածքի ամենամեծ չափը (մ), M - երկրաշարժի մագնիտուդը: Գրանցված ուժեղ երկրաշարժերի համար L -ի մեծությունը հասել է մինչև 430 կմ Սան Ֆրանցիսկոյի 1906թ. երկրաշարժի ($M = 7.8$) ժամանակ և 350 կմ Երզնկայի 1939 թ. երկրաշարժի ($M = 7.8$) ժամանակ, իսկ u -ի մեծությունը մինչև 10 մ 1920 թ. դեկտեմբերի 16-ի Չանսուի $M=8.5$ մագնիտուդով երկրաշարժի ժամանակ: Խզվածքի L երկարության (սմ) վերին սահմանի համար Օցուկին առաջարկում է հետևյալ բանաձևը [31]

$$\lg L = 3.2 + 0.5M:$$

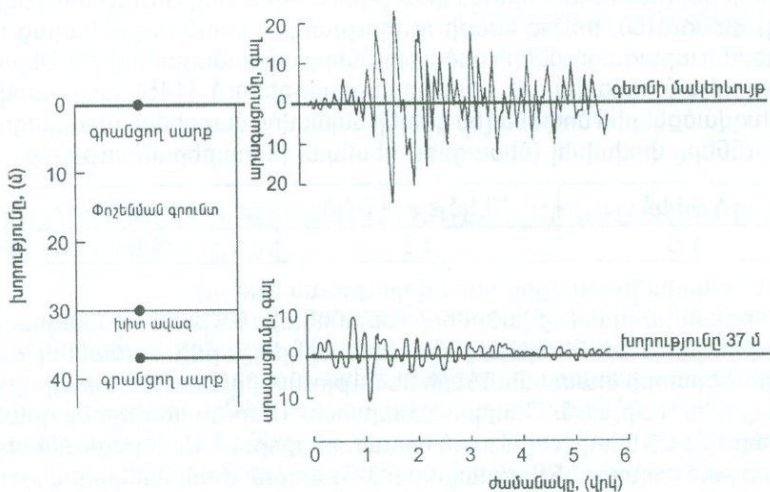
Սովորաբար հարց է առաջանում խզվածքի տիրույթում արագացումների մեծությունների մասին: Չնայած այդպիսի տիրույթում երկրաշարժերի գրանցման մեծ հազվադեպությանը, այնուամենայնիվ որոշ մասնագետների տեսական

Շերտեր		ρ տ/մ ³	v_s մ/վրկ	H մ
	1	2.0	50	3
	2	2.0	200	5
	3	2.0	250	10
	4	2.0	80	5
	5	2.2	600	10
	6	2.2	300	5
	7	2.2	600	10
	8	2.2	1000	15

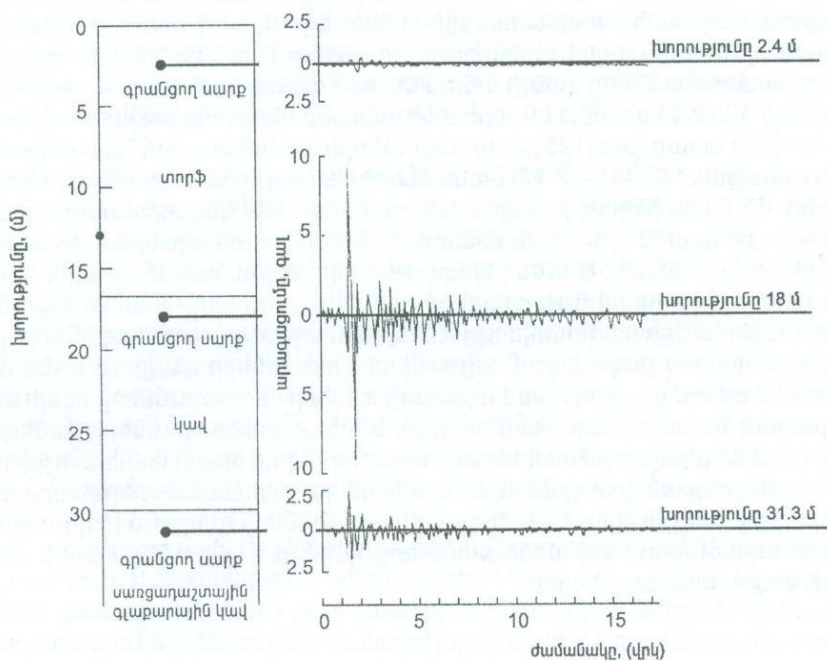


Նկ. 2.43 Ընկնող 100 գալ արագացմամբ ալիքից տարբեր խորություններում արագացումների բաշխումը [40]:

ա



բ



Նկ. 2.44 Գետնի արագացման գրանցումները երկրի մակերևույթի վրա և խորքային գրունտներում թույլ տեղական երկրաշարժի ժամանակ

ա. ստացված Ուրայասիիում, ճապոնիա [40, 49]

բ. ստացված Յունիոն-Բեյում, ԱՄՆ, [49]:

դրույթների վերլուծության հիման վրա (Բրուն, Ռիխարդ, Արչուլետա, Ակի, Տրիֆունակ) գտնում են, որ խզվածքի ուղղությամբ և նրան ուղղահայաց ուղղությամբ գետնի արագացումների մեծությունները անհամաչափելի են: Սեյսմական շինարարության ամերիկյան որոշ փաստաթղթերում [145] առաջարկվում է ակտիվ խզվածքներին մոտենալիս գետնի սպասվող մաքսիմալ արագացումների մեծությունները փոփոխել (մեծացնել) հետևյալ հարաբերակցությամբ՝

$\Delta \leq 5$ կմ	$10 \text{ կմ} \geq \Delta > 5 \text{ կմ}$	$\Delta > 10 \text{ կմ}$
1.5	1.2	1.0

որտեղ Δ - ակտիվ խզվածքից հեռավորությունն է կմ-ով:

Ստորգետնյա կառուցվածքների սեյսմոկայունության տեսակետից մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև երկրաշարժի ժամանակ գրունտի խորքային շերտերի տատանումների մեծությունները: Առաջին այդպիսի տվյալներ ստացել են Դ.Միլն և Ֆ.Օմորին, Տ.Սախտան, Ս.Սուզակին, որոնք գրանցել են երկրաշարժը 3-20 մետր խորության հորատանցքերում: Արագացումների մեծությունները ըստ խորության փոքրացել են 3-5 անգամ: Ժամանակակից ստորգետնյա հատուկ սեյսմոգրաֆների օգնությամբ մինչև 150 մ խորության վրա ստացված գրանցումների վերլուծությունները ցույց են տվել, որ սկզբնական փուլում երկրի մակերևույթի վրայի գրանցման և խորքային շերտերում գրանցման միջև գոյություն ունի ժամանակի առանցքի ոչ մեծ շեղում, բայց հետագա մոմենտներին մակերևութային շերտի առկայությունը դառնում է որոշիչ և երկրի մակերևույթի վրա տատանումները զգալի աճում են, իսկ գերակշռող տարբերությունները մեծանում: Նկ. 2.43 բերված է 9 շերտանի անհամասեռ ստվարաշերտում Խ.Կորոյաշի կողմից ստացված [125] արագացումների փոփոխությունները ըստ ժամանակի (ստացված (2.41) - (2.47) բանաձևերի օգտագործմամբ): Ինչպես երևում է նկարից, 63 մետր խորության վրա ընկնող ալիքի 100 գալ արագացումը երկրի մակերևույթի վրա (2 - շերտում) մեծանում է երեք անգամ: Այս երևույթը նկատվել է ինչպես թույլ, այնպես էլ ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ: Ժայռային գրունտների դեպքում խորքային շերտերի տեղափոխությունները և արագացումները երկրի մակերևույթի տեղափոխություններից և արագացումներից տարբերվում են ավելի պակաս չափով, քան ալյուվիալ գրունտների դեպքում և չեն գերազանցում 2 անգամից, ընդ որում արագացումների մեծությունները դեպի խորքը փոքրանում են ավելի մեծ չափերով, քան տեղափոխությունների մեծությունները: Նկ. 2.44 բերված են տեղական երկրաշարժերից երկրի մակերևույթի վրա և տարբեր խորության վրա գրանցված մասնիկների շարժման աքսելերոգրամները: Այսպիսով, թե ալյուվիալ և թե ժայռային գրունտների դեպքում խորքային շերտերում արագացումների մեծությունները կարելի է ընդունել 1.5-2.5 անգամ ավելի փոքր, քան երկրի վրա:

3.1 ՀԱՄԱՌՈՏ ԱԿՆԱՐԿ ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԼԵՌՆԱՇԽԱՐՀՈՒՄ ՏԵՂԻ ՈՒՆԵՑԱԾ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Հայկական լեռնաշխարհը, որը հիմնականում համընկնում է պատմական Հայաստանի հետ, ինչպես նաև Անատոլիական բարձրավանդակը և Կովկասյան լեռնաշղթան միասին կազմում են երկրագնդի երկրաշարժավտանգ Ալպիական (Եվրասիական) գոտու այն հանգույցը, որը այդ գոտու արևմտյան մասը կապում է նրա արևելյանի՝ Ասիականի հետ: Հայկական լեռնաշխարհը ամբողջությամբ գտնվում է Եվրասիական և Արաբական երկու խոշոր լիթոսֆերային սալերի բախման գոտում: Այդ երկու «հսկաների» ճակատային բախումները տարածաշրջանում ստեղծում են հսկայական տեկտոնական լարվածություններ, որոնց իմպուլսային պարպումներն էլ առաջացնում են ուժեղ երկրաշարժեր: Երկհազարամյա ժամանակահատվածի պատմավիճակագրական տվյալները վկայում են, որ այս տարածաշրջանում, այդ թվում նաև ներկայիս ՀՀ տարածքում, տեղի են ունեցել բազմաթիվ ավերիչ երկրաշարժեր, որոնց հետևանքով զոհվել են տասնյակ հազարավոր մարդիկ, ավերվել են շատ բնակավայրեր ու խոշոր քաղաքներ:

Ալպիական գոտու կովկասյան ռեգիոնի տեկտոնական առանձնահատկությունների և երկրաշարժերի ծագման, օջախների տեղաբախշման հարցերին նվիրված կան բազմաթիվ գիտական մենագրություններ, հոդվածներ ու գիտական ժողովածուներ: Մասնավորապես նշված հարցերի մանրակրկիտ պատասխանները կարելի է գտնել Գ.Աբիխի, Ի.Մուշկետովի, Լ.Վարդանյանցի, Ե.Բյուսի, Դ.Պաֆֆենգուլցի, Ն.Կարապետյանի մենագրություններում: Տարածքի երկրաշարժամետության ու առանձին երկրաշարժերի ուսումնասիրություններին են նվիրված Ա.Նազարովի, Ա.Ասլանյանի, Ա.Գաբրիելյանի, Բ.Կարապետյանի, Վ.Ստեփանյանի, Հ.Սարգսյանի, Գ.Սիմոնյանի, Ց.Հակոբյանի, Շ.Հովհաննիսյանի, Ս.Բալասանյանի, Ս.Փիրուզյանի, Ա.Կարախանյանի, Ս.Նազարեթյանի, Ա.Բաղրամյանի, Է.Գեոդակյանի, Լ.Շահսուվարյանի, Ա.Ավանեսյանի, Թ.Բաբայանի, Պ.Ալոյանի, Ռ.Միրիջանյանի, Հ.Բաբաջանյանի, Լ.Հախվերդյանի, ինչպես նաև Գ.Գորշկովի, Ն.Կոնդորսկայայի, Ա.Վեդենսկայայի, Ն.Շեբալինի, Վ.Բունեի, Ա.Նիկոնովի, Վ.Սոլոնենկոյի, Ա.Ցխակայաի, Է.Դժիբլադձեի, Բ.Պապալաշվիլու, Ռ.Աղամիրզոեվի, Ջ.Սուլթանովայի և ուրիշ շատ շատերի աշխատություններում: Ներկայումս հետազոտություններ են տարվում ակտիվ խրզվածքների գոտիներում խորքային թաքնված ապարների ու շերտերի երկրաբանական ուսումնասիրությունների միջոցով հայտաբերել անցյալի չհիշատակված երկրաշարժերը, ինչպես նաև վերագնահատել ու ճշգրտել անցյալ երկրաշարժերի ուժգնությունները:

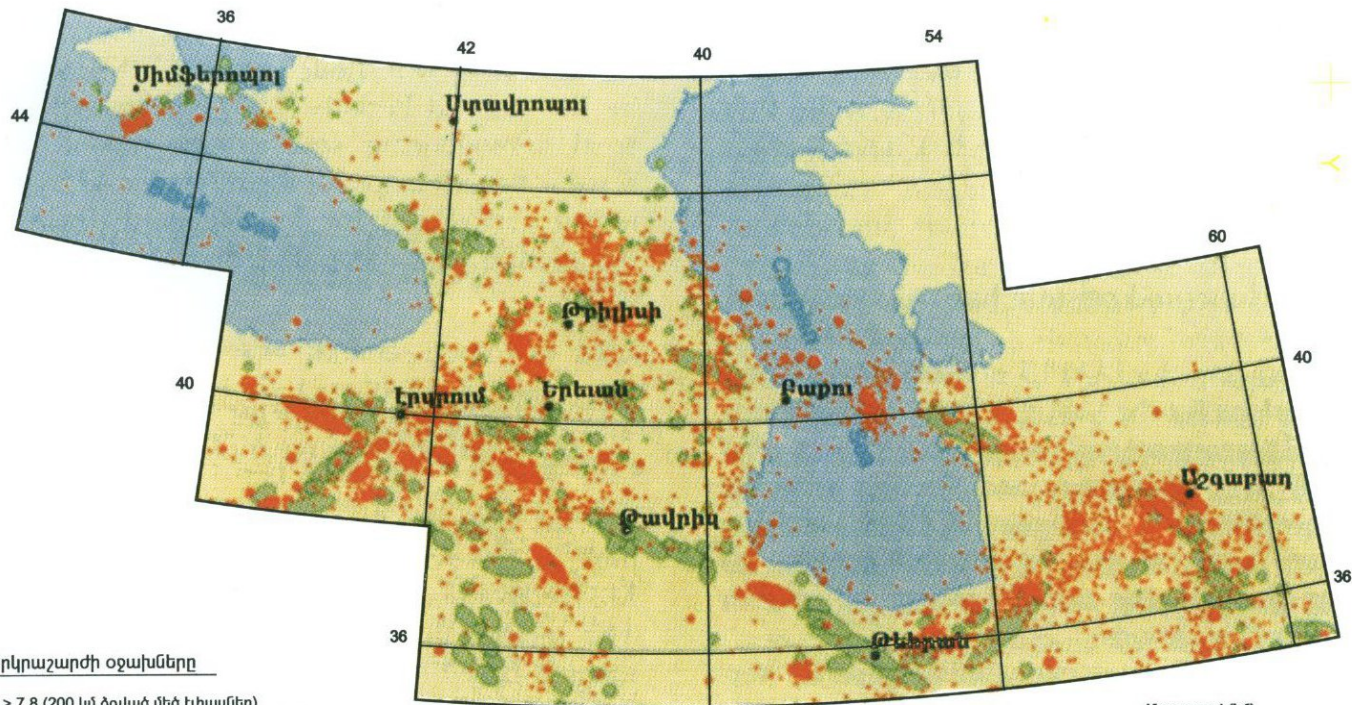
Առաջին լուրջ փորձը գրավոր վկայությունների հիման վրա Հայկական լեռնաշխարհում տեղի ունեցած երկրաշարժերի տարեգրությունը ստեղծելու

գործում պատկանում է հայագետ Կարապետ Կոստանյանցին, որը 1902 թվին Թիֆլիսում հրատարակեց «Շարժի տարեգութիունն հայոց մեջ» աշխատությունը: Վերջին երկու հազարամյակներում հայկական լեռնաշխարհում տեղի ունեցած երկրաշարժերի մասին հայ պատմիչների թողած հարուստ տեղեկատվական ամփոփիչ նկարագիրը (շուրջ 795 երկրաշարժեր) բերված է Վ.Ստեփանյանի մենագրության մեջ [13]: Որոշ նոր պատմական լրացումներ կան Լ.Քարսեղյանի գրքույկում [1]: Հայկական լեռնաշխարհի և նրա հարակից շրջաններում հնագույն շրջանից մինչև 1992 թվականը տեղի ունեցած 1487 (ներառյալ 1988թ. Սպիտակի) երկրաշարժի մասին լրիվ տեղեկատվական ցանկը (կատալոգ), որը ընդգրկում է երկրաշարժերի թվականները, էպիկենտրոնի կոորդինատները, օջախի խորությունը, մագնիտուդը և ուժգնությունը բերված են Ն.Կարապետյանի մենագրություններում [30]: Օտար լեզուներով՝ (անգլերեն, իտալերեն) հայկական լեռնաշխարհի և նրա հարակից տարածքների երկրաշարժերի մասին լրացանկեր կազմել են Ն.Ամբրասեյը և Ադամսը [72], Մ.Եղիայնը և Վ.Ղահրամյանը [152], Ե.Գուիդոբոնին և Գ.Տրախան [95], Մ.Բերբերյանը [78]: Նշված երկրաշարժերի մասին բազմաթիվ հետազոտություններ են հրատարակվել Վրաստանի, Իրանի, Թուրքիայի և Ադրբեջանի տասնյակ երկրաշարժագետների կողմից: Նրանք ամփոփված են նաև 1975 թվականին հրատարակված նախկին ԽՍՀՄ ուժեղ երկրաշարժերի և բոլորովին վերջերս ՀՀ ՄՊԱԾ կողմից կազմված նոր կատալոգներում:

Հայկական լեռնաշխարհի և նրա մերձակայքի երկրաշարժերի առաջացման հիմնական հայգույցներ համարվում են *Երզնկայի, Տարոն Վասպուրականի, Կարին Բասենյան, Կարս Շիրակյան, Արարատյան, Սյունիք-Զանգեզուրյան և Հարավ Զանգեզուրյան հանգույցները* [13]: Պատմական աղբյուրների հաղորդած տեղեկությունների համաձայն լեռնաշխարհում երկրաշարժերի առաջացման ամենաինտենսիվ հանգույցը հանդիսանում է Երզնկայի հանգույցը: Այս հանգույցը ամենաակտիվ սեյսմիկ տարածքն է նաև մեր օրերում: Երզնկա քաղաքը մի քանի անգամ (1045, 1166, 1287, 1668, 1939 թվականներին) հիմնովին ավերվել է երկրաշարժերից: Ընդ որում 1939 թ. տեղի ունեցած երկրաշարժի մագնիտուդը հասել է 8-ի, որը ամենահզորն է լեռնաշխարհում մինչև այսօր տեղի ունեցած երկրաշարժերից: Կործանիչ 7 և ավելի մագնիտուդայով երկրաշարժեր տեղի են ունեցել նաև Թավրիզում (1042, 1721, 1780 թթ.), Գանձակում (1139թ. որի ժամանակ փլվեց Ալիարակ լեռը, փակվեց գետակի ուղին ու առաջացավ նոր լիճ), Գանձակում (1482), Շենախիում (1667), Սալմասում (1930), Սպիտակում (1988), Մանջիլում (1990), Քութաիսիում (1991):

Մեր կարծիքով նշված բոլոր լրացանկներում բերված երկրաշարժերի մագնիտուդների և ինտենսիվությունների մեծությունների համադրությունները երկրաշարժերի հետևանքների մասին մեզ հասած պատմիչների և ականատեսների վկայագրությունների (հատկապես ռելիեֆի մեծ փոփոխությունների) հետ, ցույց են տալիս, որ այդ գնահատումների աստիճանը ավելի շուտ իջեցված է, քան բարձրացված: Այս անհամապատասխանության մասին նշում են Ա. Նիկոնովը [38], Ե.Գուիդոբոնին և Գ.Տրախան [95] և շատ ուրիշներ: Մեզ թվում է, մագնիտուդի և ինտենսիվության թերագնահատումը հատկապես վերաբերվում է 735 թ. Վայոց ձորի, 893 թ. Դվինի, 1139 թ. Գանձակի, 1827 թ. Ծաղկածորի, 1840 թ. Արարատի երկրաշարժերին:

Վերջին տարիներին ամբողջ աշխարհում զգալի մեծացել է ուշադրությունը երկրաշարժագիտության հարցերին: Այդ են վկայում տարբեր միջազգային հա-



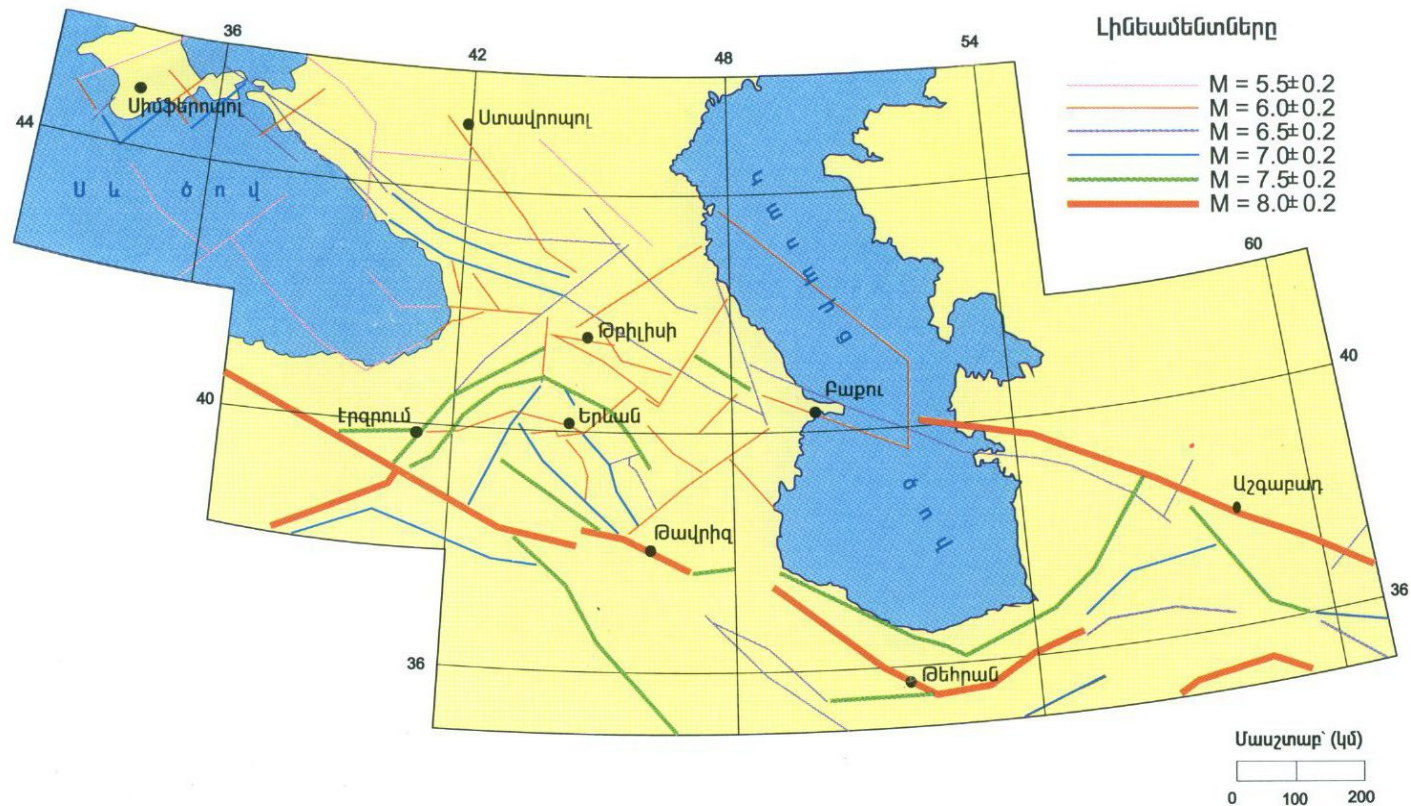
Երկրաշարժի օջախները

$M > 7.8$ (200 կմ ձգված մեծ էփյուսներ)
 $M = 7.5 \pm 0.2$ (100 կմ ձգված միջին էփյուսներ)
 $M = 7.0 \pm 0.2$ (50 կմ ձգված փոքր էփյուսներ)
 $M = 6.5 \pm 0.2$ մինչև $M = 3.5 \pm 0.2$ (փոքր տրամագծով շրջաններ)
 կանաչ գույնի - մինչ 1900 թ.
 կարմիր գույն - 1900թ. հետո

Մասշտաբ՝ (կմ)

0	100	200
---	-----	-----

Նկ. 3.1 Երկրաշարժի օջախների տեղաբաշխումը ըստ Կովկասյան փորձնական տարածաշրջանի հատուկ լրացուցակի [74]



Նկ. 3.2 Կովկասյան տարածքի երկրաշարժերի օջախային գոտիների լիցենամենտային մոդել [74]

սարակական կառույցների գիտակազմակերպչական նախաձեռնությունները: Մասնավորապես երկրաշարժի վտանգի գնահատման գործում զգալի առաջընթաց արձանագրվեց ՄԱԿ կողմից տարրերային աղետների հետևանքների նվազեցման տասնամյակի (1990 – 1999 թթ.) շրջանակներում իրականացված գիտահետազոտական աշխատանքների արդյունքում, որին մասնակցում էին աշխարհի երկրաշարժավտանգ բոլոր երկրների մասնագետները, այդ թվում նաև ՀՀ ՄՊԱԾ-ի մասնագետները: Ութամյա՝ 1992-1999թթ. արգասավոր աշխատանքներից հետո կազմվեց աշխարհի սեյսմիկ վտանգի գնահատման համընդհանուր քարտեզը, որ բերված է առաջին գլխում (նկ. 1.13): Համաձայն այդ նորագույն հետազոտությունների ամփոփագրի [74] Կովկասյան և հարակից տարածաշրջանի համար երկրաշարժերի օջախների տեղաբախշման, տարբեր մագնիտուդի երկրաշարժածին լինեամենտների և սեյսմիկ վտանգի քարտեզները բերված են 3.1-3.3 նկարներում:

3.2 ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ ՏԵՂԻ ՈՒՆԵՑԱԾ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԸ

Հայաստանի Հանրապետության տարածքում վերջին երկրու հազարամյակներում տեղի են ունեցել բազմաթիվ ուժեղ և ավերիչ երկրաշարժեր, որոնցից հիմնականների մասին վերը նշված լրացանկերի տվյալներով կազմված տեղեկությունները բերված են 3.1 աղյուսակում: Ստորև երկրաշարժագիտական գրականության տվյալների և պատմական հրապարակումների հիման վրա տրվում է որոշ երկրաշարժերի հետևանքների սեղմ նկարագրությունները:

1. Վայոց ձորի 735 թ. հուլիսի 21 – ի երկրաշարժը:

Երկրաշարժը տեղի է ունեցել Հարավ-Սևանյան և Դարալագյազի լեռնաշղթաների միջև ընկած հարթավայրում: Այն տևել է շուրջ 40 օր: Երկրի մանրերևութի վրա տեղի են ունեցել զգալի փոփոխություններ, լեռներում առաջացել են ճեղքվածքներ: 10 հազար մարդ է զոհվել՝ խորասույզ լինելով գետնի տակ, որի պատճառով զավառը կոչվեց Վայոց ձոր: Ստեփանոս Օրբելյան (13-րդ դար) Վայոց ձորի 735 թվականի երկրաշարժի մասին թողել է հետևյալ հիշատակումը [95].

«Ապա յանկարծակի եհաս ի վերուստ պատուհաս Տեառն. եւ կալեալ խաւար շօշափելի զկաւառն ամենայն զաւուրս 40, եւ շարժումն եւ դղրդումն սաստիկ. զի եռայր երկիրն անեղ դողացմամբ յանդնդոց եւ բարձրանայր մինչեւ ի վեր. եւ անդէն իբր զալիս ծովու փուլգանիւր. լերինք տապալէին, վէմք ի հիմանց քակտէին, տունք եւ ապարանք գեղեցիկք լինէին գերեզմանք բնակչաց. աղբիւրք խցեէին. գետ կորչնէին. եւ ամենայն տեղի երերէր տատանմամբ. եւ ծայրք մարդկեղեն բարբառոյ յանդնդոց եւ ի վերուստ յօդոց «Վայ ձոր, վայ ձոր». եւ կենդանւոյն ընկղմեցան ոգիք 10000 զորս գիտէին եւ թիւ արկին. եւ զանձանօթիցն ոչ ոք գիտէր զհամարն. յագաղս որոյ կոչեցաւ անուն կաւառին Վայոց ձոր.»

2. Դվինի 893 թ. մարտի 27-ի երկրաշարժը:

Երկրաշարժը տեղի ունեցավ գիշերը և վայրկյանների ընթացքում ավերեց Հայաստանի չքնաղ մայրաքաղաք Դվինը: Փլուզվեցին բազմաթիվ բնակարաններ, Աստվածաշեն եկեղեցին, տապավեցին պարիսպներ, պատվարներ ու սրբատեղեր: Քաղաքը մի ակնթարթում անապատի վերածվեց: Երկրի մակերևույթի վրա առաջացան մեծ ճեղքվածքներ և խորխորատներ: Ձուլվեցին 70000 մարդ: Թովմա Արծրունին (11 դար) հետևյալ նկարագրությունն է թողել Դվինի այս երկրաշարժի մասին. [95]

«Ի սորա յերրորդ ամի թագաւորութեանն ի վերայ Հայոց աստուածատուր բարկութեամբ անդնդաշարժ վրդովմամբք ներբագոյն խորոցն պատահեալ միմեանց սահանախաղաց դղողմամբ, հիմնաշարժ տապալմամբ, ներքսաղոյն երկիր թուլացեալ պնդափակ աղխեալ սանդարամետական սահմանին, բարկութեան հողմոց շնչեալ ընդ ջրոցն խաւարայնոց, ի կոհակս անդնդաքակս զքանձրայատակ երկրի գկարծր եւ զծանրալիւր անկշիռ անբացութիւնն տատանեալ, մինչ յերեսս երկրի ի վեր մղեալ հանդեպ քաղաքին Արտաշատու, որ բուր նորուն ասի, յորում շահաստանն Դուին, մարդախիտ պարսպաւոր պատնիշօք պատուարեալ եւ տուրեւառիկ վաճառականութեամբ եւ ազգի պղծութեամբ յափրեցեալ, յղփացեալ՝ զնա ի հիմանց տապալեալ. բերանաբաց դժոխսաբար լայնեալ զբերան իւր՝ յոգունց քան թէ սակաւուց արար վիժել յանդունդս, որոնց ոմանք եւ տունք նոցա գերեզմանք նոցին եղեն: Գունակ Կորխային բանակին յանդնդաքակ տունսն զբնակութիւնսն արարին, անխայեալ ի միմուռականն՝ ստրջացեալ նախ անդ ոչ անխայեալ առ քարեղէն սիրտ քաղաքացւոցն Դուինայ: Նա եւ տեղիք սրբութեանց տունք աղօթիցն զշարժմանն կիրս կրեալ, պատառմամբ որմաշարժ լինելով, որպէս յայնժամ ի մահուն Ոգիայ արքայի, յաւուրս Եսայեայ մարգարէի՝ ի ծայնէ սրովբէից շարժեալ տաճարին տեառն, մինչ բարձրանալ դրանդեացն: Որպէս եւ առ Ջաքարիալի մարգարէի շարժեալ մինչ ի լեառն Չիթնեաց: Եւ ասի լինել թիւ մարդկանն ապականելոց ի շարժմանէ՝ ոգի առաւել քան Հռ: Այս շարժումն սաստգոյն քան որ եղել յամս Ջաքարիայի Հայոց կաթողիկոսի, յետ է ամի գերութեանն Հայոց: Անդ հանդիպեալ լինէր եւ երանելի եպիսկոպոսն Գրիգոր Ռշտունեաց վսեմ. ոչ կարաց իւրայովքն գերծանել, իբրեւ յայնժամ աղօթաւ ի լեառն: Եւ նորայքն ոմանք ի նմին շարժմանէ գերեզմանացան ի նմին»:

3. Գառնիի 1679 թ. հունիսի 4-ի երկրաշարժը:

Երկրաշարժը տեղի է ունեցել առավոտյան: Այն Արարատյան գավառի ամենակործանիչ երկրաշարժերից էր: Կործանվել են Երևան քաղաքը, Քանաքեռը, Նորագավիթը, Նորագյուղը, Ձորագյուղը, Նորքը և շատ գյուղեր: Երկրաշարժը ցնցել է բավական մեծ տարածքներ՝ արևելքից-արևմուտք, հասել Սևանա լիճ, Էջմիածին ու Խոր-Վիրապ: Երկրաշարժը ուղեկցվել է ահռելի դողդոցով ու որոտով, հողմով ու փոշեբարձրացմամբ: Երկրաշարժի հետևանքով գետնի վրա առաջացել են լայն պատռվածքներ, քարածայրներ ճեղքվել են, քարափերը փլվել են ու լցվել հովիտները: Մի շարք աղբյուրներ փակվել են, այլ տեղերում սկիզբ են առնել նորերը, գետնի ճեղքվածքներից սև ջուր է դուրս նետվել: Ճանապարհները փակվել են: Փլուզվել են բազմաթիվ եկեղեցիներ և վանքեր, բնակարաններ, ապարանքներ, բերդեր, մեջիտներ, կամուրջներ: Տապալվել է Գառնի ամրոցի Տրդատաշեն չքնաղ տաճարը: Երկրաշարժի զոհ են դարձել 7600 մարդ:

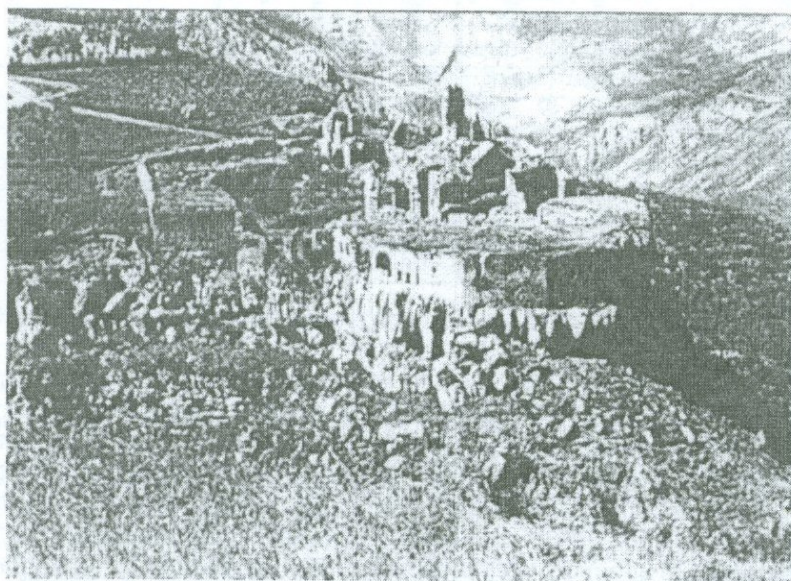
Երկրաշարժի ցնցումները (աֆտերշոկերը) շարունակվել են մինչև տարեվերջը, որոնցից ամենաուժեղները տեղի են ունեցել հունիսի 12–ին և սեպտեմբերի 8–ին: Այս երկրաշարժի մասին ավելի մանրամասն տեղեկությունները բերված են սույն գրքի առաջին մասում:

4. Արարատի 1840 թ. հուլիսի 2 – ի երկրաշարժը:

Այս երկրաշարժից, որը տեղի է ունեցել առավոտյան, ավերածությունները եղել են շատ մեծ տարածքներում՝ 5 հազար քառ. կմ., ընդգրկելով Երևան, Նախիջևան, Օրդուբադ, Բայազետ, Թավրիզ և Ալեքսանդրապոլ քաղաքները: Երկրաշարժի հետևանքով Մեծ Արարատի գագաթից մոտ 2 կմ բարձրությունից պոկվել են սառցակույտերով ու ձյունով ծածկված հսկայական ժայռակտորներ և լցվել են կիրճը՝ լիովին անհետացնելով Ակոռի գյուղը և Ս. Հակոբ եկեղեցին: Գետնի մակերևույթի վրա առաջացել են մինչև 3 մ բացվածք ունեցող ճեղքեր, որոնցից ժայթքել են ավազախառն ջրի մեծ շատրվաններ: Փակվել են մի շարք

Աղյուսակ 3.1
Հայաստանի Հանրապետության տարածքում տեղի ունեցած երկրաշարժերը

	Երկրաշարժի թվականը	Էպիկենտրոնի կոորդինատները		Օջախի խորությունը h (կմ)	Երկրաշարժի մագնիտուդը (M _s)	Երկրաշարժի ամենամեծ ուժգնությունը (բալերով)	Երկրաշարժի վայրը
		Լայնություն (աստ)	Երկրայնություն (աստ)				
1.	139	39.8	44.6	15	5.7	VIII	Արարատ
2.	21.07.735	39.7	45.5	16	6.5	VIII-X	Վյոց ձոր
3.	858	40	44.6	10	5.5	VII	Դվին
4.	893	40	44.6	5	6.0	IX	Դվին
5.	906	39.7	45.1	15	6.1	VIII	Վայոց ձոր
6.	972	40.3	44.1	8	5.4	VIII	Թալիշ
7.	1132	40.5	43.5	15	5.3	VII-VIII	Անի
8.	1319	40.4	43.6	16	5.9	VIII	Անի
9.	1530	42	45.4	15	5.7	VIII	Ալավերդի
10.	04.06.1679	40.1	44.7	15	6.3	IX-X	Գառնի
11.	08.10.1827	40.5	44.8	9	5.3	VIII	Ծաղկաձոր
12.	02.07.1840	39.7	44.4	18	6.7	IX	Արարատ(Ակոռի)
13.	18.01.1853	40.6	44.9	8	4.3	VII	Ծովագյուղ
14.	22.10.1926	40.7	43.7	7	5.7	VIII-IX	Գյումրի
15.	27.04.1931	39.2	46	20	6.3	VIII-IX	Զանգեզուր
16.	07.01.1937	40.1	44.1	10	4.6	VII	Երևան
17.	03.06.1949	40.2	44.2	5	4.5	VII	Բյուրական
18.	30.01.1967	41.0	44.3	7	5.1	VII	Սպիտակ
19.	09.06.1968	39.2	46.2	11	5.0	VII-VIII	Զանգեզուր
20.	07.12.1988	40.8	44.2	11	7.0	IX-X	Սպիտակ
21.	18.07.1997	41.1	44.9	4	4.4	VII	Նոյեմբերյան



Նկ. 3.4 Տաթևի վանքահամալիրը 1931թ. Ջանգեզուրի երկրաշարժից առաջ և հետո:

աղբյուրներ և բացվել տասնյակ նորերը: Փոփոխվել է Արաքս գետի հունը, արագությունը ու ջրի մակարդակը: Փլուզվել են հազարավոր բնակելի տներ, եկեղեցիներ, մզկիթներ, ջրաղացներ Երևանում, Նախիջևանում, Օրդուբադում, Եղեգնաձորում, Բայազետում և այլուր: Երկրաշարժի մարդկային զոհերի թիվը անցել է մեկ հազարից:

5. Գյումրիի 1926 թ. հոկտեմբերի 22 – ի երկրաշարժը:

Առաջին թույլ հարվածը տեղի է ունեցել ժամը 16-ն անց 4 րոպեին: Այնուհետև ժամը 16-ն անց 44 րոպեին տեղի է ունեցել առաջին ուժեղ հարվածը, իսկ ժամը 19-ն անց 59 րոպեին՝ գլխավոր հարվածը: Երկրաշարժը ընդգրկել է Ախուրյան գետի միջին մասին կից հատվածի շրջանները և նրա ամենաուժգին ազդեցությունը տարածվել է նեղ շերտով Գյումրի քաղաքից մինչև Ղազարպատ գյուղը: Այս շերտում երկրաշարժի գլխավոր հարվածին նախորդել է ստորգետնյա դողդոց, որի շնորհիվ մարդիկ նախօրոք հեռացել են տներից: Երկրաշարժից ամենից շատ տուժել է Գյումրի քաղաքը: Երկրաշարժից տուժել են 1500 տներ: Հատկապես ուժեղ տուժել են «միդիս» շարվածքով գյուղական տները: Քանդվել են նաև լավ կառուցված բնակելի տներ: Մի քանի արձաններ տեղաշարժվել են 10-20 սմ և պտտվել են իրենց առանցքի շուրջը: Ավերածություններ են եղել 44 գյուղերում: Գետնի մակերևույթին և բլուրների լանջերին առաջացել են ճաքեր: Երկրաշարժից զոհվել են 300 մարդ, իսկ 600 մարդ ծանր վիրավորվել են:

6. Ջանգեզուրի 1931 թ. երկրաշարժը:

Երկրաշարժը տեղի է ունեցել ապրիլի 27-ին ժամը 16 անց 31 րոպեին: Այս երկրաշարժի ուժեղ ցնցումների տիրույթը ընդգրկել է մոտ 100 հազար քառ. կմ տարածություն: Էպիկենտրոնում՝ Ախլաթյան խուրտս և Նասերվազ գյուղերի միջև երկրաշարժի ինտենսիվությունը հասել է IX բալի: Լրիվ կամ մասնակի կործանվել և խիստ տուժել են Հայաստանի և Նախիջևանի տարածքում գտնվող մոտ 100 գյուղեր: Եղել են նաև մարդկային զոհեր: Երկրաշարժից խիստ տուժել է Տաթևի վանքահամալիրը (նկ. 3.4):

7. Ջանգեզուրի 1968 թ. երկրաշարժերը:

Երկրաշարժեր տեղի են ունեցել հունիսի 9-ին և սեպտեմբերի 1-ին: Ամենամեծ ուժգնությունը հասել է VIII բալի ըստ MSK-64 սանդղակի: Երկրաշարժերը առաջացրել են որոշ վնասվածքներ՝ 1-2 հարկանի քարե կրող պատերով շենքերում, որոնք նախագծված են եղել առանց համասեյսմիկ միջոցառումների: Ժամանակակից նորմերով նախագծված շենքերը չեն տուժվել: Մարդկային զոհեր չեն եղել: Սեպտեմբերի 1-ի հարվածի ժամանակ գրանցվել են գետնի տեղափոխություններ, էպիկենտրոնային գոտում առաջացել են սողանքներ և ճեղքվածքներ (նկ. 3.5): Այս երկրաշարժը միակ երկրաշարժն է ՀՀ տարածքում, որը ենթարկվել է համակողմանի ուսումնասիրման: Նրա մասին հրատարակվել է հատուկ մենագրություն [42]:

3.3 1988 թ. ԴԵԿՏԵՄԲԵՐԻ 7-Ի ՍՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԸ

1988 թվականի դեկտեմբերի 7-ին Հայաստանի Հանրապետության հյուսիսային շրջաններում տեղի է ունեցել ավերիչ երկրաշարժ, որը հետագայում անվանվել է Սպիտակի երկրաշարժ: Երկրաշարժի հետևանքով զանգվածային վնասվածքների և փլուզումների են ենթարկվել հազարավոր շինություններ, այն տասնյակ հազարավոր մարդկանց նահատակման պատճառ է դարձել:

Սպիտակի երկրաշարժը տեղի է ունեցել Փոքր Կովկասի բարձրավանդակում գլխավոր Կովկասյան լեռնաշղթայի առանցքից մոտավորապես 150 կմ դեպի հարավ: Փոքր Կովկասի տեկտոնական և երկրաբանական կառուցվածքային ուղղությունները զուգահեռ են գլխավոր Կովկասյան շղթային հյուսիս արևմտյան հարավ արևելյան ուղղությամբ: Տեկտոնական դրությունը հիմնականում բարդ է, բայց ընդհանուր առմամբ այն բնորոշվում է երկրի կեղևի սեղմմամբ ու խտացմամբ Արաբական և Եվրասիական սալերի կոնվերգենցիայի պատճառով, ինչպես այն ցույց է տրված 3.6 նկարում [92]: Սպիտակի երկրաշարժի լոկալ տեկտոնական դրությունը ցույց է տրված 3.7 նկարում [136]: Երկրաշարժի առաջացման ռեգիոնը մտնում է Ալպիական սեյսմիկ գոտու մեջ, որը ձգվում է Միջերկրական ծովից դեպի արևելք՝ Իտալիայի, Հունաստանի, Թուրքիայի, Կովկասի, Իրանի, Հնդկաստանի տարածքներով: Հայաստանի երկրաշարժամետությունը այս գոտում բնութագրվում է միջին ուժգնությամբ ինչպես երկրաշարժերի մագնիտուդի մեծությամբ, այնպես էլ նրանց կրկնողությամբ (նկ 3.9). XX դարի սկզբից սկսած այս տարածքում տեղի են ունեցել ոչ մեծ՝ թվով էպիկենտրոնում VI – VIII ինտենսիվությամբ երկրաշարժեր, այդ թվում ամենաուժգինը՝ վերը նշված 1926 թվականին Գյումրիի երկրաշարժի 5.7 մագնիտուդով:

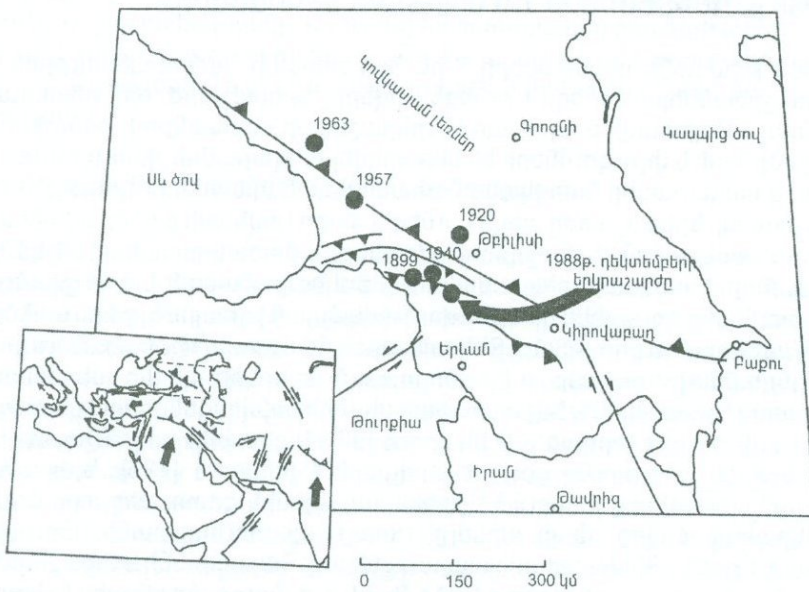
Սպիտակի երկրաշարժը գրանցվել է աշխարհի բազմաթիվ սեյսմիկ կայանների կողմից: ԱՄՆ երկրաբանական ծառայության Սեյսմիկ տեղեկատվության ազգային կենտրոնի (NEIC) և ԽՍՀՄ Երկրի ֆիզիկայի ինստիտուտի (ԻՖՖ3) հաղորդությունների համաձայն երկրաշարժի հիմնական պարամետրերն են՝

Առաջացման ժամանակը՝ 1988 թվականի դեկտեմբերի 7-ին 07 ժամ, 41 րոպե, 24.96 վայրկյանին ըստ UTC (Գրինվիչի ժամանակի) 11 ժամ, 41 րոպե, 24.96 վրկ տեղական ժամանակով:

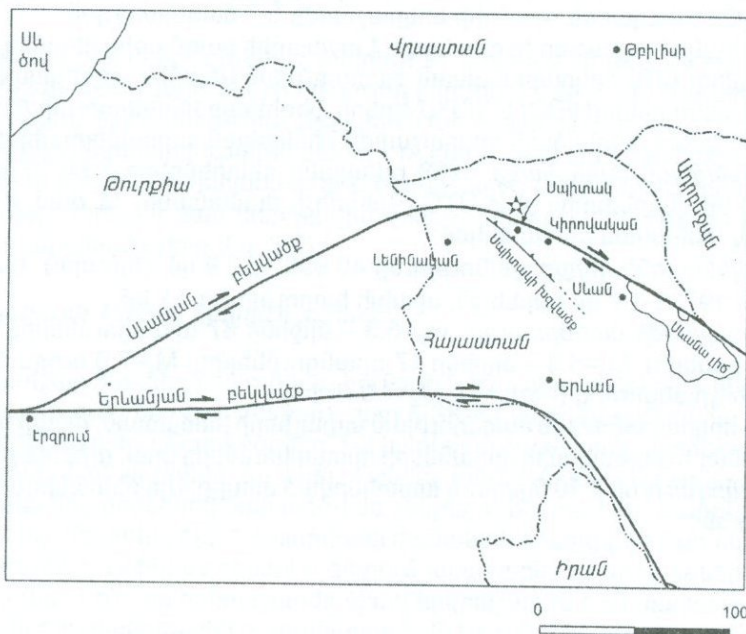
Էպիկենտրոնի դիրքը՝ լայնությունը $40.996^{\circ} \pm 2.9$ կմ, (հյուսիս), երկայնությունը $44.197^{\circ} \pm 1.8$ կմ (արևելք), օջախի խորությունը՝ 11 կմ:

Երկրաշարժի մագնիտուդը՝ $m_b=6.3$ – միջինը 87 գրանցումներից (ծավալային ալիքների), $M_s=6.8$ – միջինը 17 գրանցումներից, $M_s=7.0$ ուղղածիզ կոմպոնենտի գրանցումից (Բելկի) և $M_s=7.0$ (ԻՖՖ3).

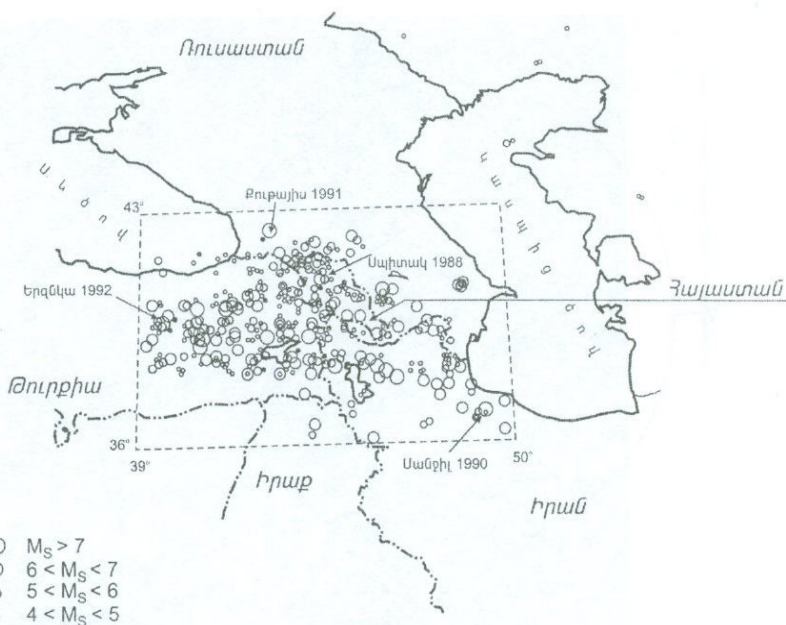
ԱՄՆ երկրաբանական ծառայության տվյալների համաձայն, որոնք հիմնված են ռեգիոնալ և տեկտեսեյսմիկ կայանների դիտարկումների վրա, *գլխավոր հարվածի մեխանիզմը* ունի 3.10 նկարում պատկերված տեսքը: Այդ մեխանիզմի պարամետրերն են՝



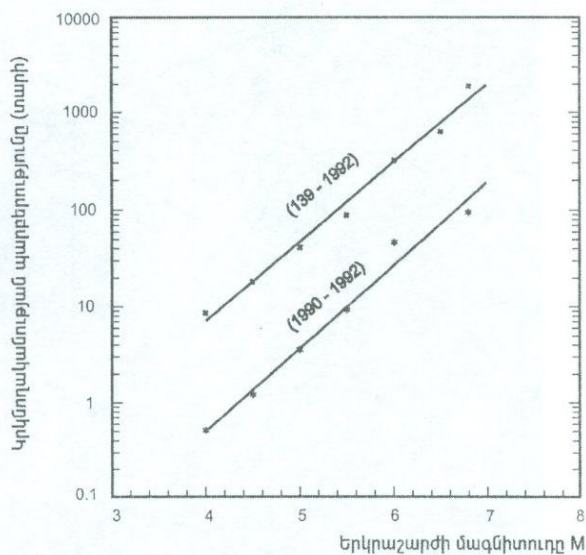
Նկ. 3.6 Սպիտակի երկրաշարժի տեկտոնական դրությունը [92]:



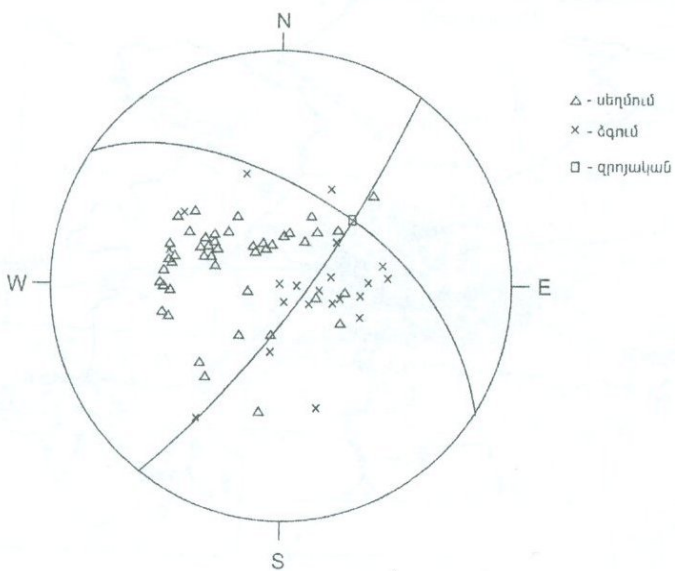
Նկ. 3.7 Ռեգիոնալ տեկտոնական քարտեզի վրա Սպիտակի երկրաշարժի տեղակայումը [136]:



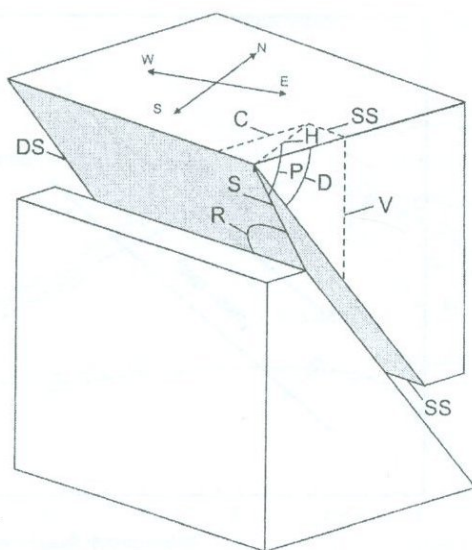
Նկ. 3.8 Մ.թ. 139 մինչև 1992 թվականը Հայկական լեռնաշխարհում ու հարակից շրջաններում տեղի ունեցած պատմական երկրաշարժերը [152]:



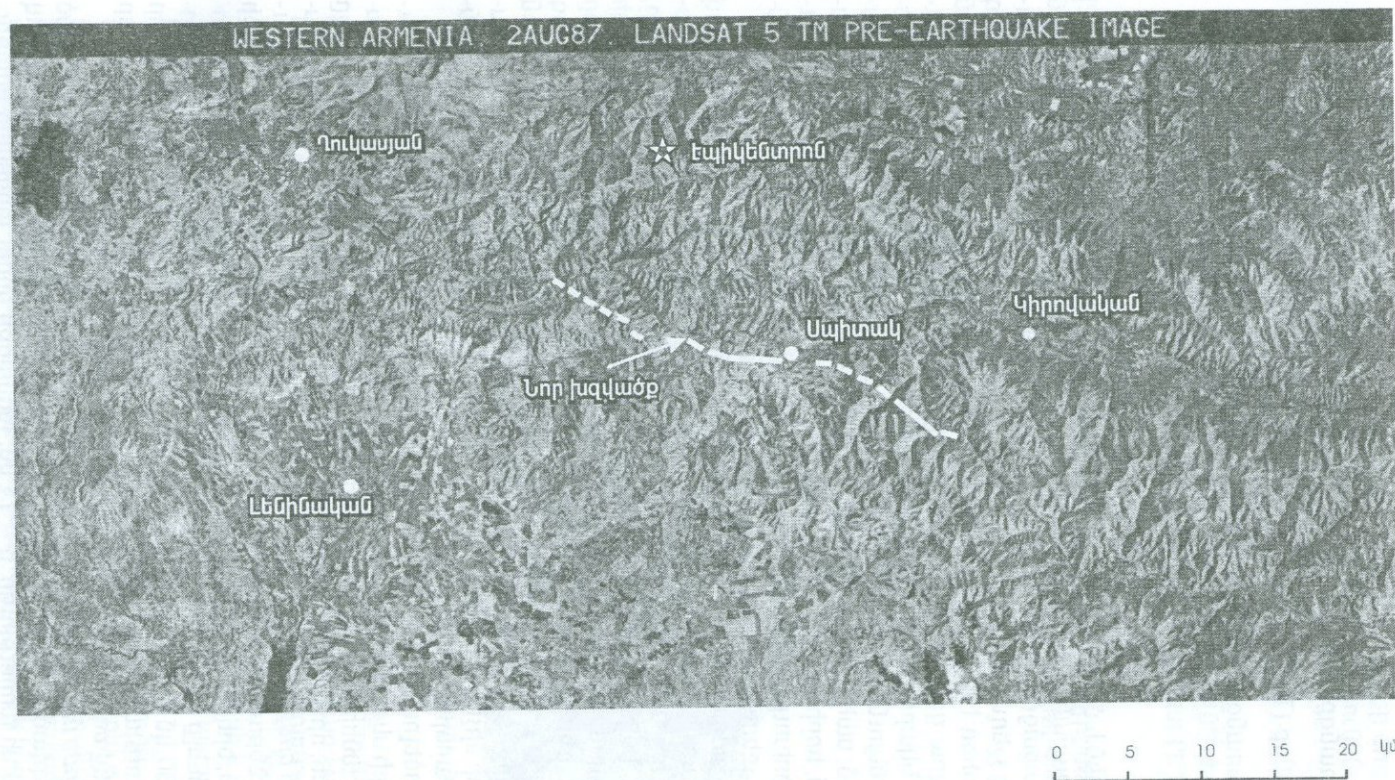
Նկ. 3.9 Սպիտակից 100 կմ շառավղով տարածքներում երկրաշարժերի կրկնողականությունը [152]:



Նկ. 3.10 Սպիտակի երկրաշարժի օջախի ֆոկալ մեխանիզմը [92, 136]:



Նկ. 3.11 Մակերևութային ճաքագոյացման սխեման Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ [135, 89]:



Նկ. 3.12 Սպիտակի երկրաշարժի ընթացքում առաջացած մակերևութային խզվածքի տարածումը [152]:

	Ազիմուտ	Ընկղմում
Սեղմման առանցք (P)	166.2°	16.4°
Ձգման առանցք (T)	265.5°	28.7°
Ջրոյական առանցք (B)	50.1°	56.2°
Առանցք (X)	212.8°	32.6°
Առանցք (Y)	308.0°	8.0°

Ծավալային և մակերևութային ալիքների ինվերսիայի (հակադարձում) [92] և տեղում երկրաբանական չափումների տվյալների հիման վրա մակերևութային խզվածքի առաջացման պարամետրերը ցույց են տրված 3.11 նկարում: Երկրաշարժից առաջ չշեղված խորանարդը ունեցել է 3 մետրանոց կողմեր, ուղղաձիգ կողերը գուգահեռ էին իրար և ուղղահայաց խզվածքի հարթությանը: Խզման հարթության վրա ցույց տրված սլաքները տեղափոխության վեկտորի ուղղություններն են: Նկարում տրված են հետևյալ նշանակումները՝ N-հյուսիս, խզվածքի անկման անկյունը՝ $D = 55^\circ$, տեղափոխությունը՝ $S = 2.0$ մ, ուղղաձիգ բաղադրիչը՝ $V = 1.6$ մ, սահքի բաղադրիչը՝ $SS = 0.5$ մ (աջակողմյան), սեղմման բաղադրիչը՝ $C = 1.1$ մ, հորիզոնական բաղադրիչը՝ $H = 1.2$ մ, խզվածքի անկման ուղղությամբ տեղափոխության բաղադրիչը՝ $DS = 1.9$, տեղափոխության ընկղման անկյունը՝ $P = 53^\circ$, տեղափոխության թեքվածության անկյունը՝ $R = 109^\circ$:

Մակերևութային խզվածքները (տեղ-տեղ ընդհատված) սպիտակ գծերով ցույց են տրված 3.12 նկարում (Լանդաստ) [135,152]: Մակերևութային ճաք-առաջացումը, որը մեծ մասամբ հատում է մեկրացած արմատական ապարները, տեղի է ունեցել Սպիտակի շրջակայքից դեպի հյուսիս, հյուսիս-արևմուտք և դեպի հարավ, հարավ-արևելք, ունեցել մոտ 37 կմ երկարություն: Խզվածքի շարժումը հիմնականում ունի աջակողմա սահքային բնույթ, տեղափոխության ուղղաձիգ կոմպոնենտները թե իրենց բնույթով և թե մեծությամբ փոփոխական են և ունեն աջակողմա սահքա վերնետքային բնույթ: 3.13 նկարում ցույց է տրված Սպիտակի և Գեղասարի միջև ընկած տարածքում երկրաշարժից առաջացած դարավանդը 2.0 մետր բարձրությամբ:

Օգտագործելով մեծ թվով տեխետյանիկ կայանների ծավալային և մակերևութային ալիքների սկզբնական 30 վայրկյանների ընթացքում գրանցված փաստացի տվյալները ամերիկյան սեյսմոլոգներ Իստեյբուրկը, Պամչենկոն և Նաբելեկը հաստատում են, որ այդ առաջին 30 վրկ ընթացքում իրենց հաջողվել է փաստագրել *առնվազն երեք ենթապատահույթներ* [89]: Համաձայն նրանց մեկնաբանության առաջին ենթապատահարը (հարվածը) տեղի է ունեցել Սպիտակ քաղաքի մերձակայքում, երկրորդը՝ 4 վայրկյան հետո առաջին հարվածի տեղից 15 կմ դեպի հարավ-արևելք և երրորդը տեղի է ունեցել 10 վայրկյան հետո առաջին հարվածի տեղից 30 կմ դեպի արևմուտք: Այս տվյալները վկայում են, որ գլխավոր հարվածը իր էությանը շատ բարդ բնույթ ուներ և կարող էր ներառել խզումներ բեկվածքի առնվազն երկու հստակ սեգմենտներում:

Երկրաշարժի մոմենտը: Համաձայն [150] աշխատանքում բերված ճշգրտված տվյալների, խզվածքի մակերևութային տարածման երկարությունը ընդունելով $L = 38$ կմ, օջախի խորությունը՝ $h = 11$ կմ, խզվածքի երկու տրոհված հարթու-

թյունների միջին սահքի չափը $\bar{u}=1.22$ մ և գրունտի սահքի մոդուլը $G = 3 \cdot 10^{11}$ դին/սմ², Սպիտակի երկրաշարժի մոմենտի M_0 -ի համար կունենանք՝

$$M_0 = FG\bar{u} = LhG\bar{u} \quad (3.1)$$

Տեղադրելով համապատասխան արժեքները, կունենանք՝

$$M_0 = 38 \cdot 11 \cdot 3 \cdot 10^{11} \cdot 1.22 \cdot 10^{12} \text{ սմ}^3 \cdot \text{դին/սմ}^2 = 15.3 \cdot 10^{25} \text{ դին} \cdot \text{սմ}$$

Այսպիսով, երկրաշարժի մոմենտային մագնիտուդը M_w ըստ (1.105)-ի կլինի

$$M_w = 2/3 \lg M_0 - 10.7 = 6.75 \quad (3.2)$$

որը ընդամենը 0.7%-ով է տարբերվում մակերևութային ալիքների օգնությամբ հաշվարկված (սեյսմոգրաֆի հիման վրա) Ռիխտերյան $M_s=6.8$ մագնիտուդի միջին մեծություներից:



Նկ. 3.13 Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Գեղասար գյուղի շրջակայքում առաջացած սանդղավանդը [54]:

Երկրաշարժի ֆորշոկը և աֆտերշոկը: Երկրաշարժի ժամանակաընթացքը կազմված էր 1988 դեկտեմբերի 6-ի ֆորշոկից, գլխավոր հարվածից, 4 րոպե 21 վրկ. հետո տեղի ունեցած առաջին հզոր աֆտերշոկից և հարյուրավոր լրացուցիչ աֆտերշոկներից, որոնցից մի քանիսի մագնիտուդը հասել է մինչև 5-ի: Երկրաշարժի ֆորշոկի, գլխավոր հարվածի, առաջին հզոր ֆորշոկի և մինչև 31.12.1988 տեղի ունեցած ավելի զգալի ֆորշոկների սեյսմոլոգիական պարամետրերը բերված են 3.2 աղյուսակում:

Աղյուսակ 3.2-ում բերված m_b - երկրաշարժի մագնիտուդն է, որը հաշվարկված է էպիկենտրոնից 600 կմ ավելի կմ հեռավորության վրա գտնվող սեյսմիկ կայանների կողմից ծավալային սեյսմիկ ալիքների գրանցումների հիման վրա, իսկ M_s - երկրաշարժի մագնիտուդն է (Ռիխտերյան), որը հաշվարկված է էպիկենտրոնից մինչև 600 կմ հեռավորության վրա գտնվող սեյսմիկ կայանների կողմից մակերևութային ալիքների գրանցումների հիման վրա: Մերձակա և հեռու երկրա-

շարժերի գրանցումների տվյալների համեմատական վիճակագրական տվյալների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ միջին հաշվով երբ $M_s > 6.75$, ապա $m_b < M_s$ և ընդհակառակը, երբ $M_s < 6.75$ ապա $m_b > M_s$:

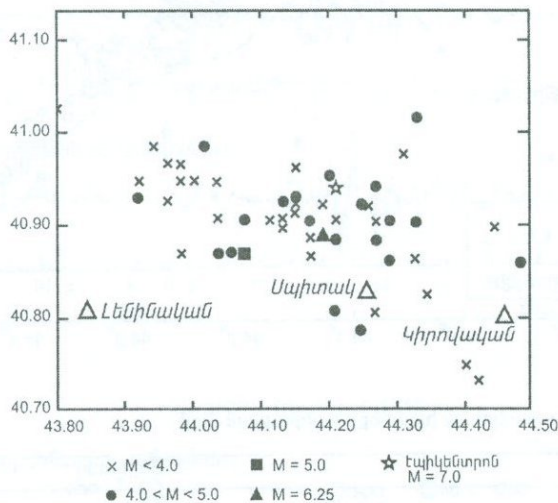
Ինչպես երևում է աղյուսակի տվյալներից, մինչև Սպիտակի երկրաշարժի ղեկտեմբերի 7-ի ժ. 11-անց 41 րոպեի գլխավոր հարվածը ղեկտեմբերի 6-ին ժամը 19 անց 27 րոպեին տեղի է ունեցել հստակ մեկուսացված և գրանցված ֆորշոկ (մախահարված): Բայց քանի որ այդպիսի ուժգնության երկրաշարժեր, ինչպիսին էր ղեկտեմբերի 6-ի երկրաշարժը, այս տարածքում լինում են ոչ հազվադեպ, երկրաշարժագետների կողմից այն չի ընդունվել որպես գալիք ավերիչ երկրաշարժի նախանշան: Գլխավոր հզոր հարվածից հետո անցած առաջին 5 րոպեի ընթացքում է տեղի ունեցել հզոր աֆտերշոկ, որը իր մագնիտուդի մեծությամբ միայն 0.75 մեծությամբ էր զիջում գլխավոր հարվածին: Այս հետհարվածը լրացուցիչ զգալի ավերվածություններ է պատճառել առաջին հարվածից թուլացած և վնասված շինություններին: Բնական է, այն նաև մեծ թվով մարդկանց մահվան պատճառ է դարձել: Առաջին հարվածից շատ մարդիկ վնասված բազմա-հարկ շինություններից հեռանալիս դեռ չէին հասցրել ամբողջությամբ թողնել նրանց, երբ վրա է հասել այս հզոր հետհարվածը՝ մինչև լրիվ փլուզման հասցնելով հիմնական հարվածից դեռևս

Աղյուսակ 3.2 Երկրաշարժերի հաջորդականությունը

Տարեթիվը	Առաջացման ժամանակը ըստ UTC			Մագնիտուդը m_b	Սրբյուրը	Մագնիտուդը M_s	Աղբյուրը
	Ժամ	Րոպե	վրկ				
06.12.1988	15	27	06.9	3.0	ԻՓ3		
07.12.1988	07	41	25.0	6.3	NEIC	7.00	Ն. Կ. Կարապետյան
07.12.1988	07	45	46.0	5.9	NEIC	6.25	- " -
07.12.1988	08	06	28.2	4.7	NEIC	5.00	- " -
07.12.1988	09	34	33.9	5.0	NEIC	4.50	- " -
07.12.1988	18	05	42.3	4.6	NEIC	4.25	- " -
07.12.1988	20	07	30.6	4.6	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	01	15	55.7	4.8	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	01	49	41.4	4.1	NEIC	4.00	- " -
08.12.1988	04	09	37.2	4.7	NEIC	4.25	- " -
08.12.1988	05	36	29.8	5.0	NEIC	4.00	- " -
08.12.1988	07	46	00.0	4.6	NEIC	4.50	- " -
08.12.1988	20	32	06.2	4.7	NEIC	4.50	- " -
10.12.1988	19	13	59.1	4.4	NEIC	4.00	- " -
12.12.1988	15	36	15.1	4.6	NEIC	4.25	- " -
31.12.1988	04	07	10.6	4.7	NEIC	4.50	- " -

կանգուն մնացած շինությունները: Բացի դրանից, ինչպես երևում է 3.2 աղյուսակի տվյալներից, երկրաշարժի առաջին 24 ժամվա ընթացքում տեղի են ունեցել առնվազն 10 4.5-5.0 մագնիտուդով երկրաշարժեր (ֆորշոկեր), որոնք նույնպես պատճառ են դարձել լրացուցիչ փլուզումների և մարդկային զոհերի: Սա նշանակում է, որ մեկ օրվա ընթացքում տեղի է ունեցել VII-X բալ ուժգնության 10 երկրաշարժ, որը, մեր կարծիքով, Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ մեծ ավեր-

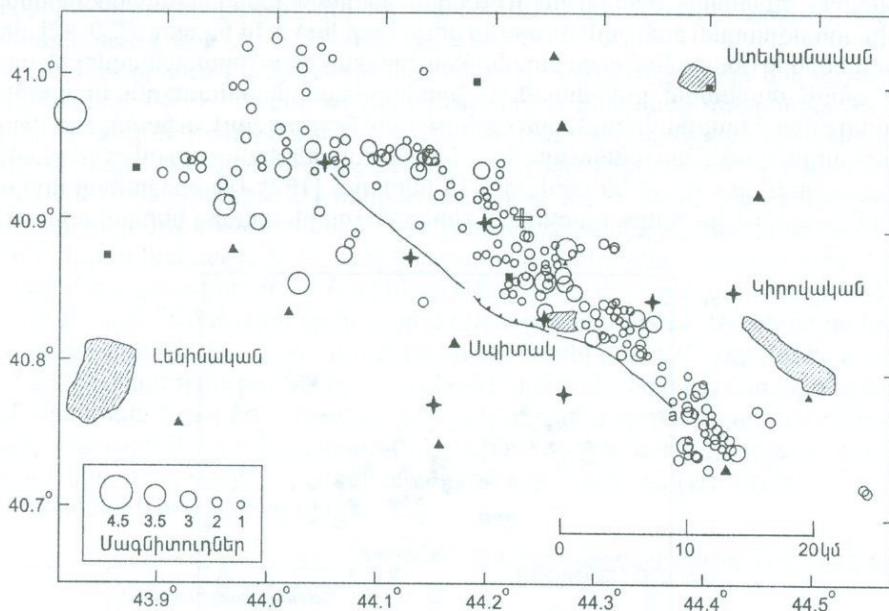
վածությունների և զոհերի գլխավոր պատճառներից մեկն էր: Գլխավոր հարվածի և առաջին ժամերին և օրերին տեղի ունեցած հետհարվածների էպիկենտրոնների աշխարհագրական բախշվածությունը ցույց է տրված 3.14 նկարում [30, 92]: Հետ հարվածների զրանցման աշխատանքները հիմնականում իրականացվել են աղետի զոտի ժամանած աներիկյան և ֆրանսիական մասնագետների կողմից, նրանք բերած սարքավորումների օգնությամբ: Բոլոր զգալի աֆտերշոկերի աշխարհագրական բախշվածությունը և նրանց պրոեկցիան գլխավոր խզվածքի հարթության վրա ցույց են տրված 3.15 նկարում [152]: Աֆտերշոկերը հակում ունեն բաժանվելու երկու զոտիների: Առաջին զոտին իրենից ներկայացնում է



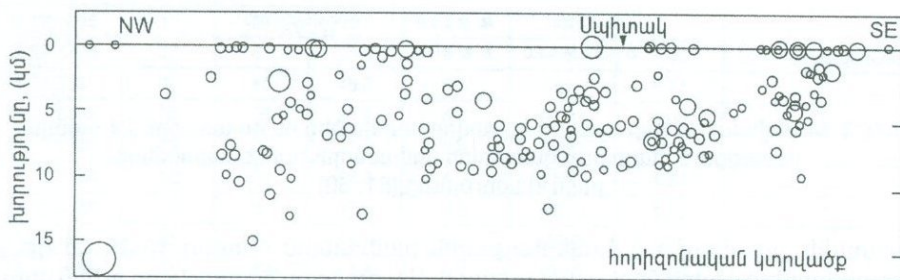
Նկ. 3.14 Սալիտակի երկրաշարժի գլխավոր հարվածից հետո առաջին 24 ժամվա ընթացքում տեղի ունեցած հետհարվածների էպիկենտրոնների բախշվածությունը [81, 30]:

Սալիտակի շրջակայքում մակերևութային խախտման դիրքից 10-15 կմ դեպի հարավ-արևելք ձգվող նեղ գոտու տեսքով: Այս գոտու աֆտերշոկերը ունեն մինչև 8 կմ խորություն: Երկրորդ զոտին տարածվում է դեպի հյուսիս-արևմուտք, որի ծայրում տեղի է ունեցել աֆտերշոկերից ամենաուժեղը: Այս գոտին ընկած է նկատվող մակերևութային խախտման գծային շարունակության տիրույթում: Այս գոտին ձգվում է մինչև 30 կմ և ավելի լայն է, քան հարավ-արևելյանը: Աֆտերշոկերը այս գոտում ունեն մինչև 15 կմ խորություն: Նկարում բերված աֆտերշոկերի տեղակայման նկարագիրը վկայում է տեխենյսմիկ ծավալային ալիքների բարդ բնույթի մասին, ինչպես այդ մասին նշել են Իստեբլուրկը, Պանչենկոն և Նաբելեկը, շեշտելով, որ գլխավոր հարվածը բաղկացած էր առնվազն երեք հաջորդող պատահականներից, որոնք համապատասխանաբար տեղի են ունեցել՝ առաջինը Սալիտակի մերձակայքում, մյուսը՝ առաջինից 15 կմ դեպի հարավ-արևելք և երրորդը՝ 30 կմ դեպի արևմուտք: Աֆտերշոկերից երկու ուժեղները գտնվում են նրանց կենտրոնական տիրույթում:

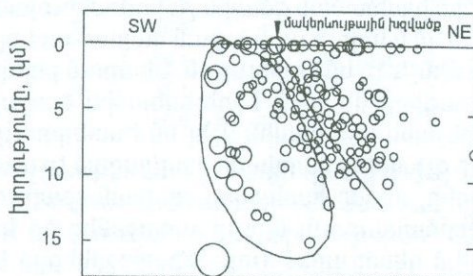
ա. էպիկենտրոնների աշխարհագրական բախշվածությունը



բ. հիպոկենտրոնի պրոեկցիան խզվածքի հարթության վրա

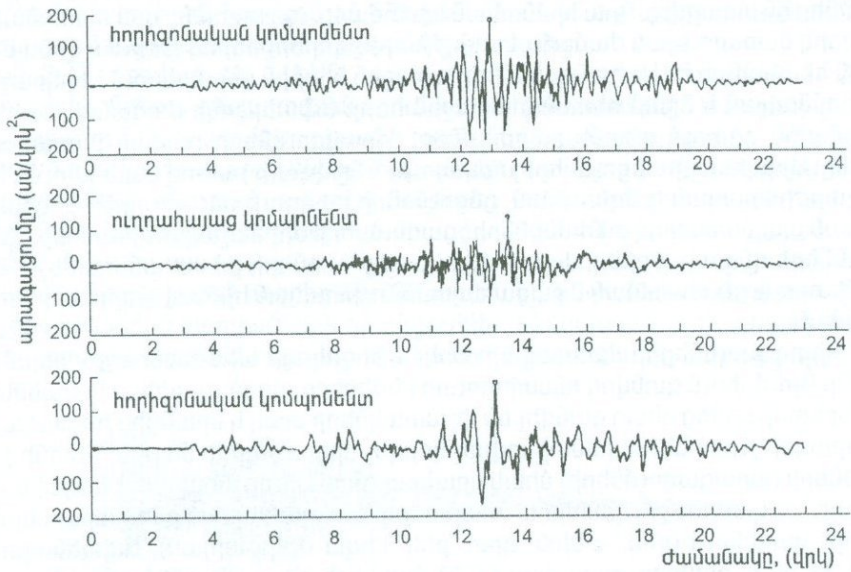


գ. հիպոկենտրոնները մակերևութային խզվածքին ուղղահայաց հարթության գոտում

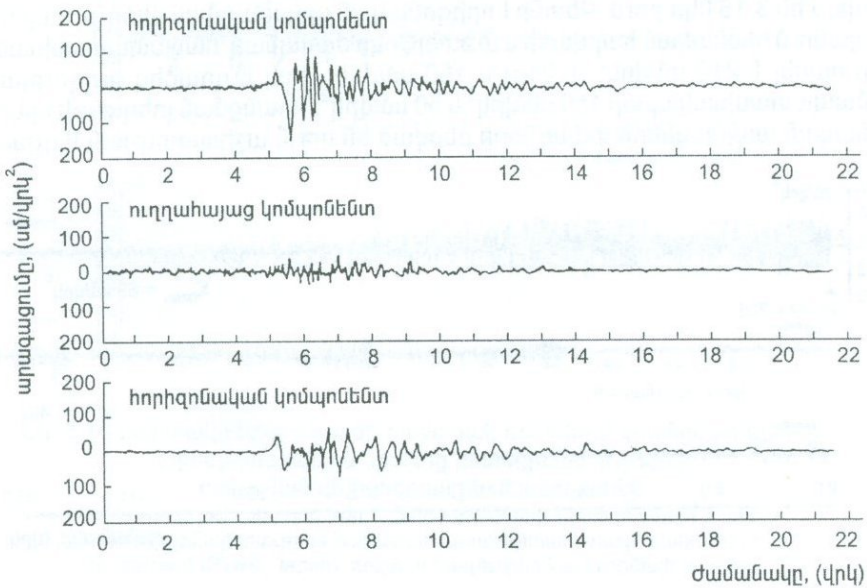


Նկ. 3.15 Աֆտերշոկերի տեղաբաշխումը [152, 136]:

Հիմնական հարված



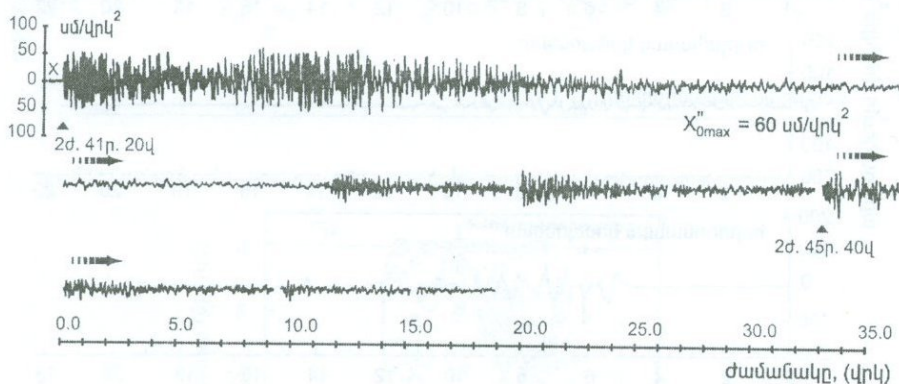
Առաջին հետհարված



Նկ. 3.16 Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Ղուկասյանում (Աշոցք) գրանցված գետնի աքսելերոգրամները հիմնական հարվածի և առաջին հետհարվածի ընթացքում:

Երկրաշարժի գրանցումը: Ափսոսանքով պետք է նշել, որ Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների նվազ թվով գործիքային գրանցումներ են ստացվել: Դրա հիմնական պատճառը Հայաստանի այն ժամանակվա սեյսմիկ ծառայության ժամանակակից չափիչ գործիքներով աղքատ զինվածության հետևանքն է: Այս հանգամանքը առաջին հերթին վերաբերում է երկրաշարժի հիմնական և նրան հետևած առաջին հզոր աֆտերշոկի ժամանակ էպիկենտրոնային գոտում գետնի շարժումների գրանցումների իսպառ բացակայությանը: Այդպիսի գրանցումների առկայությունը զգալի չափով նպաստում է երկրաշարժի իրական ուժգնության, ցնցումների տևողության, տարբեր երկրաբանական պայմաններով տեղանքների շարժումների օրինաչափությունների, շինությունների վնասվածքների և փլուզման պատճառների խիստ անհրաժեշտ պարամետրերի գնահատման և բացահայտման գիտական հիմնախնդիրների լուսաբանմանը:

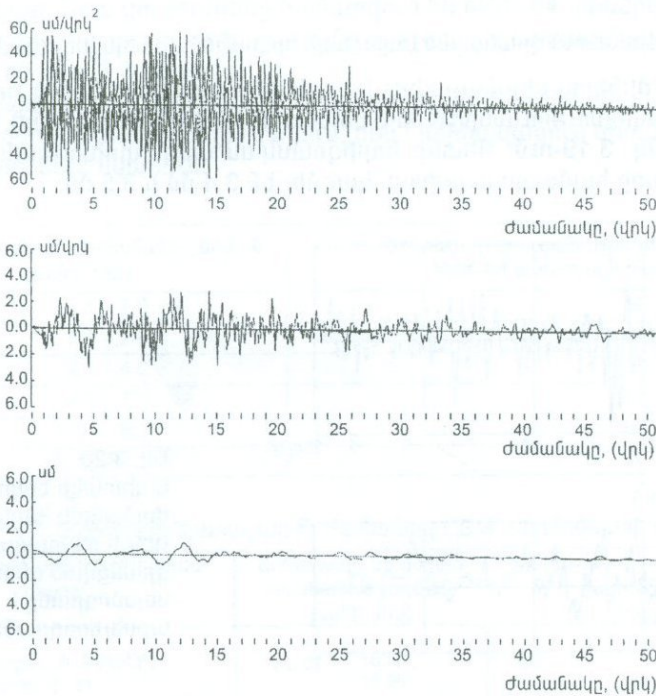
Գիտությունների ակադեմիայի Երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմոլոգիայի Գյումրիում գտնվող ինստիտուտի ինժեներասեյսմաչափիչ 9 կայաններից 5-ը երկրաշարժից հետո գտնվել են փլատակների տակ և նրանցից հետագայում հնարավոր չէր որևէ հավաստի տվյալ կորզել երկրաշարժի մասին: Գետնի շարժումների (արագացումների) միակ որակյալ գրանցումը ստացվել է նույն ինստիտուտի Ղուկասյան շրջկենտրոնի տարածքում տեղակայված ինժեներա-սեյսմաչափիչ կայանում (ղեկ. տեխն. գիտ. թեկ. Լիզա Մխիթարյան), էպիկենտրոնից մոտ 33 կմ հեռավորության վրա CCP3 մակնիշի եռակոմպոնենտ խորհրդային արտադրության աքսելերոգրաֆի (ճոճանակների պարբերությունը՝ 0.05 վրկ.) օգնությամբ: Աքսելերոգրաֆը գրանցել է ինչպես երկրաշարժի գլխավոր հարվածը, այնպես էլ առաջին հզոր աֆտերշոկը: Այդ գրանցումների պատճենները բերված են 3.16 նկարում: Գետնի հորիզոնական արագացման մեծությունը Ղուկասյանում հիմնական հարվածի և աֆտերշոկի ժամանակ համապատասխանաբար հասել է 210 սմ/վրկ^2 ($0.21g$) և 150 սմ/վրկ^2 , իսկ ուղղաձիգ ուղղությամբ՝ համապատասխանաբար 150 սմ/վրկ^2 և 50 սմ/վրկ^2 : Գրանցման տեղանքի երկրաբանական պայմանների տվյալները բերված են սույն աշխատության II գլխում:



Նկ. 3.17 Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Երևանում գրանցված գետնի աքսելերոգրամ հիմնական և հետագա հետհարվածների ժամանակ [60]:

Երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների գրանցումներ ստացվել են նաև Երևանում, էպիկենտրոնից 80-100 կմ հեռավորության վրա: Այդ գրանցումները իրականացվել են Հայսեյսմոչին ԳՀԻ ինժեներասեյսմաչափիչ դիտարկումների Երևանում կազմակերպված 8 կայանների կողմից:

Նկ. 3.17 բերված № 3 ԻՍՉ կայանում (Երևան Ա. Ավետիսյան 1) մեծ հզորության անդեզա-բազալտային գրունտային հիմնատակով 5 հարկանի քարե շենքի նկուղում ՕՇԻ աքսելերոգրաֆի (ճոճանակի պարբերությունը՝ 0.15վրկ.) գրանցած գետնի արագացումները ժամանակի ընթացքում: Ինչպես բոլոր ԻՍՉ դիտարկումների դեպքում, այստեղ նույնպես ՕՇԻ աքսելերոգրաֆի աշխատանքը նախատեսված է ինքնուրույն միացման և 30-40 վրկ. հետո անջատման ռեժիմով: Ինչպես պարզվեց գրանցող սարքի ժապավենի լուսարկումից, որը կատարվեց երկրաշարժի սկզբից մոտ 30 րոպե անց, ընդհանուր ժապավենի վրա կար չորս առանձին հարվածների գրանցումներ՝ հիմնականը ժ. 11 անց 41 րոպե 20 վրկ, առաջին հզոր աֆտերշոկը ժ. 11 անց 45 րոպե 24 վրկ և նրանց միջև ևս

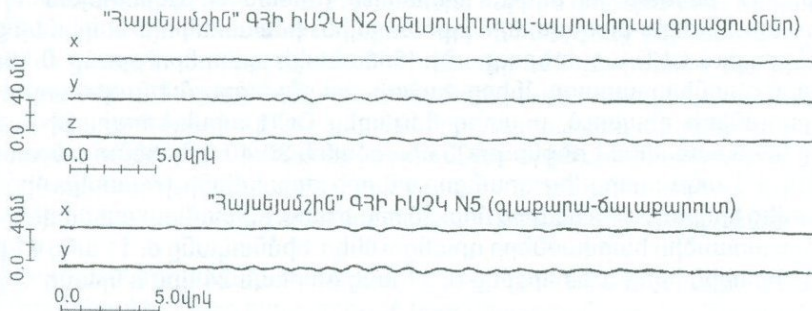


Նկ. 3.18 Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ Երևանում գրանցված գետնի աքսելերոգրամը և նրանից ինտեգրման միջոցով ստացված վելիստոգրամը և սեյսմոգրամը:

Աքսելերոգրամի թվավորումը և ինտեգրումները իրականացվել է ճապոնիայի շինարարության նախարարության գիտահետազոտական ինստիտուտում (PWRI, Japan), դոկտոր Կազուհիկո Կավաշիմայի կողմից:

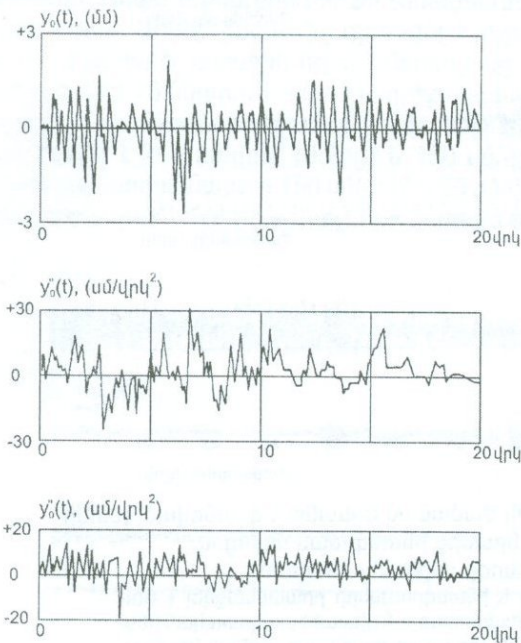
Երկու հարվածներ: Այս նշանակում է, որ աքսելերոգրաֆը 4 րոպե 15 վրկ. ընթացքում 4 անգամ միացվել-անջատվել էր: Գետնի արագացման մաքսիմալ մեծու-

թյունը այստեղ հասել է մոտ 60 սմ/վրկ²: Գլխավոր հարվածի ժամանակ գրանցված արժեքներով հետազոտվող ինտեգրման եղանակով, որը իրականացվել է ճապոնացի մասնագետների կողմից, ստացված գետնի արհեստական վելիսոգրամը և սեյսմոգրամը բերված են 3.18 նկարում: Երևան քաղաքում նույն Հայսեյսմոգրամը



Նկ. 3.19 Երևանում գրանցված Սպիտակի երկրաշարժի սեյսմոգրամները [60]:

ԳՀԻ № 5 ինժեներա-սեյսմաչափիչ կայանների տարածքներում գրանցվել են գետնի տեղափոխությունները (ՄՄ-3 սեյսմաընդունիչի օգնությամբ), որոնք ցույց են տրված նկ. 3.19-ում: Գետնի հորիզոնական տեղափոխության մաքսիմալ մեծությունները համապատասխան կազմել են 3.4 մմ և 3.5 մմ:



Նկ. 3.20
Սպիտակի երկրաշարժի
ժամանակ Հայկական
ԱԷԿ-ի տարածքում
գրանցված գետնի
սեյսմոգրամը և
արժեքները [75]:

Ի դեպ՝ օգտվելով առաջին գլխում բերված բանաձևից, ընդունելով էպիկենտրոնային հեռավորությունը (Սպիտակից-Երևան) մոտ 100 կմ, իսկ $y_0=3.5$ մմ, երկրաշարժի մագնիտուդի մեծության համար կունենան

$$M_s = \log 2800 \cdot 3.5 \cdot 1000 = \log 10^{6.99} \approx 7.0$$

Սպիտակի երկրաշարժի գրանցումներ են ստացվել նաև Հայկական ատոմային կայանի տարածքում (անդեզա-բազալտային հիմնատակ), որոնք բերված են 3.20 նկարում: Այստեղ գետնի տեղափոխությունների մաքսիմալ արժեքը հասել է 2.7 մմ, իսկ արագացումներինը՝ 31 սմ/վրկ²:

Ղուկասյանի, Երևանի և ՀԱԷԿ-ի տարածքներում գրանցված գետնի արագացումների հիման վրա կառուցված այսպես կոչված երկրաշարժի ռեակցիայի սպեկտրները (ազատ տատանման տարբեր T պարբերություն ունեցող վերգետնյա շինություններում երկրաշարժից առաջացած արագացումների τ մեծությունները) ցույց են տրված 3.21 նկարում:

Սպիտակի երկրաշարժը ՇՄՄ սեյսմոմետրի օգնությամբ գրանցվել է հանրապետության մի շարք բնակավայրերում: ՇՄՄ սեյսմոմետրը, որի հեղինակն է պրոֆ. Ս.Վ.Մեդվեդևը, իրականում նմանակում է երկրաշարժի ժամանակ 0.25վրկ. պարբերություն և 0.5 մարման դեկրեմենտ ունեցող մեկ հարկանի վերգետնյա շինության վարքը: Նրա ցուցումները համարվում են MSK-64 սեյսմիկ սանդղակի օգնությամբ երկրաշարժի ուժգնությունը բալերով գնահատման հիմնական պարամետրեր ըստ 3.3 աղյուսակի:

ՇՄՄ սեյսմոմետրերի օգնությամբ երկրաշարժի ժամանակ գրանցված տվյալները բերված են 3.4 աղյուսակում, իսկ Լենինականում գրանցված երկու պատկերները՝ 3.22 նկարում:

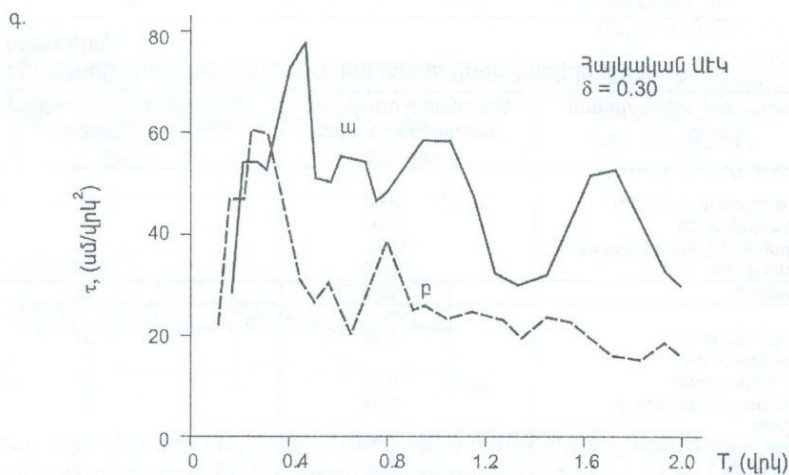
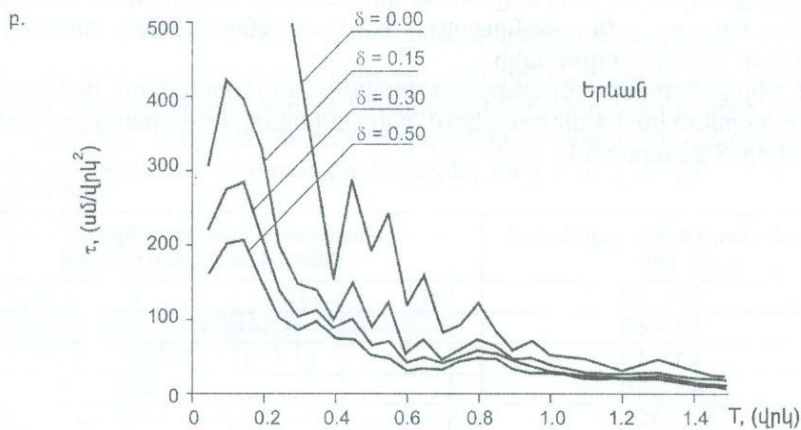
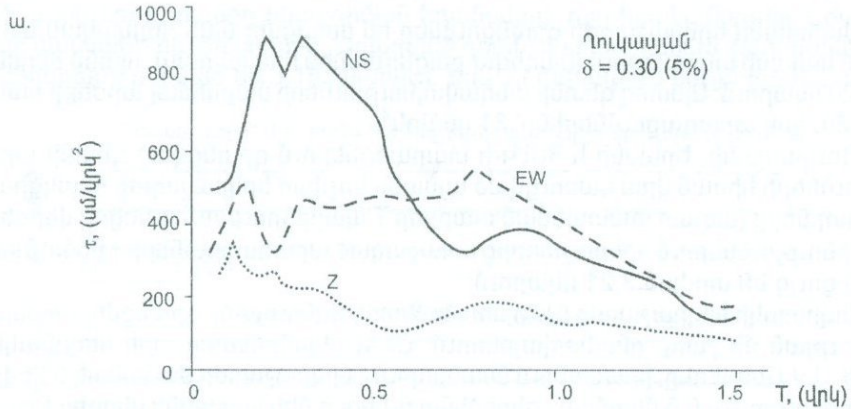
Աղյուսակ 3.3

ՇՄՄ սեյսմոմետրի ճոճանակի շեղման չափը, (մմ)	Երկրաշարժի ուժգնությունը ըստ MSK-64 սանդղակի բալերով
0.5 – 1.0	V
1.1 – 2.0	VI
2.1 – 4.0	VII
4.1 – 8.0	VIII
8.1 – 16.0	IX
16.1 – 32.0	X

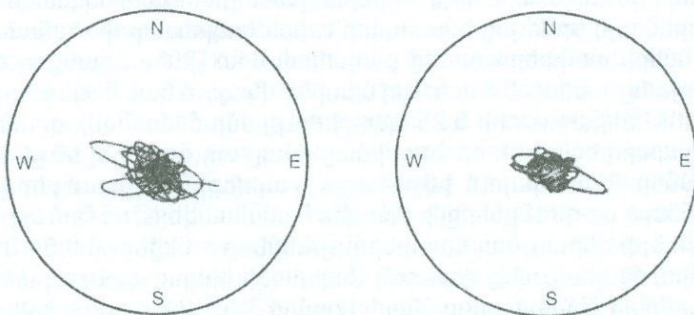
Աղյուսակ 3.4

Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ ՇՄՄ սեյսմոմետրի ցուցումները

ՃԱՂ սեյսմոմետրի տեղադրման վայրը	ճոճանակի գրանցած ամենամեծ շեղման չափը, (մմ)	Երկրաշարժի ուժգնությունը ըստ MSK-64 (բալ)
ք. Գյումրի		
- Լենինգրադյան փ. 9 (ԳԻՍԻ)	18.00	IX
- Սպանդարյան փ. 24	15.00	IX
- Սարգսյան փ. 1 (սեյսմիկ կայան)	15.50	IX
- Կալինինի փ. 16	10.40	IX
ք. Ստեփանավան	12.0	IX
ք. Երևան		
- Սասունցի Դավթի փ. 3 (Հայսեյսմչին ԳՀԻ)	1.59	VI
- Լեռի փ. 9 (կենտրոն)	0.82	V
- Մոլդովական փ. 3ա (Նորքի զանգված)	1.14	VI
- Ֆրունզեի փ. 6/8 (III մաս)	0.77	V
- Ավետիսյան փ. 1	0.91	V
ք. Արարատ	0.90	V

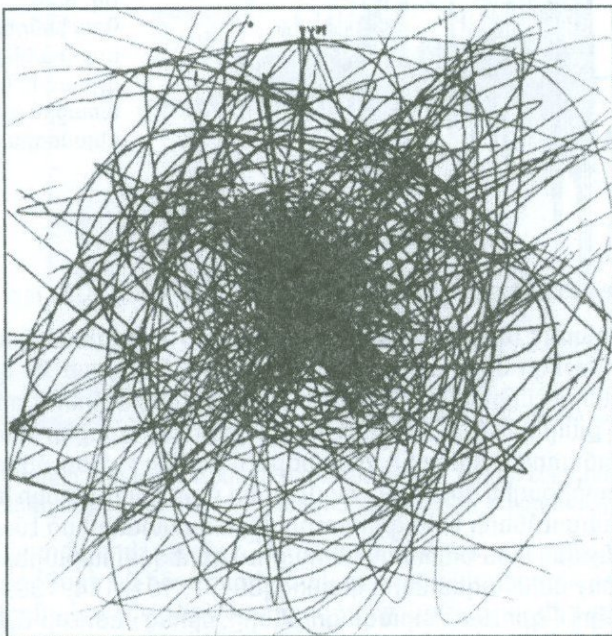


Նկ. 3.21 Սպիտակի երկրաշարժի ռեակցիայի սպեկտրները:



Նկ. 3.22 CBM սեյսմոսկրայի գրանցումները Լենինականում:

Գյումրի և Երևան քաղաքներում տեղադրված են եղել նաև Ա. Գ. Նազարովի կոնստրուկցիայի բազմաճոճանակավոր ИГНС (նախկինում՝ АНС) տիպի սեյսմոմետրեր, որոնք նույնպես գրանցել են երկրաշարժի հիմնական հարվածը: Այդ գրանցումների վերլուծությունները բերված են [33, 104] աշխատանքներում: Այդ

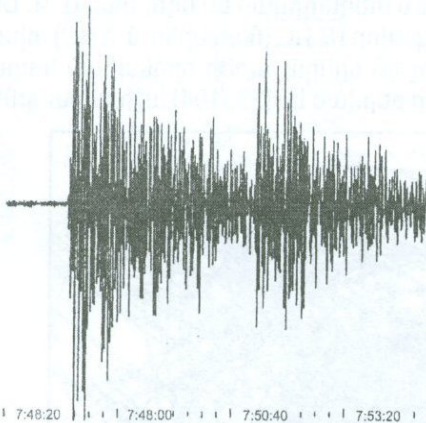


Նկ. 3.23 ИГНС սեյսմոմետրի (0.8 վրկ պարբերությամբ ճոճանակի) գրանցումները Լենինականում:

գրանցումներից մեզ թվում է ամենամեծ հետաքրքրություն ներկայացնում է Գյումրի քաղաքում տեղակայված (ԳԻՍԻ) սեյսմոմետրի 0.8 պարբերությամբ հորիզոնական ճոճանակի գրանցումը, որը ցուցադրված է 3.23 նկարում: Ինչպես

երևում է գրանցումից, երկրաշարժի ժամանակ սեյսմոմետրի այդ ճոճանակը կատարել առնվազն 20 - 30 միևնույն մաքսիմալ ամպլիտուդներով տատանումները: Սկզբունքորեն այս երևույթը հնարավոր է, եթե երկրաշարժի ժամանակ գետնի տատանումների տարբերությունը բավական մոտ լիներ գրանցող ճոճանակի տարբերությանը, ասենք՝ 0.8 վրկ: Այդ մասին է վկայում նաև նույն տեղում տեղակայված՝ ՇՖՄ սեյսմոմետրի 0.25 պարբերությամբ ճոճանակի գրանցումը (նկ. 3.22), որից պարզ երևում է, որ մաքսիմալ ամպլիտուդով եղել են ընդամենը 2-3 տատանումներ: Հետագայում, ինչպես ցույց տրվեցին II գլխում բերված հետազոտությունների արդյունքները, իսկապես հաստատվել է, որ Գյումրիում գետնի տատանումների գերակշռող պարբերությունները ունեցել են 0.6 - 0.8 վրկ. մեծություններ: Ինչպես նշվեց վերևում, Սպիտակի երկրաշարժը գրանցվել է աշխարհի տասնյակ սեյսմիկ կայանների կողմից: Նկ 3.24 բերված է Գերմանիայի Գրաֆենբերգ քաղաքի սեյսմիկ կայանի կողմից գրանցված Սպիտակի երկրաշարժի սեյսմոգրամը:

GRA1 BZ



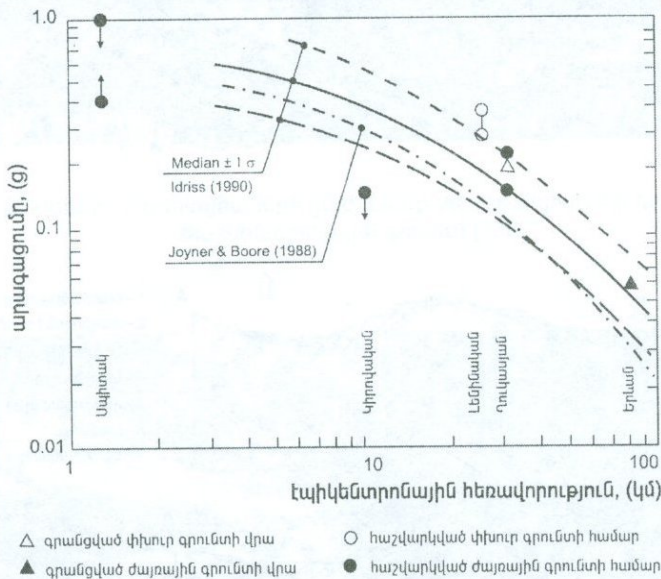
Նկ. 3.24

Գրաֆենբերգում (ԳԴՀ) Սպիտակի երկրաշարժի գլխավոր հարվածի և առաջին ափտերշուկի սեյսմոգրամները:

Ինչպես երևում է նկարից, իսկապես գլխավոր հարվածի և նրան հաջորդած առաջին ափտերշուկի միջև տևողությունը կազմել է 4 րոպե 20 վրկ. ընդ որում սեյսմիկ ալիքները Սպիտակից հասել են Գրաֆենբերգ մոտ 4 րոպե ուշացած: Բուն Սպիտակ քաղաքում մինչ երկրաշարժը գրանցող սարքեր տեղակայված չեն եղել: Այդ պատճառով Սպիտակի տարածքում գետնի շարժումների մեծությունների մասին գործիքային գրանցված տվյալներ չկան: Անուղղակի եղանակներով, ելնելով արագացումների և մագնիտուդի միջև հաստատված էմպիրիկ առնչություններից, ինչպես նաև Սպիտակ քաղաքում գերեզմանաքարերի տապալման փաստերից որոշ մասնագետների կողմից [89, 97, 101, 114, 136, 152] հաշվարկվել է Սպիտակում գրունտի արագացումները, որոնց մեծությունը հասել է 0.8g-ից մինչև 1.0g (նկ. 3.25). նման գնահատականները ցույց են տվել, որ գետնի արագացումների մեծությունները Լենինականում հասել են 0.47-0.53g, Ստեփանավանում՝ 0.46g, Կիրովականում՝ 0.40g:

Երկրաշարժի գեոտեխնիկական հետևանքները: Երկրաշարժը զգալի գեոտեխնիկական-երկրաբանական փոփոխություններ է առաջացրել երկրի մակերևույթի վրա՝ փլվածքների, ապարաթափվածքների, սանդղավանդների, ճեղքվածքների, սողանքների, դիսլոկացիաների, բնահողերի մոսրացման տեսքով:

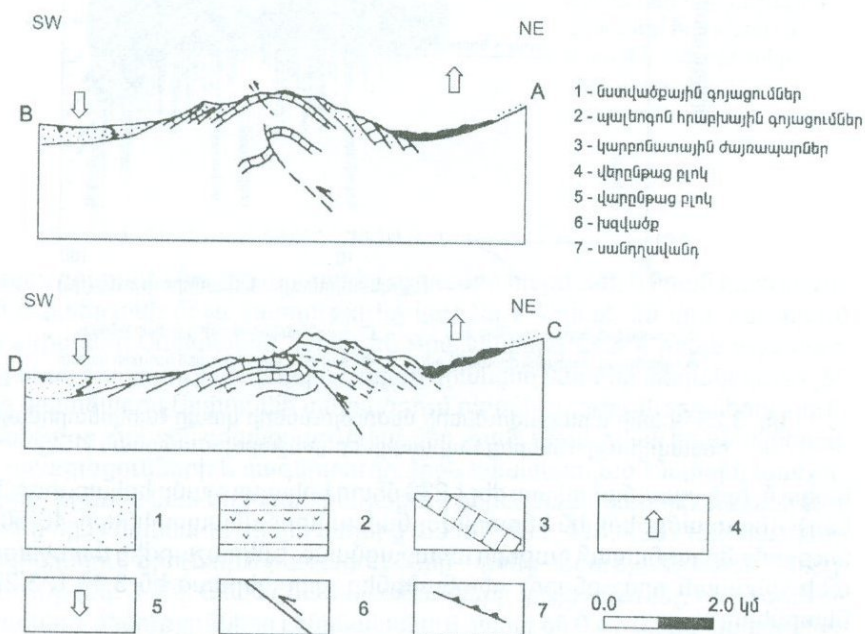
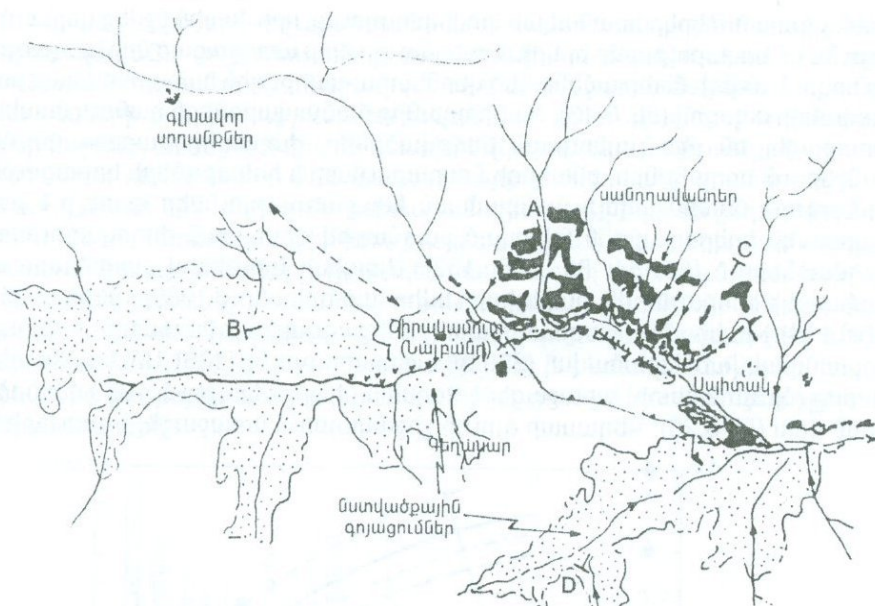
Ամենացայտուն երկրաբանական փոփոխությունը, որի մասին նշվեց վերևում, դա մոտ 38 կմ երկարությամբ երկրի մակերևույթի վրա առաջացած նոր խզվածքն էր՝ իր երկու և ավելի մետր ամենամեծ վերնետքա-սահքային հարաբերական սանդղավանդի տեսքով (նկ. 3.13): Բացի դրանից ճանապարհների բանուկ մասերում առաջացել են մեծ լայնության ճեղքվածքներ, ժայռերից քարաթափումներ, լանջերում՝ սողանքներ, բնահողի մոսրացումներ և երկաթգծերի կորացումներ: Այս բոլորի մասին ավելի մանրամասն նկարագրություններ կարելի է քաղել Սպիտակի երկրաշարժին նվիրված բազմաթիվ գիտական ժողովածուներում, հոդվածներում [53, 54, 89, 136, 152]: Այդպիսի նյութերով շատ հարուստ է Սպիտակի երկրաշարժի տարելիցին նվիրված Երևանում 1989թ. մայիսի 23 - 26 ՅՈՒՆԵՍԿՈ-ի կողմից կազմակերպված միջազգային գիտաժողովի նյութերի հրապարակված մեծածավալ (530 էջ) աշխատությունը [136]: Ամենամեծ տեղաշարժը (մինչև 2 մետր) առաջացել է Գեղասարի շրջակայքում, 1950 մ բարձրության վրա (նկ. 3.26): Գեղասար գյուղի շրջակայքում առաջացել է գրունտի ջրի-



Նկ. 3.25 Գետնի արագացումների մեծությունների կապը էպիկենտրոնային հեռավորություններից Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ [152]:

կացում, որի պատճառով տուժել է 230 մետր երկարությամբ երկաթգիծը: Նշանակալի վնասվածքների են ենթարկվել նաև ավտոճանապարհները՝ 40-50 սմ լայնությամբ երկայնական ճաքերի առաջացմամբ: Երկրաշարժից առաջացած գետտեխնիկական որոշ բնորոշ հետևանքներ պատկերված են 3.13 և 3.27 - 3.33 նկարներում:

Տեղանքի գրունտային պայմանների ազդեցությունը: Ինչպես նշվեց վերևում աղետի գոտի ժամանած ամերիկյան և ֆրանսիական գիտնականները իրականացրել են մեծ ծավալի հետազոտություններ աֆտերշոկերի աշխարհագրական բախշվածության, մակերևույթային խզվածքաառաջացման առանձնահատկությունների բացահայտման և գրունտի տատանումների սաստկացման



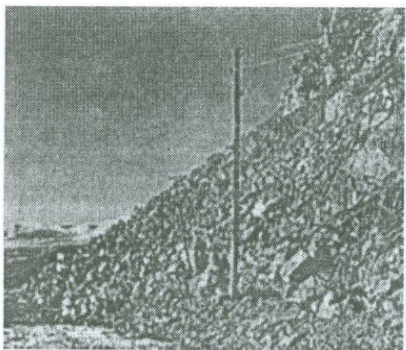
Նկ. 3.26 Սափիտակի երկրաշարժի ժամանակ առաջացած մակերևութային խզվածքի գեոմորֆոլոգիական դրությունը և խզվածքի ուղղահայաց ուղղությամբ երկրաբանական կտրվածքները [136]:



Նկ. 3.27 Սեյսմոդիսլոկացիաների ընդհանուր տեսքը Սպիտակի երկրաշարժի էպիկենտրոնային գոտում [136]:



Նկ. 3.28 Լենինական քաղաքի արևմտյան մասում երկրաշարժից առաջացած սողանքները [136]:



Նկ. 3.29
Տուֆաապարների սողանք
Սպիտակի շրջակայքում [89]:



Նկ. 3.30
Երկաթբետոնե հենապատերի փլուզումներ
Սպիտակի մերձակայքում [89]:



Նկ. 3.31 Հրաբխային տուֆաապարների սահուն-հոսք Սպիտակի
արևմտյան կողմում [89]:



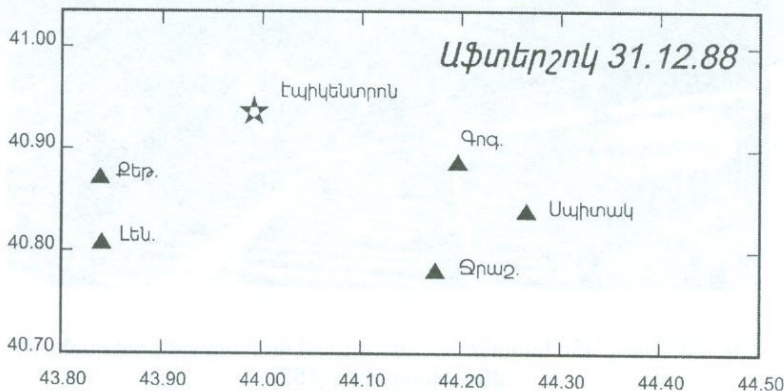
Նկ. 3.32 Նալբանդ կայանի երկաթուղային ճանապարհի տեղամասի վնասվածքները [152]:



Նկ. 3.33 Երկրաշարժից ավտոճանապարհների բանուկ մասերում առաջացած ճեղքվածքները [152]:

ու թուլացման խնդիրների լուսաբանման նպատակով:

Աֆտերշոկերի գրանցումների վերլուծության արդյունքները ցույց են տվել, որ գրունտի տատանումների բնութագրերը պայմանավորված են գրանցման տեղի երկրաբանական առանձնահատկություններով: Այս հանգամանքը ավելի ցայտուն ի հայտ է եկել Լենինականում, որտեղ վնասվել են մեծ թվով բազմահարկ բնակելի շենքեր, քան Կիրովականում, չնայած նրան, որ Կիրովականը գտնվում է գլխավոր հարվածի էպիկենտրոնից ավելի մոտ հեռավորության վրա: Ժամանակավոր սեյսմիկ կայանների օգնությամբ գրանցվել են հարյուրավոր



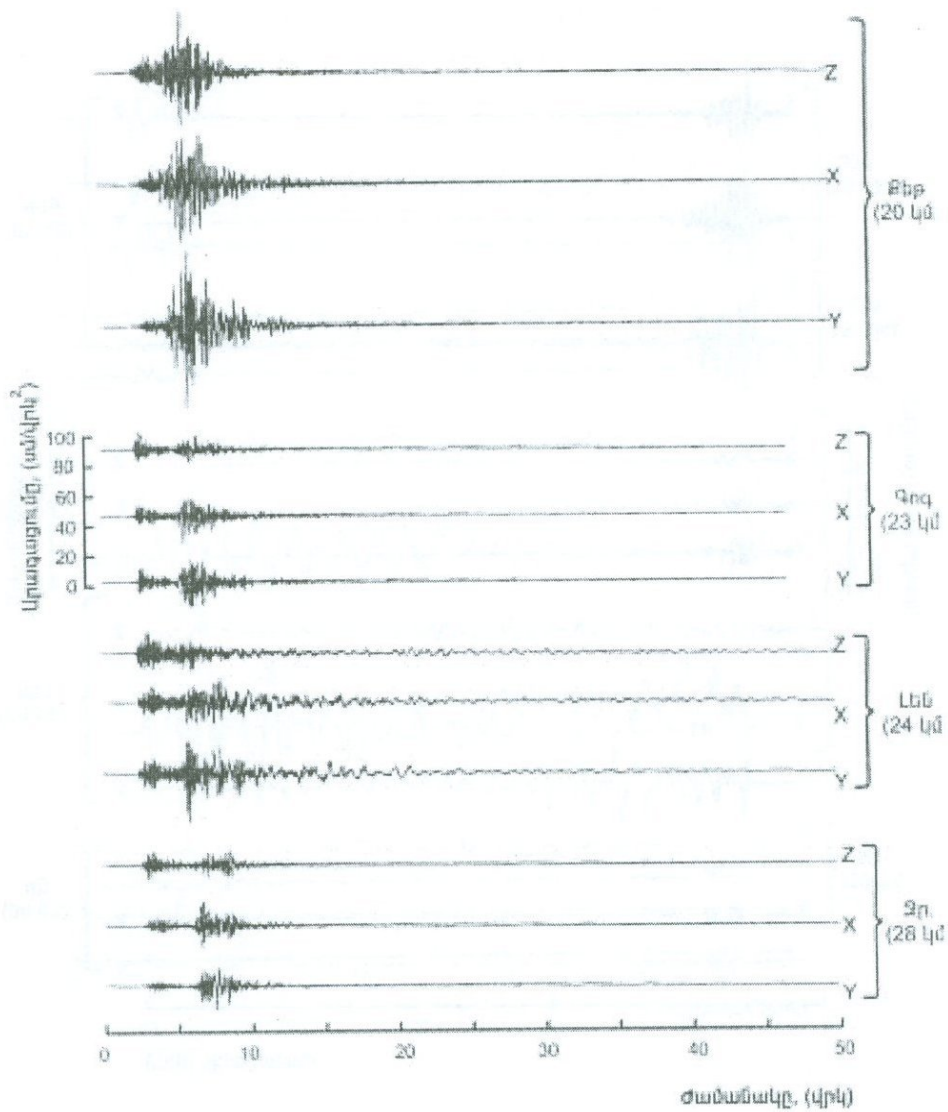
Նկ. 3.34 Ժամանակավոր սեյսմիկ կայանների դասավորությունը 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի աֆտերշոկի ժամանակ:

աֆտերշոկեր, որոնց ուսումնասիրությունների արդյունքները ունեն մեծ գիտական նշանակություն և ինչ-որ չափով լրացնում են այն բացը, որը տեղի ունեցավ հիմնական հարվածի գրանցման գործում: Ժամանակավոր կայանները ի սկզբանե հատուկ տեղաբախշված էին տարբեր գրունտային պայմաններով տեղանքներում: Քեթիի, Գոգարանի և Ջրաշենի ժամանակավոր սեյսմիկ կայանները տեղակայված են ժայռային գրունտներում, իսկ Գյումրիի կայանը՝ քաղաքի

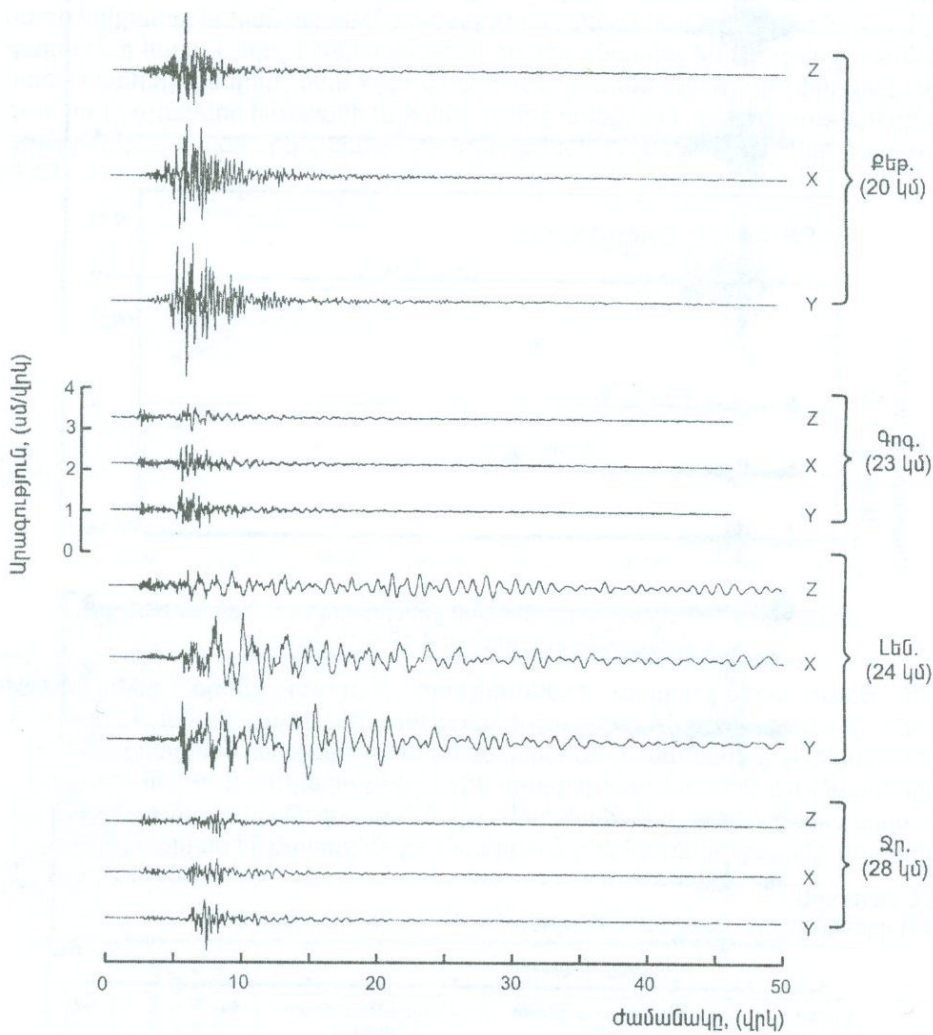
Սղյուսակ 3.5
1988 դեկտեմբերի 31 – ի աֆտերշոկի գրանցման արդյունքները [81]

Գրանցման կայանը	Ֆիպոկենտրոնային հեռավորություն (կմ)	Մաքսիմալ արժեքները								
		Գետնի արագացման (սմ/վրկ ²)			Գետնի արագության (սմ/վրկ)			Գետնի տեղափոխության (սմ)		
		Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Քեթի	19.9	42	38	57	1.6	1.4	1.9	0.080	0.070	0.070
Գոգարան	23.5	12	18	16	0.4	0.5	0.5	0.028	0.024	0.037
Գյումրի	23.6	17	15	31	0.4	1.1	1.0	0.050	0.250	0.220
Ջրաշեն	28.2	12	13	16	0.3	0.4	0.7	0.025	0.022	0.042

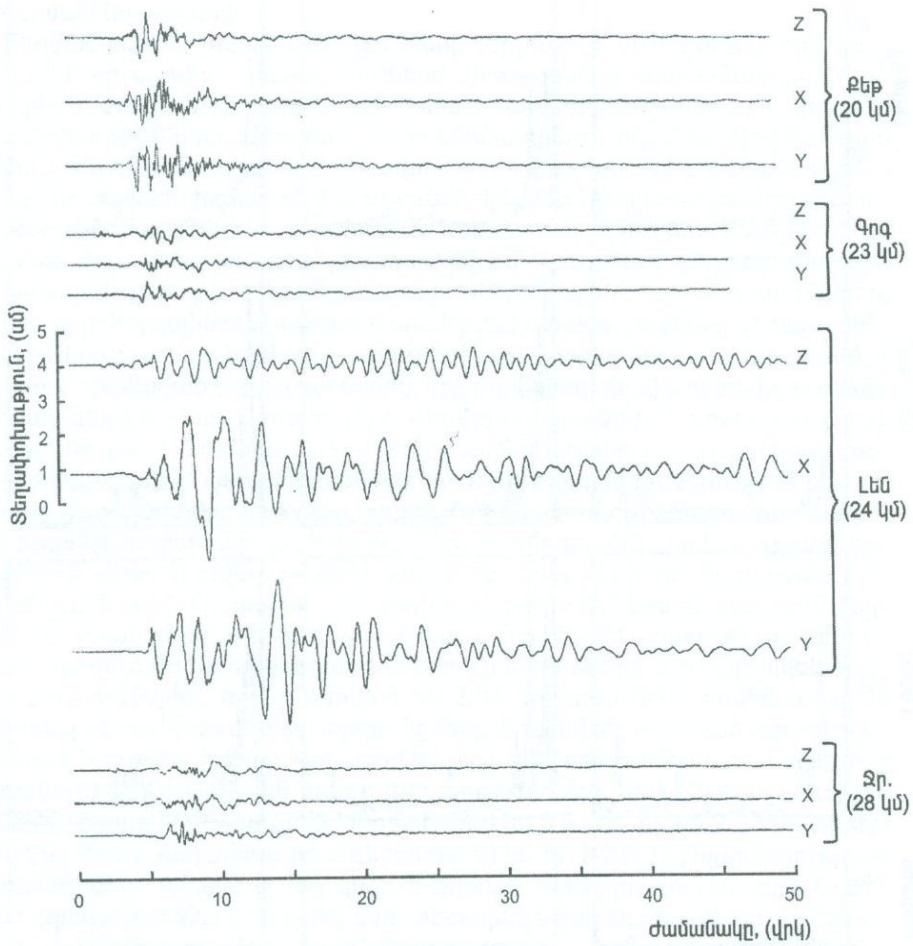
կենտրոնական մասին առանձնահատուկ թույլ ալյուվիուալ (գետաբերուկ) գրունտային տեղամասում: Նրանց տեղաբախշման դասավորվածությունը ցույց է տրված 3.34 նկարում: 1988 թվականի դեկտեմբերի 31-ին տեղի ունեցած $M_s=4.5$ ($m_b=4.7$) մագնիտուդով աֆտերշոկի էպիկենտրոնից (կորդինատները՝ $40^\circ 58' \text{ Ն}$ և $43^\circ 58' \text{ Ա}$) այդ կայանները ունեն համարյա նույն հեռավորությունը:



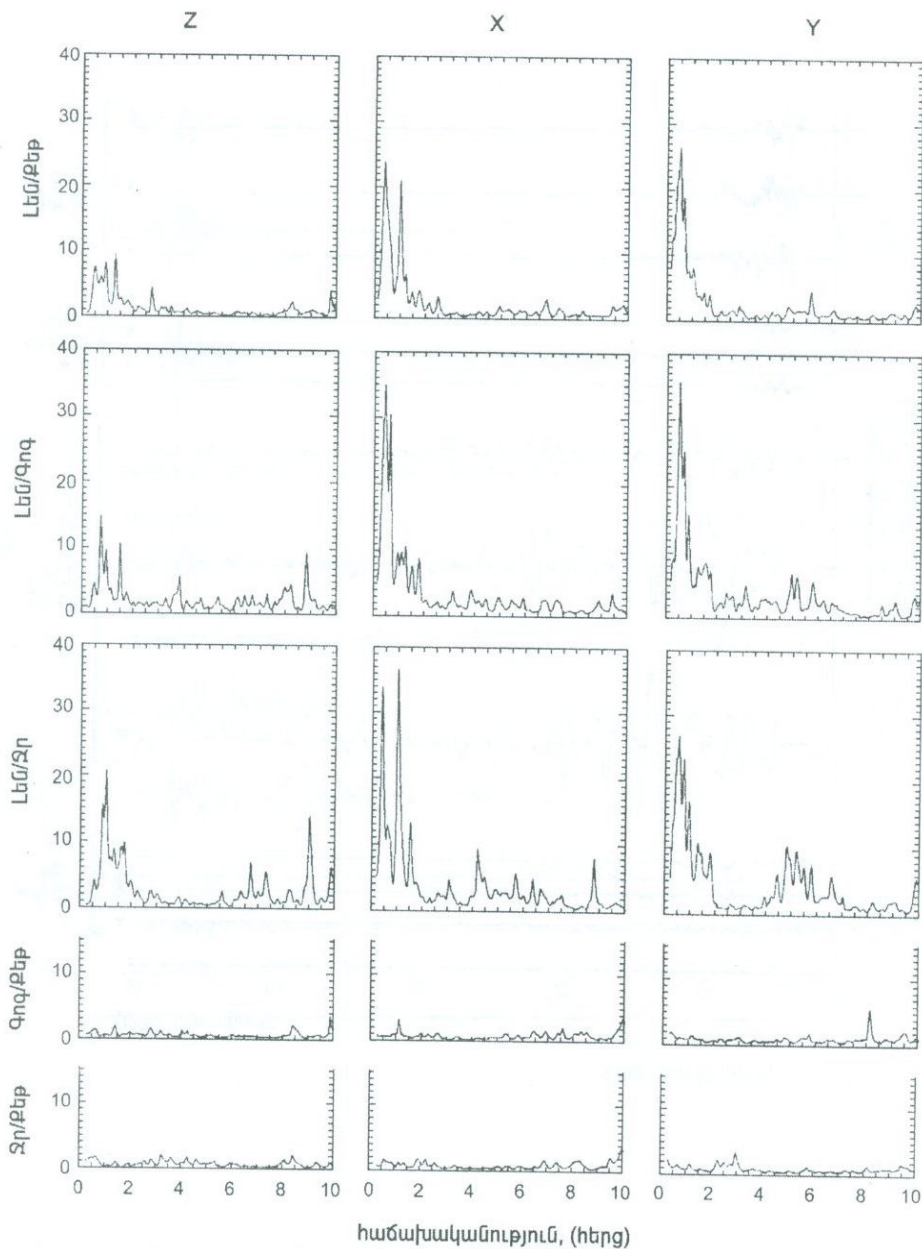
Նկ. 3.35 1988 թվականի մարտի 31-ի աֆտերշոկի ժամանակ ԲԵՔ-ում, ԳՈԳ-ում, ԼԵՆ-ում և ԶՐ. -ում գրանցված գետնի արտելերոգրամները [81]:



Նկ. 3.36 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի աֆտերշոկի վելիստոգրամները (ստացված են արբելերոգրամների ինտեգրման միջոցով) [81]:



Նկ. 3.37 1989թ. դեկտեմբերի 7-ի աֆտերշոկի սեյսմոգրամները
(ստացված են վեկիստոգրամների ինտեգրման միջոցով) [81]:



Նկ. 3.38 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի աֆտերշոկի արսելերոգրամների համեմատական սպեկտրալ վերլուծությունները [81]:

Այդ աֆտերշոկի գրանցման արդյունքները բերված են 3.5 աղյուսակում և 3.35 - 3.38 նկարներում [81]: Երկրաշարժի ժամանակ գրանցվել են միայն գետնի արագացումները (աքսելերոգրամներ), իսկ գետնի արագությունները և տեղափոխությունները ստացվել են արագացումների գրանցումներից հաջորդաբար ինտեգրման եղանակով:

Բերված աֆտերշոկների գրանցումների վերլուծության արդյունքները ցույց են տալիս, որ գրունտի տատանումների բնութագրերը պայմանավորված են գրանցման տեղի երկրաբանական առանձնահատկություններով: Գրունտի տեղափոխությունների մեծությունները Լենինականում միջին հաշվով 8 անգամ գերազանցել են համարյա նույն հեռավորության վրա ժայռային տեղամասերում գրանցված տեղափոխումների մեծություններին: Գետնի արագացումների մեծությունները Քեթի ժայռային տեղամասում, ի հակառակ ընդունված համընդհանուր կարծիքի, մոտ երկու անգամ գերազանցել են Գյումրիում թույլ գրունտային տեղամասում գրանցված նրանց մեծություններին: Նմանատիպ ոչ հազվադեպ երևույթ, երբ ժայռային տեղամասում գրանցված արագացումները գերազանցել են ալլուվիուալ տեղամասերում գրանցվածներին, նկատվել է նաև Երևանում ու Տոկիոյում գրանցված երկրաշարժերից, երբ էպիկենտրոնային հեռավորությունը չի գերազանցում 50 կմ: Սյուս կողմից, Գյումրիում գրանցված արագացումների մեծությունը մոտ 1.5 անգամ ավելի մեծ է քան Գոգարանում ու Ջրաշենում ժայռային տեղամասերում գրանցվածները: Ստացված գրանցումների ամենամըշանակալի առանձնահատկությունը կայանում է նրանում, որ գետնի տատանումների (աքսելերոգրամներ, վելիսոգրամներ, սեյսմոգրամներ) տևողությունները Գյումրիում երկու և ավելի անգամ երկար են, քան Քեթիում, Գոգարանում ու Ջրաշենում: Նշված 4 կայաններում գրանցումների առանձնահատկությունները կախված գրանցման տեղի երկրաբանական առանձնահատկություններից, բացահայտվում են նաև արագացումների գրանցումների Ֆուրյեի սպեկտրալ վերլուծություններից, որոնք բերված են 3.38 նկարում [81]: Համեմատական սպեկտրալ վերլուծությունների արդյունքները վկայում են, որ նշված աֆտերշոկի ժամանակ Գյումրիում, Քեթի, Գոգարանի և Ջրաշենի հետ համեմատած, գրունտի տատանումները ունեցել են ավելի մեծ պարբերություններ (փոքր հաճախություններ), որոնց մեծությունները փոփոխվում են 0.5 վրկ. մինչև 2.5 վրկ տիրույթում: Ընդ որում, այդ տիրույթում գերակայում են 1.0 և 2.0 վրկ պարբերությամբ տատանումներ: Ինչպես նշվեց զրքի II զվխում, Գյումրիի գրունտների մասին նույն եզրահանգումների են բերել նաև տեսական և փորձարարական այլ հետազոտությունների արդյունքները նույնպես:

Աֆտերշոկների գրանցումների արդյունքների վերլուծությունները հնարավորություն են ստեղծում նաև որոշ փաստացի տեղեկություններ հայթայթել գրունտային պայմանների ազդեցությունը տեղանքի տատանումների սաստկացման կամ թուլացման վրա: Այդ նպատակով 3.6 աղյուսակում բերված են նույն կայաններում գրանցված տվյալների համեմատական տվյալներ:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, ալլուվիուալ գրունտներով Գյումրիում գրանցված արագացումների ամպլիտուդների հարաբերությունները երեք փոխուղղահայաց ուղղություններով (z , x , y) ժայռային գրունտներով Քեթիի, Գոգարանի և Ջրաշենի համապատասխան արագացումների մեծություններին, չեն գերազանցում 1.9 անգամը, այն դեպքում, երբ տեղափոխությունների նույն հարաբերությունների մեծությունները հասնում են մինչև 10.4 - անգամի:

Տարբեր գրունտային տեղանքներում երկրաշարժից գետնի տատանումների ամպլիտուդների հարաբերությունները

Գրանցման վայրերը	Հեռավորության գործոնի մեծությունը	Ամենամեծ ամպլիտուդների հարաբերությունը								
		Արագացումների համար			Արագությունների համար			Տեղափոխությունների համար		
		Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Գյում./Քեթի	1.19	0.5	0.5	0.6	0.3	0.9	2.2	0.7	4.2	3.7
Գյում./Գոգ.	1.00	1.4	0.8	1.9	1.0	2.2	2.0	1.8	10.4	5.9
Գյում./Ջրաշ.	0.84	1.2	1.1	1.6	1.1	2.3	1.0	1.7	9.5	4.4
		1.0	0.8	1.4	0.8	1.8	1.7	1.4	8.0	4.7

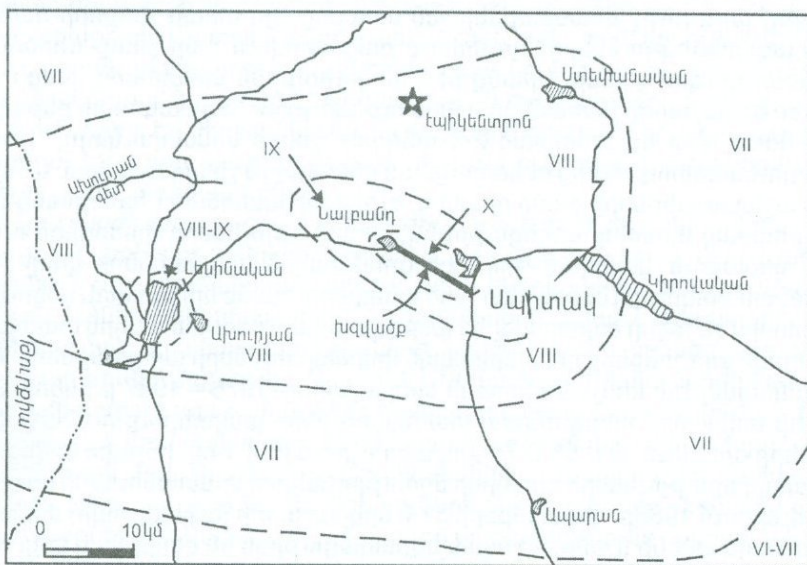
Այսպիսով, բերված արդյունքները ևս մեկ անգամ հաստատում են, որ ալյուվիուալ գրունտներում գետնի արագացումները համեմատած ժայռային գրունտների արագացումների հետ կարող են սաստկանալ ոչ ավելի, քան երկու անգամ, իսկ որոշ դեպքերում կարող է տեղի ունենալ նաև հակառակ երևույթ: Ինչ վերաբերում է գետնի տեղափոխություններին ապա նրանք ալյուվիուալ գրունտներում միշտ մի քանի անգամ գերազանցում են ժայռային գրունտների տեղափոխություններին: Եվ վերջում նշենք, որ ժայռային գրունտներում երկրաշարժից առաջանում են փոքր պարբերությամբ, իսկ ալյուվիուալ գրունտներում՝ մեծ պարբերությամբ տատանումներ:

Երկրաշարժի առաջացրած ավերածությունները: Սպիտակի երկրաշարժը առաջացրել է վիթխարի ավերածություններ, բնակելի, հասարակական և արդյունաբերական, պատմաճարտարապետական և եկեղեցական հազարավոր շենքերի փլուզումներ, կենսաապահովման օբյեկտների, կապի և տրանսպորտի միջոցների մեծ ծավալի վնասվածություններ: Երկրաշարժից ամենից շատ տուժել են երեք քաղաքներ՝ Սպիտակը, Գյումրին և Վանաձորը: Երկրաշարժի առաջացրած խզման գոտուց այս քաղաքները համապատասխանաբար գտնվում են 1-9 կմ հեռավորության վրա Սպիտակը, 25 կմ հեռավորության վրա Վանաձորը և 32 կմ հեռավորության վրա Գյումրին: Երկրաբանական տեսանկյունից Սպիտակը և Վանաձորը տեղակայված են գետերի հունների երկարությամբ՝ լեռնային ռելիեֆով տարածքներում: Սպիտակի շրջակայքի տեղագրությունը այնքան էլ կտրտված չէ, ինչպես Վանաձորում: Երկու քաղաքների տարածքների մեծ մասը դասավորված են մինչև տասնյակ մետր հզորությամբ հին գետային դարավանդային գոյացումների վրա, հողերի բարակ շերտերի վրա, կամ շրջապատի լեռների կազմության գոյացումների վրա: Շինությունների մեծ մասը Վանաձորում ամենայն հավանականությամբ կանգնեցված են ժայռային գրունտների վրա [81]: Գյումրիի տարածքը գտնվում է լայն ալյուվիուալ հարթավայրում: Ռեգիոնալ երկրաբանական կտրվածքների ուսումնասիրությունները վկայում են, որ Գյումրին գտնվում է մինչև 3-4 կմ խորության նստվածքային գոյացումների ավազանում: Երկրի մակերևութին մոտ երկրաբանական կտրվածքները Գյումրի քաղաքի մեծ մասի համար վկայում են ալյուվիուալ գրունտների՝ ավազի, կավի, կոպիճի, ավազակավի, լճային նստվածքների հզոր շերտերի առկայությունները, որոնք տարածվում են մինչև 300-400 մ խորություններ: Բացի դրանից Վանաձորը գտնվում է նեղ հովտում՝ ուղիղ բարձր սարերի դեմ դիմաց, իսկ Գյումրին գտնվում է լայնածավալ փոսորակում [92, 81, 18]: Երկրաշարժագետների մեծ

մասը գտնում է, որ նշված քաղաքների երկրաբանական այսպիսի առանձնահատկությունները զգալի ազդեցության են ունեցել այդ քաղաքներում կառուցված շինությունների երկրաշարժադիմացկունության վարքի վրա: Երկրաշարժի գոտում կառուցված ժամանակակից բազմահարկ շինություններից փլուզվել են կամ ծանր վնասվածքներ ստացել են Սպիտակում նրանց 87 %, Գյումրիում՝ 52 % և Վանաձորում՝ 24 %: Սպիտակ քաղաքում մեծ ծավալի ավերածությունները բացատրվում են խզվածքի գոտուց (էպիկենտրոնից) քաղաքի մոտիկությամբ: Կարևոր հանգամանք է հանդիսանում այն փաստը, որ Վանաձոր քաղաքը տուժել է ավելի նվազ չափով, քան Գյումրին, չնայած Գյումրին խզման գոտուց գտնվում է ավելի հեռու տարածության վրա: Առանձնապես մեծ փլուզումների են ենթարկվել Գյումրիում կառուցված 9 հարկանի հավաքովի կմախքապանելային կոնստրուկտիվ լուծումներով 111 սերիայի բնակելի տները: Գյումրիում կառուցված այդ տիպի 133 տներից համարյա ոչ մեկը կանգուն չի մնացել, այն դեպքում, երբ Վանաձորում կառուցված նույն տիպի 108 տներից ոչ մեկը ոչ միայն չի փլուզվել, այլև լուրջ վնասվածքներ չեն ստացել: Այդ տիպի շենքերի զանգվածային ավերածությունները Գյումրիում բացատրվում է մի շարք գործոնների համատեղ զուգակցմամբ: Նրանց մեծ խոցելիության պատճառը, բացի տեղի ունեցած երկաշարժի անհամեմատ մեծ ուժգնության (նախագծման ընթացքում ընդունվածի հետ համեմատած 2-4 անգամ), շենքի կոնստրուկտիվ լուծման անարդյունավետությունից ու կառուցման ընթացքում շինարարական և մոնտաժային աշխատանքների ցածր որակից, գլխավոր պատճառ է հանդիսացել նաև նրանց համար սեյսմիկ ազդեցությունների մեծությունների (ինտերցիոն ուժերի) զգալի մեծացում՝ կապված Գյումրիի գրունտային պայմանների վերը նշված առանձնահատկությունների հետ (մեծ պարբերությամբ երկարատև ցնցումներ), որի շնորհիվ շենքերը ենթարկվել են անթույլատրելի ռեզոնանսային տատանումների: Իրոք, այդ շենքերի դիսամիկական փորձարկումների արդյունքները, որոնք իրականացվել էին մինչև Սպիտակի երկրաշարժը՝ 1978 – 1987 թվականներին, ցույց են տվել, որ նրանց ազատ տատանումների պարբերությունների մեծությունները գտնվում են 0.55-0.75 վրկ տիրույթում [60]: Իսկ, ինչպես նշվեց վերելում, պարբերությունների այդպիսի մեծություններով տատանումներ են գրանցվել Գյումրիում 1988թ. դեկտեմբերի 31-ի երկրաշարժի (աֆտերշոկի) ժամանակ: Ի լրումն այս ամենի նշենք, որ նման եզրակացության են բերել նաև երկրաշարժից անմիջապես հետո աղետի գոտի ժամանած ճապոնացի մասնագետների հետազոտությունների արդյունքները: Ըստ նրանց կատարած հետազոտությունների, որոնք իրականացվել են ճապոնական ժամանակակից գերզգայուն չափիչ սարքավորումների օգնությամբ, գրունտների գերակշռող տարբերությունների մեծությունները Գյումրիում կազմում են 0.5-0.6 վրկ, Սպիտակում՝ 0.2-0.3 վրկ և Վանաձորում՝ 0.2-0.4 վրկ [114, 136, 142]: Որ այդ շենքերի ավերածությունների գլխավոր պատճառը նրանցում առաջացած ռեզոնանսային երևույթներն են եղել, վկայում է նաև այն հանգամանքը՝ նույն 111 սերիայի հավաքովի կմախքապանելային կոնստրուկտիվ լուծումներով 5 հարկանի մի քանի շենքեր (սեփական պարբերությունների արժեքները մոտ 2 անգամ փոքր), որոնք կառուցված էին, նույնպես Գյումրիում չենք վնասվածքներ էին ստացել: Ինչ վերաբերվում է Գյումրիում կառուցված 9 հարկանի խոշորապանելային շենքերին, որոնք ոչ միայն կանգուն են մնացել, այլև չենք վնասվածքներ են ստացել, ապա բացի այն հանգամանքից, որ այդպիսի կոնստրուկտիվ լուծումներով շենքերը ունեն

երկրաշարժերին դիմակայելու մեծ ունակություններ (նշենք, որ երկու այդպիսի շենքեր չեն փլուզվել նաև Սպիտակում, չնայած երկրաշարժի մեծ ուժգնության շնորհիվ ստացել են ծանր վնասվածքներ), նրանց ազատ տատանումների պարբերությունների մեծությունները գտնվում են 0.35-0.4 վրկ. տիրույթում, որը բացառում է նրանց համար ռեզոնանսի առաջացման հավանականությունը:

Գյումրիի համեմատաբար մեծ չափերի ավերածությունների պատճառը, որի վրա քիչ ուշադրություն է դարձվում, մեզ թվում է այն է նաև, որ, ինչպես նշվեց վերևում, երկրաշարժի գլխավոր հարվածը բաղկացած է եղել երեք ենթահարվածներից, որից երրորդի, երկրաշարժի սկզբից 10 վրկ. հետո, էպիկենտրոնը գտնվել է Սպիտակից 30 կմ դեպի արևմուտք: Սա նշանակում է, որ հիմնական հարվածի որոշ ժամանակահատվածում Գյումրին գտնվել է էպիկենտրոնից 10-12 կմ հեռավորության վրա և ընդհակառակը, հիմնական հարվածի այդ ժամանակ հատվածում Վանաձորը գտնվել է էպիկենտրոնից մոտ 40 կմ հեռավորության վրա, այլ ոչ թե 25:



Նկ. 3.39 Սպիտակի երկրաշարժի իզոսեյստերը [136]:

Շատ վեճեր են եղել նաև Սպիտակի երկրաշարժի իզոսեյստերի դասավորության մասին: Նկ. 3.39 բերված է երկրաշարժից անմիջապես հետո խորհրդային և արտասահմանյան մի խումբ մասնագետների կողմից առաջարկված Սպիտակի երկրաշարժի իզոսեյստերի նախնական տարբերակը [136], իսկ Նկ. 3.40-ում երկրաշարժից մի քանի տարի անց ՀՀ ՍՊԱԾ-ում (հեղ. Ա. Ավանեսյան) կազմված իզոսեյստերի քարտեզը: Ինչպես երևում է նկարներից, հատկապես Գյումրիի շրջակայքում երկու տարբերակների իզոսեյստերը ունեն զգալի տարբերություններ:

Տարբեր կոնստրուկտիվ լուծումներով բնակելի, հասարակական, արդյունաբերական, տրանսպորտային, հիդրոտեխնիկական շինությունների, ինչպես նաև պատմաճարտարապետական հուշարձանների վրա երկրաշարժի ներգործության հետևանքների ինժեներական վերլուծությունների համալիր արդյունք-

The map shows the distribution of the 1988 earthquake epicenters in the Yerevan region. The epicenters are marked with numbers 1 through 10, indicating the sequence of the earthquakes. The map includes the city of Yerevan and surrounding areas, with concentric circles indicating the epicenters. The map is labeled with various locations in Armenian, including Yerevan, Gyumri, and Vanadzor.

 Հիմնական ցուցումների վերնակենտրոնները
  Հետցուցումների շրջանը

 Իզոսեյստեր
  Ֆոկալ մեխանիզմ

Երկրաշարժի սոցիալ - տնտեսական հետևանքները: Երկրաշարժից տուժել է հանրապետության տարածքի ավելի քան 40 %, որտեղ բնակվում էին մոտ 1 միլիոն մարդ: Երկրաշարժի գոի են դարձել 25 հազարից ավելի մարդ, 19 հազար մարդ վիրավորվել է, ավելի քան 500 հազար մարդ մնացել է անօթևան: Լրիվ կամ մասնակի ավերվել են 21 քաղաքներ և շրջակայքեր, քայքայվել կամ խիստ վնասվել է բնակֆոնդի 20 %, հարյուրավոր դպրոցներ ու մանկական հիմնարկներ, առողջապահական, մշակույթի, առևտրի ու կենցաղ-սպասարկման ավելի քան 2 հազար օբյեկտներ (աղյուսակ 3.7): Ընդհանուր հաշվով Երկրաշարժից

տուժվել է ավելի քան 9 միլիոն քառակուսի մետր բնակտարածություն, որից 4.7 մլն քառ. մ. լրիվ ավերվել է կամ ենթակա է քանդման մեծ վնասվածությունների պատճառով: Լրիվ կամ մասնակի քայքայվել են 230 արդյունաբերական, 80 վերամշակման և 300 կոլեկտիվ գյուղատնտեսական օբյեկտներ, 224 անասնապահական ֆերմաներ: Երկրաշարժի հասցրած ընդհանուր վնասը կազմել է ավելի քան 13 միլիարդ ռուբլի (նախկին ԽՍՀՄ-ի 1988թ. տարադրամով):

Աղյուսակ 3.7
Սպիտակի երկրաշարժի զոհերի թիվը և վնասների ծավալները [36]

Երկրաշարժից տուժած բնակավայրերը	Բնակչության թիվը		Բնակելի տներ		Արդյունաբերական և գյուղատնտեսական հիմնարկներ		Հասարական շենքեր և կառուցվածքներ		Ավերվածության աստիճանը%
	Ամբողջը	Չհիվանդները	Կառուցված	Քանդված	Կառուցված	Քանդված	Կառուցված	Քանդված	
Սպիտակ	18500	9733	433	433	9	6	28	24	100
Գյումրի	232000	9974	12450	11250	40	40	669	323	75
Վանաձոր	171000	420	7162	2333	34	6	456	-	25
Ստեփանավան	21000	63	2134	1430	9	1	134	12	67
Գյուղական բնակավայրեր	146500	4352	29533	20094	1404	1293	581	186	34
Ամբողջ ատեղի	589000	24542	51712	35395	1496	1348	1868	540	60

Երկրաշարժը հսկայական բացասական ազդեցություն է ունեցել հանրապետության բնակչության վերարտադրության, դեմոգրաֆիական վիճակագրության և մարդկանց ներվահոգեբանական կեցվածքի վրա: Այն նաև բացահայտել է արտակարգ իրավիճակներում բնակչության պաշտպանվածության բնագավառում Հանրապետության անբավարար պարաստականությունը:

Երկրաշարժի միջազգային արձագանքները և անհապաղ օգնությունը աղետի գոտում: Սպիտակի երկրաշարժը մեծ արձագանք է գտել ամբողջ աշխարհում: Երկրագնդի բոլոր ծայրերից հայ ժողովրդին օգնության ձեռք են մեկնել հազարավոր հասարակ մարդիկ, բժիշկներ, փրկարարներ, արվեստի և մշակույթի գործիչներ, պառլամենտների պատգամավորներ, նախարարներ, պետության և կառավարության ղեկավարներ: Հայաստանը օգնության կարգով ստացել է մեծ քանակությամբ ներարկման արյուն, սննդամթերք, հագուստ, բժշկական սարքավորումներ և դեղեր, կապի միջոցներ, վրաններ, տնակներ, տնաշինական կոմբինատներ, տեխնոլոգիական սարքավորումներ: ԽՍՀՄ կառավարության ղեկավար Ն.Ի.Ռիժկովը ղեկավարել է օգնության կազմակերպման ամբողջ աշխատանքը: Երկրաշարժից անմիջապես հետո առաջինը հայ ժողովրդին օգնության ձեռք են մեկնել Վրաստանի ներկայացուցիչները: Փրկարարական աշխատանքներին ակտիվ մասնակցություն են ունեցել Ֆրանսիայի, Յուգոսլավիայի, ԱՄՆ-ի, Անգլիայի, Կանադայի, Ավստրիայի, Իտալիայի, Ալժիրի,

Հարավսլավիայի, Լեհաստանի քաղաքացիները, որոնց անձնագրի աշխատանքի շնորհիվ հազարավոր մարդկանց կյանք է փրկվել: Անգնահատելի մեծ աշխատանք են կատարել տարբեր երկրների հազարավոր օդաչուներ: Անհամեմատելի էր բժշկական օգնության մասշտաբները: Աղետի գոտի են ժամանել 17 երկրների 417 բժիշկ: Առաջին երեք օրերին 10 հազար մարդ էր հոսպիտալացված, որոնց օգնում էր 6000 բժիշկ: Երկրաշարժից տուժվածների բուժօգնության գործում անգնահատելի էր Ե.Ի.Չագովի, Պ.Ի.Չերնյայևի, Կ.Ի.Կոզուբեի, Ի.Վ.Տոֆանի, Օ.Գուդուշաուրիի (ԽՍՀՄ) և այլոց շատ շատերի աշխատանքները: Աղետի գոտուց 40 հազար մարդ էվակուցվել են Վրաստան, Ղրիմ, Ստավրոպոլի և Կուբանի երկրամասեր: Հարյուրավոր երեխաներ և վիրավորվածներ բժշկական օգնություն են ստացել ԱՄՆ-ի, Իտալիայի, Ֆրանսիայի, Գերմանիայի հիվանդանոցներում: Երկրաշարժի առաջին օրերին տարբեր երկրների մասնագետների օգնությամբ վերականգնվել են տասնյակ առաջին անհրաժեշտության օբյեկտներ և արտադրական ձեռնարկություններ: 1989 թ. սկզբից սկսվել էր իրագործվել վերականգնողական վիթխարի աշխատանքային ծրագրեր: Նախատեսվում էր երկու տարվա ընթացքում շահագործման հանձնել 5.3 միլիոն քառ. մ բնակելի տարածք, կառուցել բազմաթիվ դպրոցներ, հիվանդանոցներ: Այս գործին լցվել էին բոլոր միութենական հանրապետությունները: Նախկին ԽՍՀՄ առանձին քաղաքացիների կողմից աղետի գոտու վերականգման համար տրամադրված դրամական նվիրատվությունների ընդհանուր գումարը կազմում էր մոտ 1.4 միլիարդ ռուբլի: Արտասահմանյան երկրներից ստացված նյութական օգնության գումարը կազմում էր 500 միլիոն դոլար, իսկ ֆինանսական օգնության գումարը՝ 80 միլիոն դոլար, հայկական սփյուռքի օգնության գումարը՝ 50 միլիոն դոլար: Շինարարական և վերականգնողական մեծ ծավալի աշխատանքներ են իրականացվել Անգլիայի, Ֆրանսիայի, ԱՄՆ-ի, Իտալիայի Գերմանիայի Ավստրիայի, Շվեյցարիայի, Չեխիայի և աշխարհի շուրջ 20 երկրների կողմից, այդ թվում 346 հազար քառ. մետր բնակմակերես, 4722 աշակերտ. տեղերով դպրոցներ, 1480 տեղով մանկական հիմնարկներ, 2015 տեղով հիվանդանոցներ, 71 պոլիկլինիկաներ և այլն: Հայ ժողովրդին օգնության ձեռք մեկնելու գործում իրենց պետական գործունեությամբ և անձնական միջոցների նվիրատվությամբ աչքի են ընկել Զ.Բուշը, Ռ.Ռեյգանը, Զ.Բեկերը, Ռ.Դոուլը, Զ.Դոկմեջյանը, Ա.Խամերը, Դ.Պետերսոնը (ԱՄՆ), Մ.Թետչերը (Անգլիա), Դ.Կոլը (Գերմանիա), Ֆ.Միտերմանը, Պ.ժոկյը, Ժ.Շիրակը, Մ.Դերաժը, Շ.Ազնավուրը (Ֆրանսիա), Ռ.Խոուկը (Ավստրալիա), Ժ.Սարնեյը (Բրազիլիա), Ի.Ռաուն, Լ.Շպատը (ԳՂՀ), Փ.Ջաքարիան (Դանիա), Դ.Գալերմանը (Իսրայել), Մայր Թերեզան (Հնդկաստան), Ա.Խաչենյան (Իրան) և շատ ուրիշներ, երաժիշտներ, արվեստագետներ, բժիշկներ, գիտնականներ, հոգևորականներ, հասարակական գործիչներ, պառլամենտականներ, դպրոցականներ: Հայ ժողովուրդը իր խոր երախտագիտությունն է հայտնում բոլոր երկրներին, կազմակերպություններին և անձանց, որոնք երկրաշարժի դժվարին օրերին և հետագա տարիներին իրենց նյութական, ֆինանսական ու բարոյական աջակցությունը ցուցաբերեցին իր նկատմամբ:

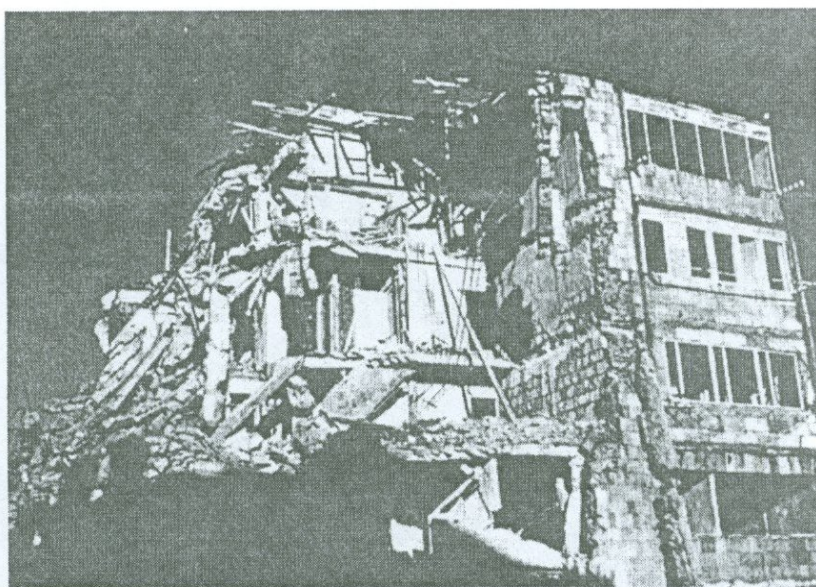
Սպիտակի աղետի կապակցությամբ մեր երկրի նկատմամբ համաշխարհային հանրության ցուցաբերած համերաշխության ու նյութական մեծ օժանդակության մասին մանրամասն տեղեկություններ կան հայ և օտարերկրյա (խորհրդային) լրագրողների բազմաթիվ գրքերում [8, 15, 16, 22]:

ՄՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻՑ ԱՌԱՋԱՑԱԾ
ԱՎԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

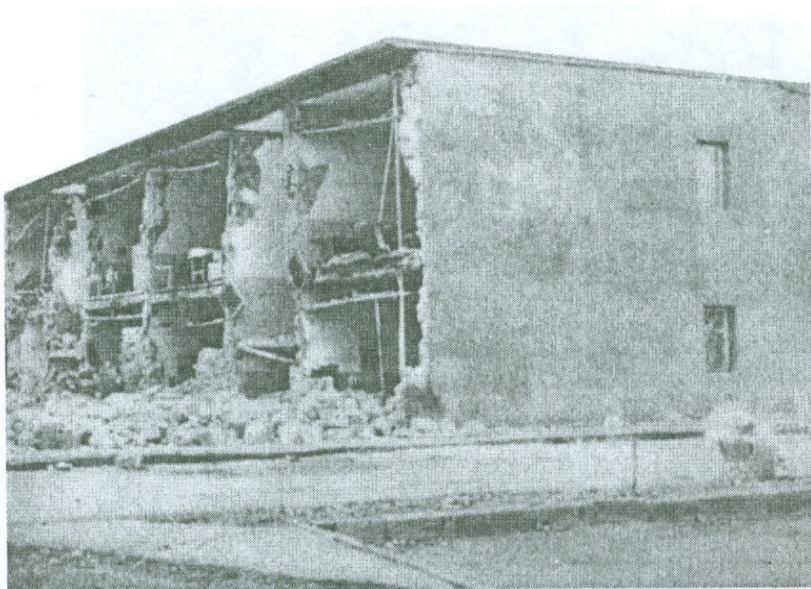




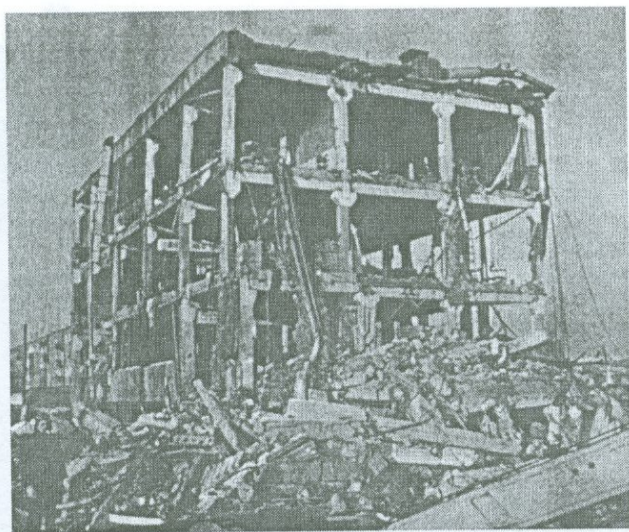
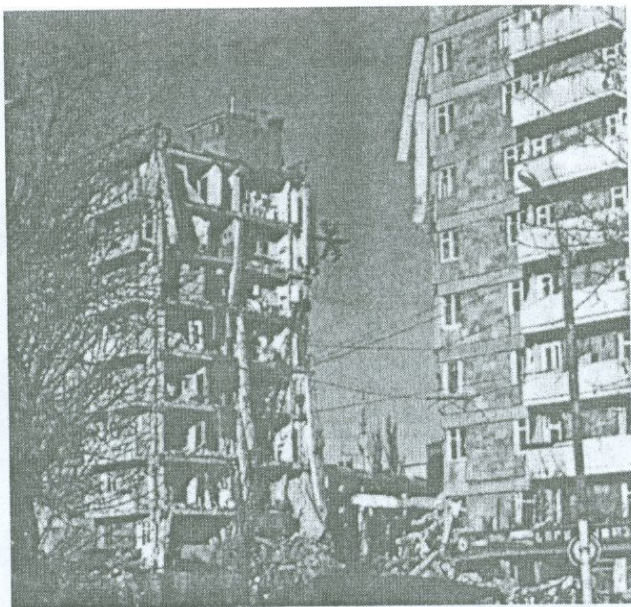






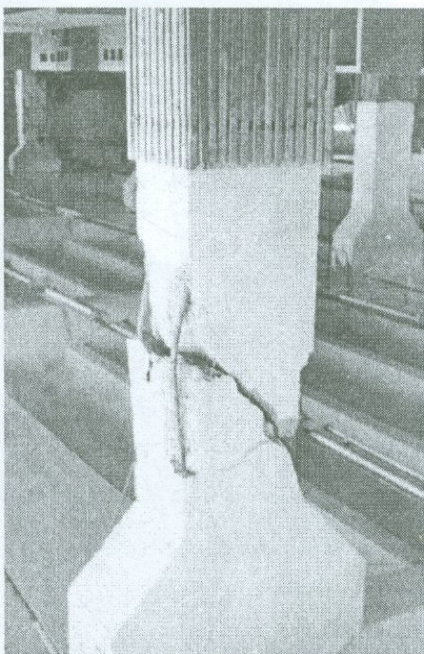
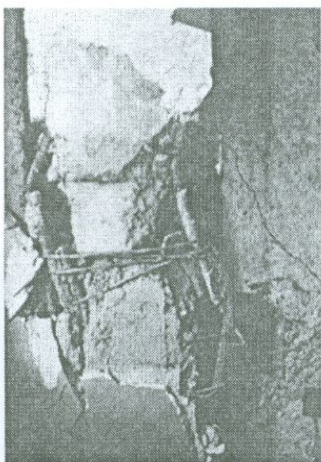
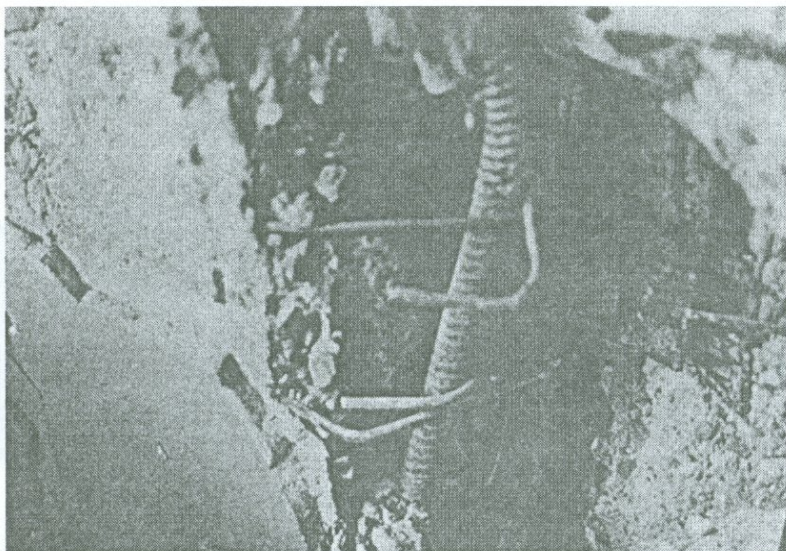


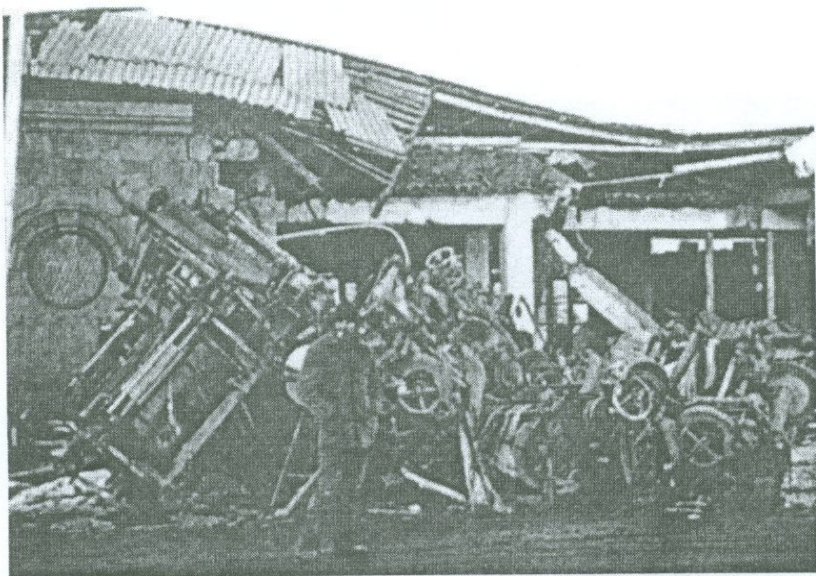


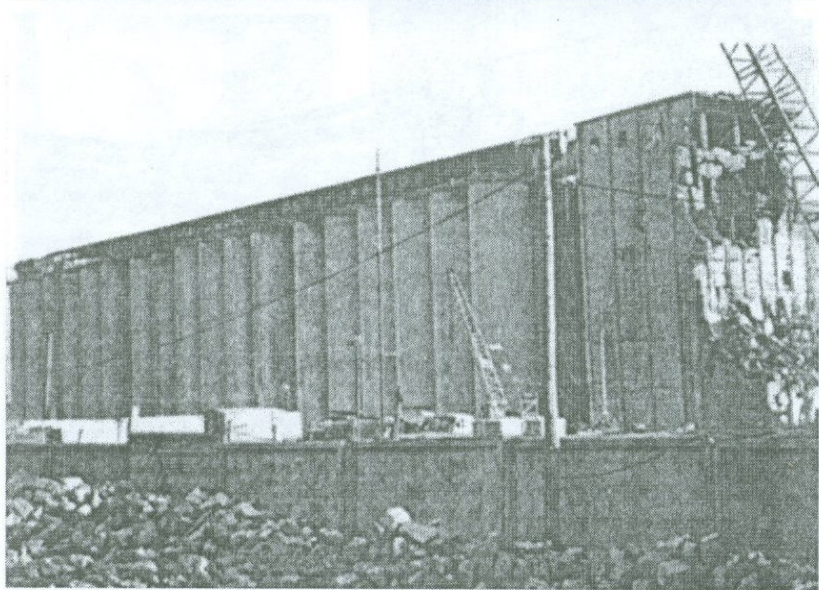
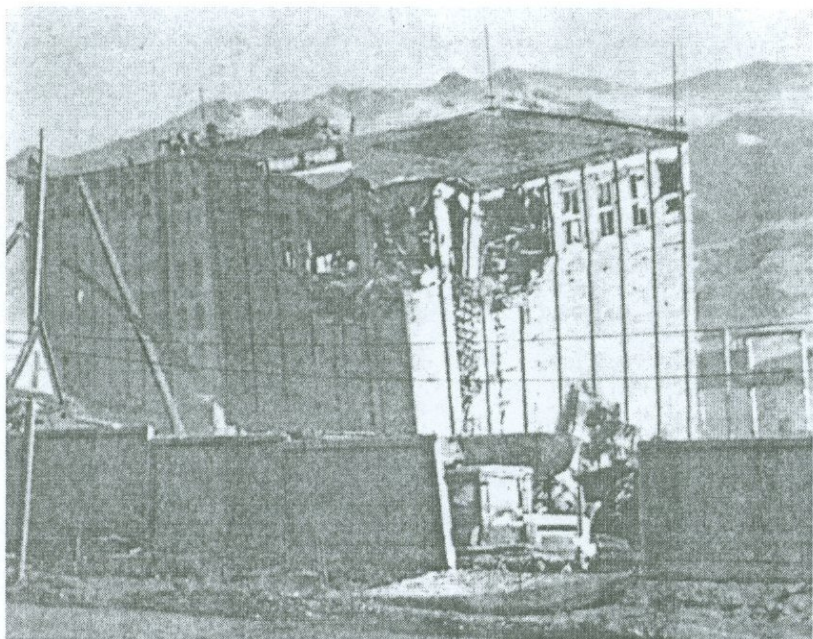




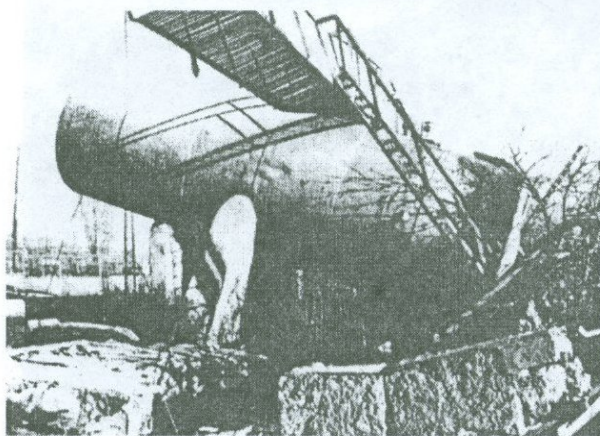
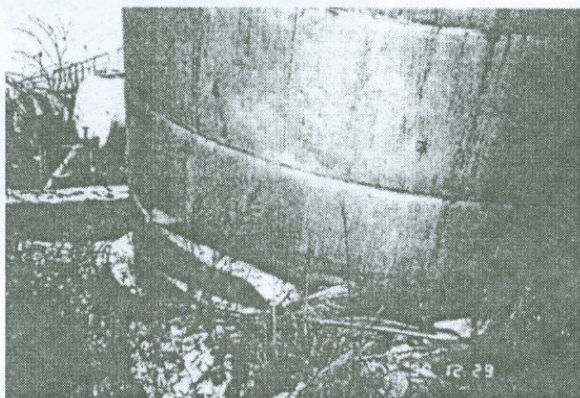
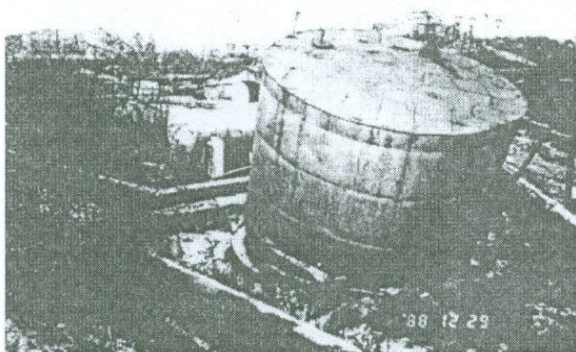


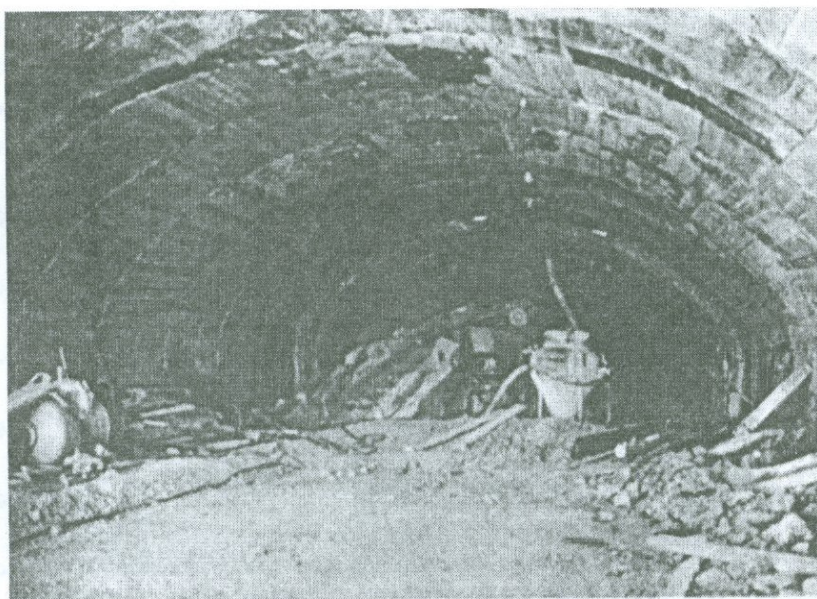
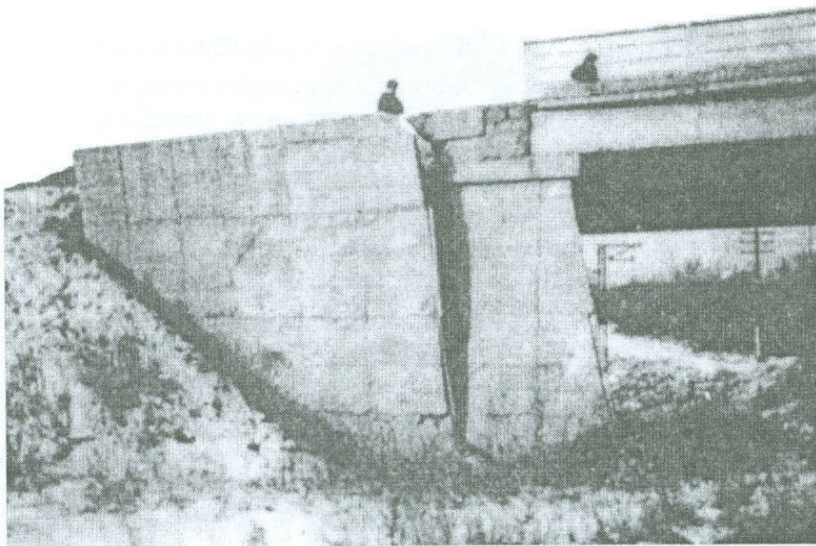


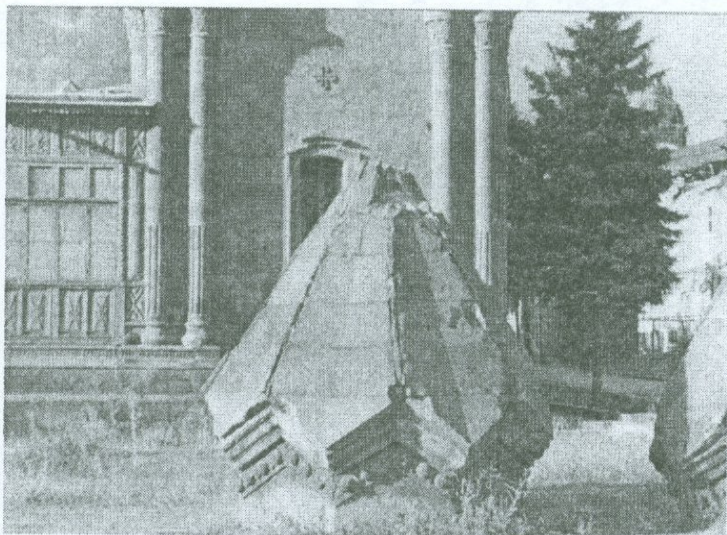
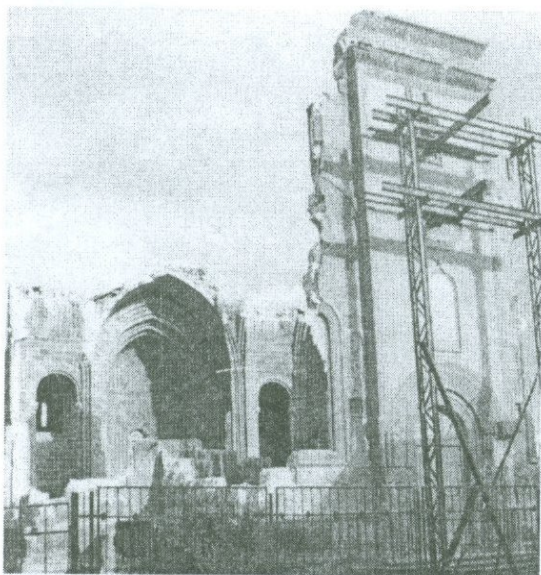




ՄՊԻՏԱԿԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻՑ ԱՌԱՋԱՑԱԾ ԱՎԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ







ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐԸ

- 132թ. Զժան Խենի սեյսմոսկոպի ստեղծումը:
- 1783թ. Դաշտում երկրաշարժի գիտական հետազոտությունների սկիզբը (Իտալիա-Կալաբրիա):
- 1846թ. Երկրաշարժերի մասին Մալեի առաջին ընդհանուր հոդվածը:
- 1855թ. Կրեյլի առաջին սեյսմոգրաֆը:
- 1865թ. Առաջին երկրաշարժագիտական դիտարկումները Մանիլայում (Ֆիլիպիններ) սեյսմոսկոպների օգնությամբ:
- 1879թ. Անգլիական գիտնականների խմբի կողմից ճապոնիայում մախագծում են սեյսմոգրաֆներ:
- 1880թ. Կազմակերպվում է ճապոնական երկրաշարժագիտական ընկերությունը:
- 1880թ. Զ.Յուլինգը և Զ.Միլնը ստեղծեցին գործնական կիրառման առաջին սեյսմոգրաֆը, որը հնարավորություն տվեց առաջին անգամ բացահայտել P (երկայնական) և S (ընդլայնական) սեյսմիկ ալիքները:
- 1884թ. Մշակվեց երկրաշարժի ուժգնության Ռոսսի-Ֆորելի սանդղակը:
- 1885թ. «Ռելեյի ալիքների» տեսության մասին Ռելեյի հոդվածը:
- 1887թ. Հիմնադրվում են սեյսմիկ կայաններ Կալիֆոռնիայում:
- 1896թ. Հիմնադրվում է Բրիտանական սեյսմոլոգիական կենտրոնը:
- 1898թ. Տոկիոյում Օմորին ստեղծում է սեյսմոգրաֆ:
- 1902թ. Թիֆլիսում լույս տեսավ Կարապետ Կոստանեանի «Շարժի տարեգրութիւն հայոց մեջ» գիրքը:
- 1903թ. Հիմնադրվում է Երկրաշարժագիտական միջազգային ընկերությունը:
- 1906թ. Գոլիցինը Ռուսաստանում պատրաստում է առաջին էլեկտրամագնիսական սեյսմոգրաֆը:
- 1906թ. Երկրաշարժերի ծագման «առաձգական տացքի» Ռիդի տեսությունը:
- 1909թ. Երկրի կեղևում «Մոխորովիչիի սահմանի» հայտնագործումը Մոխորովիչիի կողմից (Խորվաթիա):
- 1911թ. Հիմնադրվում է Ամերիկայի երկրաշարժագիտական ընկերությունը և նրա պարբերականի (BSSA) հրատարակումը:
- 1911թ. Լյավի ալիքների տեսության ստեղծումը:
- 1913թ. Գուտենբերգը Գյոտտինգենում որոշեց Երկրի միջուկի շառավիղը:
- 1918թ. Միջազգային սեյսմոլոգիական ամփոփագրի (ISS) հրատարակման սկիզբը:

- 1922թ. Թերները (Անգլիա) հայտնաբերեց խորքաօջախային երկրաշարժեր:
- 1923թ. Փասադենայում (ԱՄՆ) սկսվեցին Վուդ-Անդերսոնի (պտտական) սեյսմոմետրների օգնությամբ կարգավորված գրանցումները:
- 1923թ. Տոկիոյում ստեղծվում է երկրաշարժերի ուսումնասիրության ինստիտուտ:
- 1924թ. ԽՍՀՄ տարածում ստացան Նիկիֆորովի սեյսմոգրաֆները (պտտական):
- 1926թ. Քարե կրող պատերով շենքերի երկրաշարժակայունությունը բարձրացնելու նպատակով հայ գիտնական Կ.Ջավրիկը մշակեց «հակասեյսմիկ գոտիներ»:
- 1927թ. Մ.Իշինոտոն ստեղծեց առաջին թեքաչափիչը:
- 1931թ. Հիմնադրվեց Երևանի սեյսմիկ կայանը:
- 1932թ. Բենիոֆֆը ստեղծեց երկրի դեֆորմացիա չափող գործիք՝ դեֆորմոգրաֆ:
- 1933թ. Կալիֆոռնիայում հրատարակվեց օրենսդրական Դաշտային ակտը, որը կանոնակարգում էր դպրոցական շենքերի կառուցումը:
- 1935թ. Երևանում հիմնադրվեց Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտը:
- 1935թ. Հրատարակվեց Ռիխտերի մագնիտուդների սանդղակը:
- 1940թ. ԽՍՀՄ տարածքի, այդ թվում ՀՍՍՀ-ի, սեյսմիկ շրջանացման առաջին քարտեզի ստեղծումը:
- 1940թ. ԽՍՀՄ Գիտությունների Ակադեմիայի Հայկական ԽՍՀ մասնաճյուղում ստեղծվեց հակասեյսմիկ շինարարության բյուրո:
- 1946թ. Հուլիսի 24-ին Բիկինիում (ԱՄՆ) փորձարկվեց ատոմային ռումբ: P-ալիքը գրանցվեց հեռավոր կայաններում:
- 1946թ. Հիմնադրվեց Գյումրիի սեյսմիկ կայանը:
- 1948թ. Հիմնադրվեց ԳԱԱ «Գիտություններ երկրի մասին» տեղեկագիրը:
- 1950թ. Հիմնադրվեց Ստեփանավանի սեյսմիկ կայանը:
- 1951թ. Հիմնադրվեց Գորիսի սեյսմիկ կայանը:
- 1953թ. Սերգեյ Սեդվեդկը ստեղծեց երկրաշարժի ուժի գնահատման СБМ սեյսմոմետրը:
- 1954թ. Արմեն Նազարովը ստեղծեց բազմաճոճանավոր АИС-2 (ИГИС) սեյսմոմետրը:
- 1957թ. Սեյսմակայուն շինարարության վերաբերյալ առաջին նորմերի ստեղծումը ԽՍՀՄ-ում:
- 1957-1958թ. Միջազգային երկրաֆիզիկական տարի:
- 1960-1970թ. «Սալերի տեկտոնիկա»՝ երկրի վերին շերտերի (լիթոսֆերայի) և երկրաշարժերի առաջացման կինեմատիկական մոդելի վարկածի ծագումը:

- 1961թ. Ստեղծվեց ԳԱԱ Գյումրիի երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմոլոգիայի ինստիտուտը:
- 1962թ. Հրապարակվեց ճապոնական մասնագետների «Երկրաշարժերի կանխագուշակում - նվաճումներ և հետագա հետազոտությունների ծրագրեր» համառոտ վերլուծականը (Կ. Ցուբոի, Կ. Վադատի, Տ. Նագիվառա):
- 1964թ. Մշակվեց երկրաշարժի ուժի գնահատման MSK-64 սեյսմիկ սանդղակը (հեղինակներ՝ Ս. Վ. Медведев, W. Sponheuer, V. Karnic):
- 1966թ. Երկրաշարժի մոմենտի գաղափարը (Կ. Ակի):
- 1975թ. Փետրվարի 4-ին ժ. 14.00 չինական մասնագետները, ելնելով մի շարք նախանշանների առկայությունից, հայտարարեցին ընդհանուր տագնապ հայշեն քաղաքում սպասվող ուժեղ երկրաշարժի մասին: Մարդկանց հայտնվեց, որ առաջիկա երկու օրերի ընթացքում սպասվում է ուժեղ երկրաշարժ: Իրականացվեցին բոլոր հնարավոր փրկարարական միջոցառումները, այդ թվում բնակարաններից և հիվանդանոցներից մարդկանց հեռացումը: Տագնապի հայտարարումից 5 և կես ժամ հետո՝ ժամը 19 անց 36 րոպեին տեղի ունեցավ ուժեղ երկրաշարժ 7.3 մագնիտուդով: Առաջին անգամ կանխագուշակվեց այդպիսի հզոր երկրաշարժ:
- 1982թ. Շահագործման ենթարկվեց ԳԱԱ Գառնիի երկրաֆիզիկական դիտակայանը:
- 1989թ. Երևանում ՄԱԿ-ի հովանավորությամբ տեղի ունեցավ Միջազգային գիտաժողով՝ նվիրված Սպիտակի երկրաշարժին:
- 1990թ. Շինարարության և ճարտարապետության Հայկական գ/հ ինստիտուտը վերափոխվեց Հայաստանի Սեյսմակայուն շինարարության գ/հ ինստիտուտի:
- 1991թ. Ստեղծվեց ՀՀ Սեյսմիկ պաշտպանության ազգային ծառայությունը:
- 1994թ. Մշակվեց և գործադրվեց առաջին հայկական ՀՀՇՆ II-2.02.94 «Սեյսմակայուն շինարարություն. նախագծման նորմեր» նորմատիվային փաստաթուղթը:
- 1990-1999թ. Բնական աղետների ազդեցության նվազեցման ՄԱԿ-ի միջազգային տասնամյակը:

ԵՐԿՐԱԳՆԴԻ ՎՐԱ ՏԵՂԻ ՈՒՆԵՑԱԾ ՆՇԱՆԱԿԱԼԻՑ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԸ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՀԵՏԵՎԱՆՔՆԵՐԸ

կրճատումներով ու լրացումներով փոխառնած են
[13, 19, 23, 41, 53, 79, 89, 94, 95, 116, 147, 152] աղբյուրներից

Երկրա- շարժի տարե- թիվը	Երկրաշարժի վայրը	Մագնի- տուղը	Ձողված- ների թիվը	Դիտարկումներ
1	2	3	4	5
Մ.թ.ա. մոտ 1250թ.	<i>Սինայի լեռ</i>			«Ամբողջ լեռը ուժեղ ցնցվեց», երբ Մովսեսը պատրաստվում էր ունկնդրել տասը պատվիրանները: <u>Աստվածա- շունչ</u> , երկրորդ գիրք, 19:18
Մ.թ.ա. 780թ.	<i>Չինաստան, Շենսիի նահանգ</i>			Բազմաթիվ ավերվածություններ Սիա- նում:
Սի քանի դար մ.թ.ա.	<i>Հայաստան, Արարատ</i>			Մասիսի հյուսիս-արևելյան լանջին առաջացել է մեծ խորություն ու լայ- նություն ունեցող Վիհը: Երկրաշարժի փաստը նշվում է Մովսես Խորենացու «Պատմություն հայոց» աշխատության մեջ:
Մ.թ.ա. 373թ.	<i>Հունաստան</i>			Ավերվեց Գելիսը Կորինթյան ծովա- փին: Քաղաքի զգալի մասը սահեց ծովը:
Մ.թ.ա. 70թ.	<i>Չինաստան, Շանդուն նահանգ</i>		6000	
Մ.թ.ա. 63թ.	<i>Իտալիա, Վեգուվի հրաբխի շրջակայք</i>			Երկրաշարժը շարունակվել է 16 տարի, այն ավարտվել է 79թ. օգոստոսի 24-ի հրաբխային ժայթքմամբ, որը խորտա- կեց Պոմպեյը և Հերկուլանումը:
139թ.	<i>Հայաստան, Արարատյան դաշտավայր</i>	5.7		
342թ.	<i>Թուրքիա</i>		40000	Ավերվել է Անտիոքը: «Հայկական լեռ- ները սկզբում հեռանում են իրարից, ապա մորից մոտենում սարսափելի աղմուկով» (պատմիչ):
21.07. 367թ.	<i>Միջերկրական ծովի արևելյան ափ</i>		50000	Մեծ ավերվածություններ Կրիտում, Ալեքսանդրիայում ցունամիի զոհ դառան 5000 մարդ:
427թ.	<i>Ադրբեջան, Գանձակ</i>	6.7		
09.07. 551թ.	<i>Լիբանան</i>			Ավերվեց Բեյրութը:

1	2	3	4	5
03.07. 735թ.	Հայաստան, Վայոց ձոր	6.5	10000	«... երկիրը եռում էր անեղ կերպով, ստորերկրյա դողդյուն առաջացնում, անդունդից բարձրանում էր մինչև վեր և նորից, որպես ծովի ալիք, փլուզում էր, տապալվում էին լեռները, քարերն իրենց հիմքից քանդվում, տներն գեղեցիկ ապարանքները ամենուրեք երերվում էին և մարդկային ծայնի նման երկրի խորքից և վերևից լսելի էին լինում «վայ ձոր, վայ ձոր» խոսքերը և 10 հազար կենդանի մարդիկ ընկղմվեցին, որոնց գիտեին և թվարկեցին, իսկ անծանոթներին ոչ ոք չէր կարող հաշվել: Այս պատճառով գավառի անունը «Վայոց ձոր» կոչվեց»: <u>Ստեփանոս Օրբելյան</u>
18.09. 844թ.	Սիրիա		50000	Ավերվեց Դամասկոսը:
Դեկ., 856թ.	Հյուսիսային Աֆրիկա և Միջին Արևելք		45000	Ավերվեցին մի շարք քաղաքներ Թունիսում և Իրանում:
27.03. 893թ.	Հայաստան, Դվին	6	70000	Ավերակների կույտի է վերածվում Դվին արքայանիստը:
893թ.	Հնդկաստան		180000	Մեծ ավերվածություններ:
09.01. 1038թ.	Չինաստան, Շանսի նահանգ	7.3	32000	Բազմաթիվ գյուղական բնակավայրերի ավերումներ:
1046	Հայաստան, Անի	5.5		«Երկրաշարժը կործանեց Անիի հույակապ պալատները և եկեղեցիները և կուլ տվեց շատ բնակիչներ» (պատմիչ):
18.03. 1068թ.	Պաղեստին		25000	Բազմաթիվ գյուղական բնակավայրերի ավերումներ:
08.09. 1138թ.	Սիրիա		100000	Ավերվեց Հալեպը:
25.09. 1139թ.	Ադրբեջան, Գանձակ	7.1	հազարավոր	Կործանվեց Գանձակը, փլվեց Ալիարակ լեռը, փակվեց գետի ուղին, առաջացավ նոր լիճ: Քանդվեց Հաղպատի եկեղեցին:
20.05. 1202թ.	Միջին Արևելք		30000	Երկրաշարժը ընդգրկել է շուրջ 2000000ք.կմ. տարածքներ՝ ներառյալ Եգիպտոսը, Սիրիան, Փոքր Ասիան, Սիցիլիան, Հայաստանը և Ադրբեջանը: Հաղորդություններում նշվում է կամ 1201, կամ 1202 թվականները, իսկ զոհերի թիվը գնահատվում է 1 միլիոն մարդ, որը ունի մեծ անհավանականություն:
20.05. 1293թ.	Ճապոնիա, Կանագահա նահանգ		30000	Մեծ ավերումներ Կամակուրում:

1	2	3	4	5
17.09. 1303թ.	<i>Չինաստան, Շանսի նահանգ</i>	8.0	15000	Մեծ ավերվածություններ:
05.12., 1455թ.	<i>Իտալիա</i>		40000	Ուժեղ տուժել է Նեապոլը:
26.01. 1531թ.	<i>Պորտուգալիա, Լիսաբոն</i>		30000	
23.01. 1556թ.	<i>Չինաստան, Շենսիի նահանգ</i>	8.0	830000	Պատմության ամենաահավոր բնական աղետը: Երկրաշարժը տեղի է ունեցել գիշերը, խիստ բնակեցված Սիանի շրջակայքում: Առաջացրել է հազարավոր սողանքներ՝ փափուկ ապառներով լանջերում: Մեծ թվով մահացել են քարանձավների բնակիչներ:
30.07. 1626թ.	<i>Իտալիա, Նեապոլ</i>		70000	
Նոյեմբեր 1667թ.	<i>Ադրբեջան, Շամախի</i>	7.0	80000	Մի քանի լեռներ տապալվեցին, ավերվեց ողջ Շամախին:
04.07. 1679թ.	<i>Հայաստան, Գառնի</i>	6.3	7600	Տապալվում է Գառնու ամրոցի Տրդատաշեն հեթանոսական տաճարը, ամրոցի մի քանի տոննանոց քարերը երկրաշարժից ընկնում են մոտակա ձորը: Վնասվում են մի շարք եկեղեցիներ, փակվում են գործող աղբյուրներ, բացվում նորերը: Երևանի բերդը հիմքից տապալվեց, կործանվեցին նաև մզկիթն ու միմարենները, Ջանգու գետի վրայի կամուրջը:
05.07. 1688թ.	<i>Թուրքիա</i>		15000	Ավերվածություններ Էգեյան ծովափում:
09.01. 1693թ.	<i>Սիցիլիա</i>		60000	Կատանիայի կործանում:
18.05. 1695թ.	<i>Չինաստան, Շանսիի նահանգ</i>	8.0	30000	
30.12. 1703թ.	<i>Ճապոնիա, Տոկիո</i>	8.2	5200	Ցունամի
1715թ.	<i>Ալժիր</i>		20000	Ավերվեց Ալժիր քաղաքը:
18.11. 1727թ.	<i>Իրան, Թավրիզ</i>	5.7	77000	
01.11. 1755թ.	<i>Պորտուգալիա, Լիսաբոն</i>	8.6	60000	Բոլոր սրբերի օրը. շատերը զոհեցին փլուզվող եկեղեցիներում, լայնամասշտաբ հրդեհներից և ուժեղ ցունամիից:
05.02. 1783թ.	<i>Իտալիա, Կալաբրիա</i>		50000	Երկրաշարժի հետևանքների գիտական ուսումնասիրության առաջին նախաձեռնությունը:
04.02. 1797թ.	<i>Եկվադոր</i>		41000	Ավերվեց Կիտո քաղաքը:

1	2	3	4	5
16.12. 1811թ.	<i>ԱՄՆ, Նյու-Մադրիդ</i>	7.5		Երեք ուժեղ հարվածներով երկրա- շարժը տեղանքի հսկայական փո- փոխություններ առաջացրեց, գետերը փոխեցին հուները, առաջացավ նոր լիճ: Էպիկենտրոնը գտնվում էր բնա- կավայրերից հեռու վայրում և քիչ մարդկային զոհեր եղան:
23.01. 1812թ.	<i>Նույն տեղը</i>	7.3		
07.02. 1812թ.	<i>Նույն տեղը</i>	7.8		
18.12. 1828թ.	<i>Ճապոնիա</i>	6.9	30000	Մեծ ավերումներ:
02.07. 1840թ.	<i>Հայաստան, Արարատ</i>	6.7	1000	Մեծ Արարատի գագաթից 2կմ բարձ- րությամբ պոկվել են սառցակույտե- րով ու ձյունով ծածկված հսկայական ժայռակտորներ, լցվել են կիրճը՝ լիո- վին անհետացնելով Ակոռի գյուղը և Ս. Հակոբ եկեղեցին: Գետնի մակերե- վույթին առաջացել են մինչև 3մ բաց- վածք ունեցող ճեղքեր, որոնցից ժայթ- քել են ավազախառն ջրի մեծ շատր- վաններ: Փոխվել է Արաքս գետի հունը:
11.11. 1855թ.	<i>Ճապոնիա, Խոնայու կղզ.</i>	6.9	7000	Մեծ հրդեհ եղում (Տոկիո):
09.01. 1857թ.	<i>ԱՄՆ, Կալիֆոռնիա</i>	8.3	1	Սան-Անդրեաս խզվածքի ուղղությամբ 9 մետր տեղաշարժ, 400կմ երկարու- թյամբ մակերևութային խզվածքի տա- րածում: Երկրաշարժը տեղի է ունեցել բնակավայրերից հեռու, մահացել է ընդամենը 1 մարդ:
02.06. 1859թ.	<i>Թուրքիա, Երզրում (Կարին)</i>	6.3	15000	Լրիվ փլուզվեցին 1800 տուն, 2400-ը ուժեղ ու թեթև վնասվեցին: Քանդվել են հայկական, հունական, ֆրանսիա- կան եկեղեցիներ և մզկիթներ:
26.03. 1872	<i>ԱՄՆ, Կալիֆոռնիա</i>	8.5	27	ԱՄՆ-ի տարածքում ամենահզոր երկ- րաշարժերից: Երկրաշարժի հետևան- քով առաջացել է 6մ բարձրությամբ սանդղավանդ:
31.03. 1906թ.	<i>Էկվադոր</i>	8.9	1000	Առաջին ուժեղ երկրաշարժը, որը գրանցվել է գործիքներով, տևողու- թյունը ավելի քան 3 րոպե:
18.04. 1906թ.	<i>ԱՄՆ, Սան-Ֆրանցիսկո</i>	8.3	700	Սան-Անդրիաս խզվածքը տրոհվել է 430 կմ երկարությամբ 6մ հարաբե- րական տեղաշարժով: Քաղաքը տուժ- վել է երկրաշարժի հետևանքով բռնկ- ված հզոր հրդեհից, 250000 մարդ մնացել է անօթևան:
28.12. 1908թ.	<i>Իտալիա, Մեսսինա</i>	7.5	58000	Կործանվեց Մեսսինան և 40 փոքր քաղաքներ:

1	2	3	4	5
16.12. 1920թ.	<i>Չինաստան, Նինսյա նահանգ</i>	8.6	200000	Փխրահող (լյուս) լանջերում փորված քարանձավային բնակարաններով խիտ բնակեցված գյուղերի ավերումներ:
01.09. 1923թ.	<i>Ճապոնիա, Տոկիո</i>	8.3	99300	Հայտնի է որպես Կանտոյի երկրաշարժ: Հսկայական փոփոխություններ ռելիեֆում: Ավերումներ մեծ տարածքներում՝ ներառյալ Տոկիոն և Իոկոհաման: Հզոր ցունամի և հրդեհներ: 40000 մարդ վիրավորվել էր, 400000 տուն երկրաշարժից ու հրդեհից ոչնչացվել են:
22.11. 1926թ.	<i>Հայաստան, Լենինական</i>	5.7	300	Երկրաշարժի գլխավոր հարվածին նախորդել է ստորգետնյա դողող, որի շնորհիվ մարդիկ նախօրոք հեռացել են շենքերից: Արձանները տեղաշարժվել են 10-20սմ և պատվել: Երկրաշարժից տուժել է 1500 տուն:
03.03. 1933թ.	<i>Ճապոնիա, ծովափում</i>	8.9	3000	Գործիքներով գրանցված ամենահզոր երկրաշարժը: Հզոր ցունամին հազարավոր մարդկանց զոհվելու պատճառ դարձավ:
27.12. 1939թ.	<i>Թուրքիա, Երզնկա</i>	8.0	32700	Մինչև 4մ լայնությամբ ճաքեր երկրի մակերևույթի վրա:
28.06. 1948թ.	<i>Ճապոնիա, Ֆուկուի</i>	7.3	5400	Միակ հայտնի դեպքը, երբ մարդու զոհվելու պատճառը երկրաշարժից մակերևույթին առաջացած ճեղքվածքը ընկղմվելն էր:
06.11. 1948թ.	<i>Թուրքմենիստան Աշխաբադ</i>	7.3	19800	Երկրաշարժը տեղի է ունեցել գիշերը: Երկաթուղային ռելսերից տապալվել է ապրանքային վազոնաշարանը, ավելի քան 200 շենքերի փլուզումներ:
28.06. 1957թ.	<i>Մեքսիկա, Գերրերո նահանգ</i>	7.9	68	Մեխիկո քաղաքում, էպիկենտրոնից 300 կմ հեռավորության վրա վնասվեցին բարձրահարկ շենքեր:
22.05. 1960թ.	<i>Չիլի, ծովում</i>	8.5	2230	Ցունամիից 61 մարդ զոհվեց Հավայան կղզիներում և 120 մարդ՝ Ճապոնիայում: Ցունամին Չիլիից Ճապոնիա (18000կմ) հասավ 22 ժամ հետո:
27.03. 1964թ.	<i>ԱՄՆ, Ալյասկա Անկորիջ</i>	8.4 - 8.6	131	ԱՄՆ-ի տարածքում ամենանշանակալից երկրաշարժերից: Հայտնի է որպես «կրքոտ ուրբաթի» երկրաշարժը, այն տեղի է ունեցել տոն օր, որով և բացատրվում է զոհերի սակավաթվությունը: Մեծ չափերի հասնող սողանքներ, նստվածքներ (2մ) և բարձրացումներ (10մ), ցունամի: Երկրաշարժի հետե-

1	2	3	4	5
				վանքների ուսումնասիրությունները առաջին անգամ հաստատեցին լիթուֆերային սալերի շարժումների պատճառով երկրաշարժերի առաջացման վարկածը:
16.06. 1964թ.	Ճապոնիա, Նիիգատա	7.6	26	Գետնի համատարած ջրիկացում և իջեցումներ, որոնց պատճառով բազմաթիվ շենքեր ամբողջությամբ տապալվեցին: Հզոր ցունամի:
11.12. 1967թ.	Հնդկաստան, Կոյնա ամբարտակ	6.4	177	Երկրաշարժի պատճառ է հանդիսացել ջրամբարի լցումը: Կոյնա ավանը ծանր վնասվածքների է ենթարկվել:
31.08. 1968թ.	Արևելյան Իրան, Խորասան	7.3	12100	60 հազար մարդ մնացել է անօրևան:
31.05. 1970թ.	Պերու, Չիմբոտե	7.8	67000	Արևմտյան կիսագնդի նշանակալից սեյսմիկ աղետը: Մոտ 800000 մարդ մնացել են անօրևան: Ուսակարան լեռանը առաջացած իրեշավոր սողանքի տակ խորտակվեցին 18000 մարդ:
09.02. 1971թ.	ԱՄՆ, Սան-Ֆերնանդո, Կալիֆորնիա	6.6	58	Տասնյակ շենքերի և կամուրջների ավերումներ: Գրունտներում և շինություններում երկրաշարժի բազմաթիվ (250) գրանցումների իրականացումներ: Պակոմա ամբարտակի ժայռային ափին երկրաշարժից 1.2g արագացման գրանցում:
04.02. 1975թ.	Չինաստան, Խայչեն	7.3	1300	Երկրաշարժը հաջող կանխագուշակվել էր, բնակչությունը նախօրոք տեղահանվել էր: Եղան շինությունների մեծ ավերվածություններ:
28.06. 1976թ.	Չինաստան, Խեբեյ	7.8	243000 - 500000	Խոշորագույն արդյունաբերական կենտրոնը լրիվ ավերվել է: Երկրաշարժը ունեցավ 4 հզոր աֆտերշոկեր 6.5; 6.0; 7.1; 6.0 մագնիտուդներով: Երկրաշարժը տեղի ունեցավ չին մասնագետների կողմից՝ Խայչենի հաջող կանխագուշակված երկրաշարժից ընդամենը 1.5 տարի հետո, պատճառ դարձավ միջև կես միլիոն մարդկանց զոհվելու և լուրջ սասանեց կանխագուշակման կողմնակիցների պատրանքները:
04.03. 1977թ.	Ռումինիա, Վրանչա	7.2	1570	Բուխարեստում ավերվեցին բազմաթիվ բազմահարկ շենքեր:
16.09. 1978թ.	Իրան, Թաբաս	7.7	15000	Թաբասում 13000 բնակիչներից զոհվեցին 9000 մարդ:
10.11. 1980թ.	Ալժիր, Էլ-Ասնամ	7.3	5000	Խզվածքի երկարությամբ առաջացան մեծ բարձրության սանդղավանդներ: 200000 մարդ մնացին անօրևան

1	2	3	4	5
19.03. 1984թ.	<i>Ուզբեկիստան, Գազլի</i>	7.2	1	Երկրաշարժի էպիկենտրոնը գտնվում է Գազլիից հյուսիս-արևմուտք՝ ամայի տարածքում:
19.09. 1985թ.	<i>Մեքսիկա</i>	8.2	4500	Էպիկենտրոնը գտնվում էր Խաղաղ օվկիանոսում: Մեխիկո քաղաքում, էպիկենտրոնից 300 կմ հեռավորության վրա, վնասվել են շատ բարձրահարկ շենքեր, որոնք կառուցված էին թույլ նստվածքային գրունտների վրա:
07.12. 1988թ.	<i>Հայաստան, Սպիտակ</i>	7.0	25000	37 կմ երկարությամբ պատռվածք երկրի մակերևույթի վրա՝ 2մ-ից բարձր սանդղավանդով, գրունտի ջրիկացում, ժայռաթափում և սողանքներ, երկաթգծերի ծռմռումներ: 130000 մարդ վիրավորվեց, որոնցից 18000 տեղափոխվեցին հիվանդանոցներ, 500000 մարդ մնաց անօթևան: Քանդվեցին ավելի քան 35000 բնակելի տներ, 2000 հասարակական և արդյունաբերական շենքեր:
17.11. 1989թ.	<i>ԱՄՆ, Լոմո Պրիետա, Կալիֆոռնիա</i>	7.1	62	Երկրաշարժի ընդհանուր վնասի չափը գնահատվում է 60 միլիարդ դոլար: Ծանր վնասվածքներ ստացան մեծ թվով կամուրջներ, բնակելի և հասարակական տներ, այդ թվում էպիկենտրոնից 80 կմ հեռավորության վրա Սան-Ֆրանցիսկոյում: 3757 մարդ վիրավորվեց, 12000 մարդ մնաց անօթևան: Մեծ մասշտաբի ճեղքվածքներ գետնի վրա, հողի ջրիկացում, ժայռաթափումներ և սողանքներ: Մակերևութային խզվածքի երկարությունը մոտ 40 կմ: 180 կմ շառավղով տարածքներում մոտ 100 տարբեր գրունտային տեղամասերում և բազմահարկ շենքերում և կամուրջներում երկրաշարժի միաժամանակ գրանցումների իրականացում:
20.06. 1990թ.	<i>Իրան, Մանջիլ, Ուղթաբ</i>	7.7	35000	Մոտ 100000 բնակելի, հասարակական և արդյունաբերական շենքեր, կամուրջներ, ամբարտակներ, հիդրոտեխնիկական և գյուղատնտեսական կառույցներ փլուզվեցին: Երկրաշարժից երկրի մակերևույթի վրա առաջացավ 80 կմ երկարությամբ 2.5մ

1	2	3	4	5
				բարձրությամբ սանդղավանդով և մինչև 50սմ լայնությամբ խզվածք, ժայռաթափումներ, սողանքներ, գրունտի ջրիկացում:
13.05. 1992թ.	Թուրքիա, Երզնկա	6.8	600	180000 մարդ մնաց անօթևան, 15000 շինություններ վնասվեցին, որոնցից 4000 փլուզվեց:
12.06. 1993թ.	Ճապոնիա, Օկուշիոյի կղզի	7.8	195	Երկրաշարժի էպիկենտրոնը գտնվում էր ճապոնական ծովում: Յոկկայոյ կղզու արևմտյան ափից 70կմ հեռավորության վրա: Օկուշիոյի կղզում երկրաշարժից առաջացած ցունամիի բարձրությունը հասավ 30 մետրի: Ցունամիից տուժեցին հարյուրավոր շինություններ: Առաջացան ափամերձ հզոր սողանքներ և ճաքճքվածություններ, ճանապարհների խաթրումներ:
17.01. 1995թ.	Ճապոնիա, Կոբե	7.2	6000	26000 մարդ է վիրավորվել, 300000 մարդ մնացել է անօթևան: Երկրաշարժի հասցրած վնասը կազմել է 200 միլիարդ դոլար: 20000 շենքեր ամբողջովին փլուզվել են, իսկ 35000 ենթարկվել են 50% վնասվածքների: Հանշին քաղաքում հիմքից ամբողջությամբ պոկվել է արագ երթևեկության էստակադը՝ 600 մետր երկարության վրա, իսկ Կոբեում 6-12 հարկանի ե/բ շենքերում տեղի են ունեցել միջին հարկերի ամբողջական փլուզումներ:
27.05. 1995թ.	Ռուսաստան, Կամչատկա	7.5	2000	Երկրի մակերևույթին առաջացավ 30 կմ խզվածք, գրունտի ջրիկացում, սողանք: Նեֆտեգորսկ ավանում 17 հինգհարկանի աղյուսե խոշոր բլոկներով տների փլուզումներ, որոնց տակ մնացին 2500 մարդ, զոհվեցին 1900, ավանը լրիվ ավերվեց:
10.05. 1997թ.	Իրան, Խորասանի Մահանգ	7.3	1568	2600 մարդ վիրավորվեց, 147 գյուղերում եղան մեծ ավերվածություններ:
17.08. 1999թ.	Թուրքիա, Իզմիր	7.4	17000	Երկրի մակերևույթի վրա առաջացած խզվածքի երկարությունը հասավ 120 կմ, աջակողմյան տեղաշարժը՝ 4.5 մ: Փլուզվեցին ավելի քան 20000 շենքեր:
25.01. 1999թ.	Կոլումբիա, Արմենիա (քաղաք)	6.2	1200	5000 մարդ վիրավորվեց, 50000 կառույցներ քանդվեցին կամ ստացան

1	2	3	4	5
				լուրջ վնասվածքներ, որոնց հետևանքներով 200000 մարդ ստիպված թողեցին բնակարանները:
21.09. 1999թ.	Թայվան, Չի-Չի	7.7	2350	8700 մարդ վիրավորվել է, 10000 շենքեր, տրանսպորտային և հիդրոտեխնիկական կառույցներ փլուզվեցին, 7000 ստացան վնասվածքներ:
26.01. 2001թ.	Հնդկաստան, Գուջարաթ նահանգ	8.1	100000 (մոտավոր տվյալներ)	Մեծ ավերվածություններ մինչև 250 կմ շառավիղով տարածքներում:

ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՈՒԺԳՆՈՒԹՅԱՆ 12-ԱՍՏԻՃԱՆԻ (ԲԱԼԱՆՈՑ) ՍԱՆԴՂԱԿ՝ - MSK-64

I-II բալ – մարդիկ չեն զգում, գրանցվում է միայն սարքերով:

III բալ – թույլ տատանումներ

Զգում է շենքում, հանգիստ վիճակում գտնվող մարդկանց մի մասը: Այն փողոցով անցնող բեռնատարի առաջացրած տատանումներ է հիշեցնում: Ուշադիր դիտողները նկատում են թեթև վարագույրների, բաց դռների թույլ շարժում: Տատանումներն ավելի զգալի են բարձր հարկերում:

IV բալ – նկատելի ցնցումներ

Զգում են շենքում գտնվողներից շատերը, իսկ դրսում՝ քչերը: Որոշ դեպքերում արթնանում են քնածները: Տատանումները հիշեցնում են փողոցով անցնող ծանր բեռնատարների առաջացրած տատանումները: Զրնգում են լուսամուտների, դռների ապակիները, ապակյա ամանները: Կախված առարկաներն ու կանգնած ավտոմեքենաները, ինչպես նաև տարողություններում գտնվող հեղուկները թույլ օրորվում են:

V բալ – սթափեցում

Հիմնություններում զգում են բոլորը, իսկ դրսում՝ մեծ մասը: Քնածները (համարյա բոլորը) արթնանում են: Կենդանիներն անհանգստանում են: Ցնցվում է ամբողջ շինությունը: Կախված առարկաները ուժեղ օրորվում են, նկարները՝ տեղաշարժվում: Երբեմն կանգնում են պատի ժամացույցների ճոճանակները: Բացվում է անփական դռներն ու լուսամուտները: Որոշ իրեր տեղաշարժվում են, երբեմն՝ շրջվում: Լսվում է հատակի և միջուրների թերև ճռռոց: Ապակիները զրնգում են, պոկվում է ծեփաներկը, իսկ լիքը բաց տարողություններից հեղուկը քիչ քանակությամբ թափվում է: Հիմ, կավաշեն, խարխուլ շինություններում հնարավոր են թերև վնասվածքներ, սվաղի ճաքեր: Թափվում են փոքր բեկորները: Որոշ մարդիկ շենքից դուրս են փախչում:

VI բալ – վախ

Զգում են բոլոր շինությունների ներսում, նաև՝ որոշ բացառությամբ, դրսում գտնվողները: Հիմնություններում գտնվողներից շատերը վախ են ապրում և ակամա դուրս վազում: Կենդանիները փախչում են: Որոշ մարդիկ կորցնում են հավասարակշռությունը: Կախված առարկաներն ուժեղ օրորվում են, իսկ գետնին դրված իրերը վայր ընկնում: Երբեմն շրջվում է կահույքը, հեռուստացույցը: Ծանր կահույքը տեղաշարժվում է: Կավախեցով շարված խարխուլ շինությունները թեթևակի վնասվում են. ճաքեր են առաջանում սվաղում, ծխնելույզների շարվածքում և պոկվում են սվաղի մեծ կտորներ: Նման որոշ կառույցների, հատկապես հներում, առաջանում են մեծ վնասվածքներ: Հիմ, օժանդակ տնտեսական կառույցներում հնարավոր են մասնակի փլուզումներ: Նախագծերով կառուցված առանձին նոր շենքերում հնարավոր են միայն թեթև վնաս-

վածքներ: Մեծ թեքություն ունեցող ջրահագեցած լանջերի սողանքներում երբեմն դիտվում են փոքր տեղաշարժեր, աղբյուրների ջրի ելքի և ջրհորներում ջրի մակարդակի փոփոխություններ:

VII բալ – մեծ վնասվածքներ շինություններում

Շինություններում գտնվող բոլոր մարդիկ վախենում և դուրս են վազում, իսկ ոմանք դուրս թռչում պատուհանից: Դրսում զգում են բոլորը, այդ թվում նաև քայլողներն ու վարորդները: Շատերը դժվարությամբ են պահում հավասարակշռությունը: Թափվում են գրքերը, ամանեղենը, շրջվում են հեռուստացույցները, չամրացված կահույքը: Հաճախ փշրվում են ցուցափեղկերի ապակիները:

Նախագծային մոր կառույցներից շատերում առաջանում են թեթև վնասվածքներ՝ ճաքեր սվաղում, ծխնելույզների շարվածքում, թափվում են սվաղի ոչ մեծ կտորներ: Բլոկներով հավաքված և պանելային կառույցներում նկատելի են դառնում միացման գծերը: Առանձին վատ կառուցված մոր շենքերում հնարավոր են մեծ վնասվածքներ, պատերը հեռանում են, սվաղի մեծ կտորները՝ պոկվում: Կավաշեն տներից շատերը զգալիորեն վնասվում են. պատերում առաջանում են մեծ թափանցիկ ճաքեր, նկատվում են անկյունային պատերի հեռացում, մասնակի փլուզումներ, հաճախ միջնորմների: Հին, խարխված օժանդակ կառույցները փլվում են:

Ջրամբարների մակերեսներին ալիքներ են առաջանում, ջուրը պղտորվում է: Աղբյուրների ջրի ելքն ու ջրհորների ջրի մակարդակը փոխվում է: Հազվադեպ աղբյուրները ցամաքում կամ նորերն են առաջանում: Ջրառատ լանջերում սողանքները շարժվում են: Չոր հիմնահողերում առաջանում են բարակ ճաքեր, առավել ցայտուն՝ խոնավ հողերում: Թեք լանջերում հնարավոր են սողանքներ և մանր քարահոսքեր:

VIII բալ – ուժեղ վնասվածքներ շինություններում

Վախ և խուճապ: Բոլորն ահաբեկված դուրս են վազում շինություններից, շատերը կորցնում են ինքնատիրապետումը, չեն գտնում դուռը և դուրս են թռչում պատուհաններից: Մարդիկ դժվարանում են կանգնած մնալ: Կահույքը շրջվում է, ապակիները՝ փշրվում: Թեթև իրերը դուրս են թափվում: Պատերից կախված առարկաներն ընկնում են:

Ցնցումները զգում են նաև ավտոմեքենաների բոլոր վարորդները՝ անգամ ընթացքի ժամանակ: Կարկասային և պանելային շենքերում առաջանում են զգալի վնասվածքներ, երբեմն մասնակի փլվածքներ: Հին, խարխուլ շինությունները, քարե ցանկապատերը փլվում են, իսկ արձաններն ու հուշասյուները՝ տեղաշարժվում: Հիմնահողերում առաջանում են մինչև մի քանի սանտիմետր լայնությամբ ճեղքեր, թեք լանջերում՝ զգալի քարահոսքեր, փլվածքներ, սողանքներ: Ջրավազաններում ջուրը պղտորվում է: Որոշ աղբյուրներ և ջրհորներ ցամաքում են, և բացվում են նորերը: Առանձին դեպքերում բացվածքներ են առաջանում խողովակաշարերի միացումներում:

IX բալ – համընդհանուր խուճապ և շինությունների ընդհանուր փլուզումներ կամ վնասվածքներ

Կահույքը շրջվում և ջարդվում է: Պանելային շենքերը խիստ վնասվում են, որոշ մասը փլվում է: Քարե կամ աղյուսե շարվածքով նոր շենքերը մեծ վնասվածքներ են ստանում: Խարխուլ շենքերը փլվում են: Խողովակաշարերը շատ տեղերում խախտվում են: Հուշարձանները տեղաշարժվում կամ շրջվում են: Ձգալի վնասվում են արհեստական ջրամբարները, ճանապարհների բանուկ մասերը, երբեմն խախտվում են երկաթգծերը: Հիմնահողերում առաջացած ճեղքերի լայնությունը հասնում է 10 սմ-ի, մերձափնյա մասերում և թեք լանջերում՝ երբեմն ավելի: Լեռնային շրջաններում փլվածքները, քարահոսքերը, սողանքներն ընդհանրական են: Դիտվում են ցեխի արտավիժումներ: Ջրամբարների մակերեսներից առաջանում են մեծ ալիքներ:

X բալ – շենքերի ընդհանուր փլուզում

Հիմնահողներում առաջացած ճաքերի լայնությունը չափվում է տասնյակ սանտիմետրերով և հասնում է մինչև 1,0 մետրի: Հաճախակի են երկաթգծերի խախտումները: Լուրջ վնասվածքներ են ստանում կամ փլվում են կամուրջները, պատնեշները: ճանապարհների մակերեսներին առաջանում են ալիքածալքեր: Ստորգետնյա խողովակաշարերը վնասվում են: Լեռներում ամենուրեք դիտվում են քարահոսքեր, փլուզումներ, սողանքներ: Վերջիններս մեծ չափերի են հասնում ջրառատ վայրերում: Փլուզումներից կարող են առաջանալ նոր լճեր:

XI-XII բալ – կործանում, հիմնավոր փոփոխություններ ռելիեֆում

XI բալի դեպքում լուրջ վնասվածքներ են ստանում մինչև իսկ ամենաամուր կառույցները, կամուրջները, ջրապատնեշները, երկաթգծերը: Ավտոճանապարհները լրիվ աներթնեկելի են դառնում, խզվում են ստորգետնյա խողովակաշարերը: Հիմնահողերում առաջանում են մեծ դեֆորմացիաներ, լայն ճեղքեր, լեռներում՝ հսկայական ճեղքվածքներ:

XII բալի դեպքում փլվում են գործնականում բոլոր վերգետնյա և ստորգետնյա շինությունները:

Առաջանում են ռելիեֆի հիմնավոր փոփոխություններ, լայն ճաքեր, ուղղահայաց ու հորիզոնական մեծ լայնության խզվածքներ: Փլվածքները լեռներում ամենուրեք են, հաճախ փակվում են ձորերը, և լճեր են առաջանում, փոխվում գետահովիտները:

3. Վնասվածքների դասակարգումը

Քարտ և աղյուսե շենքեր	Երկաթբետոնե շենքեր
1-ին աստիճան: Սննջան կամ թեթև վնասվածքներ (կոնստրուկցիաները չեն վնասվել). ոչ շատ պատերում առկա են մազաճաքեր, թափվում են փոքր ծեփակտորներ և հազվադեպ շենքի վերին մասերի չամրացված քարեր: 2-րդ աստիճան: Չափավոր վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի թեթև, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի չափավոր վնասվածքներ). շատ պատերում ճաքերի առաջացում, մեծ ծեփակտորների և ծխախողովակների առանձին մասերի ցած, թափում: 3-րդ աստիճան: Ձգալի կամ մեծ վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի չափավոր, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի մեծ վնասվածքներ). մեծ, տարածված ճաքեր պատերում: Տանիքի կղմինդրի սահում, ծխախողովակների ջարդում տանիքի մակարդակում, որոշ ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի քայքայում: 4-րդ աստիճան: Շատ մեծ վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի ծանր, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի շատ ծանր վնասվածքներ). պատերի զգալի, իսկ շենքի կոնստրուկցիայի մասնակի քայքայում: 5-րդ աստիճան: Փլուզում (կոնստրուկցիայի շատ մեծ քայքայում). շենքի լրիվ կամ համարյա լրիվ փլուզում:	1-ին աստիճան: Սննջան կամ թեթև վնասվածքներ (կոնստրուկցիաները չեն վնասվել). բարակ ճաքեր սվաղում հիմնակմախքի մասերի վրա և միջապատերում: 2-րդ աստիճան: Չափավոր վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի թեթև, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի չափավոր վնասվածքներ). մազաճաքեր սյուներում և հեծաններում: Շաղախի թափում պատերի և պանելների միացման հանգույցներից, ճաքեր միջնորումներում, ծեփի և փխրում մածվածքի բեկորների ցած ընկնում: 3-րդ աստիճան: Ձգալի կամ մեծ վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի չափավոր, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի մեծ վնասվածքներ). ճաքեր սյուներում (բետոնի բեկորների անջատում) և հեծաններում: 4-րդ աստիճան: Շատ մեծ վնասվածքներ (կոնստրուկցիայի ծանր, ոչ կոնստրուկտիվ տարրերի շատ ծանր վնասվածքներ). շինարարական հիմնակմախքի հանգույցների լուրջ վնասվածքներ բետոնի քայքայմամբ և ամրանի մերկացմամբ: Շենքի մասնակի փլուզում, սյուների թեքում: 5-րդ աստիճան: Փլուզում (կոնստրուկցիայի շատ մեծ քայքայում). շենքի լրիվ կամ համարյա լրիվ փլուզում:

4. Ուժգնության աստճանի որոշումը

Սանդղակի կառուցվածքը

- ա. Ազդեցությունը մարդկանց վրա:
- բ. Ազդեցությունը առարկաների և բնության վրա (բացի շենքերի վնասվածություններից և գրունտի վրա ազդեցություններից ու նրա խախտումներից):
- գ. Շենքերի վնասվածությունները:

I Չգացվող

- ա. Չի գացվում մինչև անգամ ամենաբարենպաստ պարագաներում:
- բ. Ներգործություն չկա:
- գ. Վնասվածքներ չկան:

II Հազիվ գացվող

- ա. Թրթռումներ զգում են միայն ոչ շատ (1%-պակաս), հանգիստ վիճակում գտնվող մարդիկ՝ շենքերի առավել զգացողության տեղերում:
- բ. Ներգործություն չկա:
- գ. Վնասվածքներ չկան:

III Թույլ

- ա. Շինություններում երկրաշարժը զգում են ոչ շատերը: Հանգիստ վիճակում գտնվող մարդիկ զգում են ճոճում և թույլ թրթռում:
- բ. Կախված առարկաները թույլ ճոճվում են:
- գ. Վնասվածքներ չկան:

IV Համազգացվող

- ա. Շինություններում երկրաշարժը զգում են շատերը, փողոցում՝ ոչ շատերը: Որոշ մարդիկ անհանգստացած են: Ցնցումների աստիճանը չի վախեցնում: Ցնցումները չափավոր են: Դիտորդները նկատում են շենքերի, սենյակների, անկողինների և աթոռների թեթև ցնցումներ կամ ճոճումներ:
- բ. Ճեմապակիները, բաժակները, պատուհանները և դռները զրնգում են: Հազվադեպ նկատվում են թեթև կահույքի սահում, փայտյա իրերը հազվադեպ ճոճում են:
- գ. Վնասվածքներ չկան:

V ՈՒԺԵՂ

- ա. Շինություններում երկրաշարժը զգում են շատերը, դրսում՝ ոչ շատերը: Ոչ շատերը վախից փախչում են փողոց: Քնածներից շատերը արթնանում են: Դիտորդները զգում են ամբողջ շենքի, սենյակի կամ կահույքի ուժեղ ցնցումներ կամ ճոճումներ:
- բ. Կախված առարկաները նկատելի ճոճվում են: Ճենապակիները, բաժակները իրար խփվելով զնգում են: Մանր, ծանրության կենտրոնի բարձր դիրքով կամ վատ ամրացված առարկաները կարող են շարժվել կամ ընկնել: Դռները և պատուհանները բացվում կամ փակվում են: Ոչ շատ դեպքերում ջարդվում են պատուհանի ապակիները: Հեղուկները ալիքավորվում են և կարող են թափվել լիքը անոթներից: Շինությունների ներսում գտնվող կենդանիները անհանգստանում են:
- գ. Ոչ շատ շենքերում առաջանում են 1-ին աստիճանի վնասվածքներ:

VI ԹԵՔԱ ՎՆԱՍԵԳՆՈՂ

- ա. Շինություններում երկրաշարժը զգում են մարդկանց մեծ մասը, իսկ դուրսը՝ շատերը: Ոչ շատ մարդիկ կողքնում են հավասարակշռությունը: Շատ մարդիկ վախենում են և փախչում բնակարանից:
- բ. Սովորական կայունության մանր առարկաները կարող են ընկնել, իսկ կահույքը՝ տեղաշարժվել: Ոչ շատ դեպքերում կարող են ջարդվել ամանեղենը և ապակին: Տնային կենդանիները (մինչև անգամ փողոցում) կարող են վախենալ:
- գ. Շատ շենքերում առաջանում են 1-ին աստիճանի վնասվածքներ, ոչ շատերում՝ 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ:

VII ՎՆԱՍԵԳՆՈՂ

- ա. Մարդկանց մեծ մասը վախենում է և աշխատում է փախչել փողոց: Շատերը դժվարանում են կանգնել, մանավանդ վերին հարկերում:
- բ. Կահույքը շարժվում է, անկայունը կարող է շրջվել: Առաստաղից մեծ քանակով թափվում են առարկաներ: Ջուրը թափվում է անոթներից, ցիստեռներից և ջրավազաններից:
- գ. Խոցելիության B դասի շատ շենքեր և խոցելիության C դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ: A դասի շատ և B դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ: A դասի ոչ շատ շենքեր ունենում են 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ: Վնասվածքները զգալի նկատելի են շենքերի վերին մասերում:

VIII ՈՒԺԵՂ ՎՆԱՍԵԳՆՈՂ

- ա. Մարդկանց մեծ մասի համար դժվար է մնալ կանգնած՝ մինչև անգամ փողոցում:
- բ. Կահույքը կարող է շրջվել: Հեռուստացույցի, գրանեքենայի տիպի առարկաները կարող են ընկնել հատակին: Գերեզմանաքարերը հնարավոր է լինեն տեղաշարժված, պտտված և շուռ եկած: Շատ փափուկ գրունտներում նկատվում են ալիքներ:
- գ. Խոցելիության C դասի շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ: B դասի շատ և C դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ: A

դասի շատ և B դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ: A դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 5-րդ աստիճանի վնասվածքներ: D դասի շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ:

IX Քայքայիչ

- ա. Ընդհանուր տազնապ: Երկրաշարժը մարդկանց կարող է տապալել գետին:
- բ. Շատ հուշարձաններ և սյուներ ընկնում են կամ պտտվում: Փափուկ գրունտում երևում են ալիքներ:
- գ. Խոցելիության C դասի շատ շենքեր ստանում են 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ: B դասի շատ և C դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ: A դասի շատ և B դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 5-րդ աստիճանի վնասվածքներ: D դասի շատ շենքեր ստանում են II աստիճանի վնասվածքներ, ոչ շատերը՝ 3-րդ աստիճանի: E դասի ոչ շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ:

X Գեր քայքայիչ

- գ. Խոցելիության C դասի շատ շենքեր ստանում են 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ: B դասի շատ և C դասի ոչ շատ շենքեր և A դասի մեծ մասի շենքեր ստանում են 5-րդ աստիճանի վնասվածքներ: D դասի շատ շենքեր ստանում են 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ, իսկ ոչ շատերը՝ 4-րդ աստիճանի: E դասի շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի, իսկ ոչ շատերը՝ 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ: F դասի շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի վնասվածքներ:

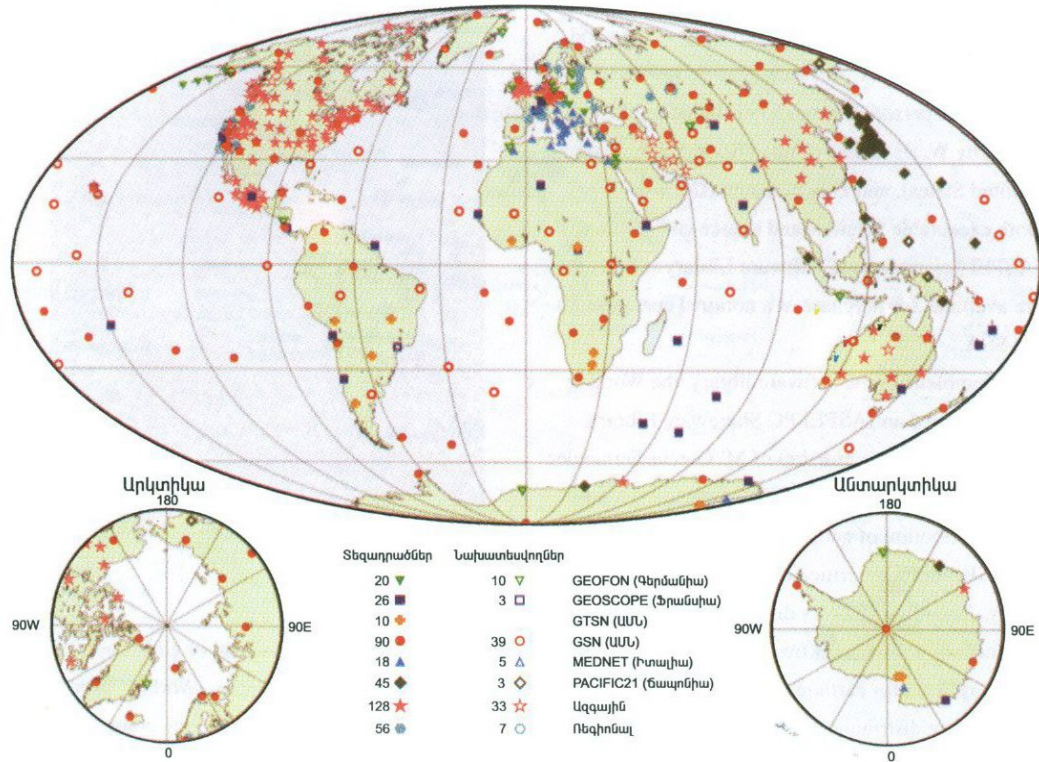
XI Ոչնչացնող

- գ. Խոցելիության C դասի շենքերի մեծ մասը ստանում է 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ, B դասի շենքերի մեծ մասը և C դասի շատ շենքեր ստանում են 5-րդ աստիճանի վնասվածքներ: D դասի շատ շենքեր ստանում են 4-րդ, ոչ շատերը՝ 5-րդ աստիճանի վնասվածքներ: E դասի շատ շենքեր ստանում են 3-րդ աստիճանի, ոչ շատերը՝ 4-րդ աստիճանի վնասվածքներ: F դասի շատ շենքեր ստանում են 2-րդ աստիճանի, ոչ շատերը՝ 3-րդ աստիճանի վնասվածքներ:

XII Լրիվ ոչնչացնող

- գ. Վերգետնյա և ստորգետնյա բոլոր շենքերը գործնականորեն ոչնչացվում են:

ՀԱՄԱՇԽԱՐՀԱՅԻՆ, ԱԶԳԱՅԻՆ ԵՎ ՌԵԳԻՈՆԱԼ ԹՎԱՅԻՆ ՄԵՅՍՄՈՐՈՐԱՖՆՆԵՐԻ ԴԻՏԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԼԱՅՆ ՑԱՆՑԻ ՏԵՂԱԲԱՆԻՇՈՒՄԸ
(նկարը պատրաստված է Robert Woodward, U. S. Geological Survey, Albuquerque Seismological Laboratory)



ՀՀ ՄՊԱԾ-ի ԱԶԳԱՅԻՆ ԴԻՏԱՑԱՆՑ

ՀՀ ՄՊԱԾ
ԵՐԵՎԱՆ 2000թ.

Պայմանական նշաններ

- Հեռաչափական սեյսմիկ կայան
- Ռադիոնետրիկ կայան
- Ռեզիդուալ սեյսմիկ կայան
- Երկրամագնիսական կայան
- Հիդրոերկրադինամիկական կայան
- IRIS համակարգ
- Էլեկտրամագնիսական կայան
- SMA ակսելերոմետր
- SMACH թվային ակսելերոմետր
- Երկրաքիմիական կայան
- READINESS երկրաքիմիական կայան
- PICS երկրաքիմիական կայան



Մասշտաբ 1:2 000 000

ԱՅՍ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ ՊԵՏՔ Է ԻՄԱՆԱՆ ԲՈԼՈՐԸ

Երկրաշարժից առաջ

- Երկրաշարժերը կարող են լինել տարվա բոլոր օրերին և օրվա բոլոր ժամերին: Երկրաշարժի ժամանակ դուք կարող եք լինել տանը, աշխատավայրում կամ փողոցում: Տագնապի ու խուճապի չմատնվելու համար նախօրոք մտածեք և ծրագրեք երկրաշարժի ժամանակ ձեր անելիքները:
- Երկրաշարժի ժամանակ, իհարկե, առավել անվտանգը բացօթյա տարածքն է, բայց քանի որ այն շատ կարծ է տևում, 10-30 վրկ., ուստի դուք կարող եք չհասցնել շենքից դուրս գալ: Հետևաբար նախօրոք ընտրեք շենքի առավել անվտանգ մասերը՝ հատկապես կրող կոնստրուկցիաների և պատերի մոտ, հեծանների տակ:
- Անհրաժեշտ է տնային կահ-կարասին ճիշտ դասավորել, մահճակալները տեղավորել կրող պատերին կից, պատուհաններից հեռու: Բարձր կահույքը, որը ցնցումներից կարող է շրջվել, հատուկ հարմարանքներով ամրացրեք պատերին:
- Բնակարանից և տնից դեպի ելք տանող միջանցքները մշտապես ազատ պահեք:
- Սովորույթ դարձրեք մշտապես զազն ու էլեկտրական սարքերն ընդամուր փափանակից անջատել, դյուրավատ հեղուկները պահեք հերմետիկ, մետաղյա տարաներում:
- Աշխատեք ելքին մոտ և հարմար տեղում պահել կարևոր փաստաթղթերն ու առաջին անհրաժեշտության որոշ իրեր:
- Աղետի դեպքում դպրոցներում, մանկապարտեզներում, հիվանդանոցներում, բոլոր հիմնարկ-ձեռնարկություններում գործելու հատուկ ծրագրեր ունեցեք, հատկապես երեխաներին և հիվանդներին արագ էվակուացնելու կամ անվտանգ տեղ փոխադրելու համար:
- Նախօրոք սովորեք և ուրիշներին էլ սովորեցրեք տուժածներին առաջին օգնություն ցույց տալու միջոցառումներն ու ձևերը:

Երկրաշարժի ժամանակ

Երկրաշարժի ժամանակ երկայնական ալիքներն ավելի արագ են տարածվում, իսկ ընդլայնական ալիքները տեղ են հասնում որոշ ուշացումով: Բնականաբար մույն երկրաշարժը շատերն ընկալում են որպես երկու տարբեր հատվածներ, որոնց միջև ընկած ժամանակը մի քանի վայրկյան է տևում: Ավերումները սովորաբար առնչվում են ընդլայնական ալիքների հետ, հետևապես որոշ ուշացումով են սկսվում և կատարվում են ոչ ակնթարթորեն: Այսպիսով, ձեր տրամադրության տակ շատ կարճ, բայց ժամանակ լինում է, որոշումներ ընդունելու և դրանք արագ իրագործելու համար:

- Նախ պետք է պահպանել սառնասրտությունը և տեղիք չտալ խուճապի: Խուճապն ինքնին երկրաշարժի պես վնասաբեր է:
- Երկրաշարժի ժամանակ առաջացած առաջին զգացողությունն ու բնական ցանկությունն է շենքից հեռանալը: Դա ճիշտ է հատկապես պակաս դիմացկուն շենքերում գտնվողների համար:
- Շենքից հեռացեք արագ, խցանումներ չառաջացնելով և երբեք մի օգտվեք վերելակից՝ բացի անկայուն լինելուց, էլեկտրականության անջատման դեպքում դուք կարող եք կես ճանապարհին մնալ: Եթե առաջին հարկում եք և հարմար է հեռանալ լուսամուտով, ապակին ջարդեք որևէ իրով, մեջքով կամ արմունկով: Եթե ժամանակն անբավարար է բարձրահարկ շենքից դուրս գալու և հեռանալու համար, մի ցատկեք պատուհանից, տեղավորվեք նախօրոք ընտրված առավել անվտանգ տեղերում: Ցածրահարկ շինություններում երբեմն փրկարար են դառնում ամուր սեղաններն ու մահճակալները, թաքնվեք դրանց տակ:
- Եթե շենքից հեռանալիս մոռացել եք վերցնել որևէ կարևոր իր, երբեք հետ մի վերադարձեք, իիշեք, որ ուժեղ և շատ ուժեղ երկրաշարժերը հաճախ իրար հաջորդող կարճատև, երբեմն րոպեների տարբերությամբ մի քանի առանձին ցնցումներ են: Հիմնական հարվածից խարխված շենքը կարող է փլվել հաջորդ՝ ավելի թույլ ցնցումներից, իսկ երբեմն անենաուժեղը լինում է հաջորդ ցնցումներից որևէ մեկը:

- Շենքից դուրս գալիս արագ հեռացեք պատերից, զգուշացեք վերևից ընկնող քարերից, ծեփակտորներից, իրերից: Հավասարակշռությունը կորցնելիս բռնեք ծառերից:
- Երկրաշարժի ժամանակ, ավտոմեքենայում գտնվելիս, արագ կանգնեցրեք այն որքան հնարավոր է բնակավայրերից հեռու, իսկ բնակավայրերից դուրս՝ մեծ թեքությունների և ցցուն ժայռալանջերից հեռու: Կանգնեցրեք փուլազույգներից ու քարահոսքերից ապահով տեղում: Նույն կերպ պետք է վարվեն նաև հասարակական փոխադրամիջոցների վարորդները: Նրանք պետք է անմիջապես բացեն դռները, իսկ ուղևորները մեքենայից դուրս գալիս պետք է խուսափեն ավելորդ հրմշտոցից, նկատի ունենալով, որ մեքենայի մեջ կամ դրսում անվտանգության չափը նույնն է:

Երկրաշարժից հետո

- Ավերիչ ցնցումներից հետո աշխատեք արագ գնահատել իրադրությունը և կողմնորոշվել հետագա անելիքներում:
- Եթե հայտնվել եք փլատակների տակ, մի փորձեք անմիջապես դուրս գալ, խոսակցական կապ տեղծեք դրսում գտնվողների հետ, անվտանգության մեջ համոզվելուց հետո միայն աշխատեք համատեղ ջանքերով այդ որոգայթից ազատվելու ելք գտնել:
- Եթե գտնվում եք դրսում, առաջին հերթին օգնություն ցույց տվեք վիրավորներին, փլատակների տակ մնացածներին, ծերերին ու երեխաներին:
- Պարզեք շենքի խիստ խաբխրված մասերի վիճակը, որոնք կարող են փլվել նաև ցնցումները դադարելուց հետո:
- Զգույշ եղեք, որևէ մեկուսիչով աշխատեք անջատել էլեկտրականությունը: Պարզեք հրդեհառաջացման մշանները և խմելու ջրի առկայությունը: Անջատեք գազը, իսկ մինչ այդ լուցկի չվառեւ:
- Վտանգավոր տեղերում նախագուշացնող մշաններ դրեք:
- Հաշվարկեք փրկված, վիրավորված, փլատակներում մնացած և անհայտ տեղերում գտնվող մարդկանց թիվը, պարզեք ծեր և շրջապատի առաջնահերթ կարիքները, կապ հաստատեք մոտակա շենքերի, տարբեր ծառայությունների ներկայացուցիչների հետ:
- Եթե կա գործող հեռախոս, աշխատեք կապ հաստատել բուժօգնության և հրշեջ ծառայությունների հետ: Երկրորդական հարցերով մի ծանրաբեռնեք հեռախոսակալը, դրանով դուք կարող եք անուղղելի վնաս հասցնել ուրիշներին:
- Միացրեք ռադիոընդունիչները, լսեք աղետի մասին լրատվությունները և իշխանության ցուցումները:
- Ինքներդ մի տարածեք և կանխեք չստուգված լուրերն ու տեղեկությունները, ենթադրությունները, հատկապես մոր ավերիչ ցնցումների մասին:
- Հիշեք, որ երկրաշարժերը դեռևս ստույգ չեն կանխագուշակվում, ուստի անհիմն լուրերը խուճապի և լրացուցիչ բարդությունների պատճառ կարող են դառնալ:
- Երկրաշարժի հետ առնչվող կանխանշանների (որոնց անուշադիր եք եղել մինչև երկրաշարժը), բնական փոփոխությունների (ճեղքառաջացում, սողանք, փլվածք), ուղեկցող երևույթների (ծայր, լույս, ջրերի փոփոխություններ) և այլ դիտումների մասին գրառումներ արեք և տեղյակ պահեք մասնագիտական հիմնարկներին: Ականատեսի դիտումները անփոխանելի են, երևույթի անկրկնելիության առումով, ուստի հետագա ուսումնասիրությունների համար այն մեծ արժեք կարող է ունենալ:

ԳՐԲՈՒՄ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՏԵՐՄԻՆՆԵՐԻ ԲԱՌԱՐԱՆ

Ալիքի երկարություն	երկու հարևան կատարների կամ գոգերի միջև եղած հեռավորությունը:
Ալիքի պարբերություն	մասնիկների մեկ լրիվ հարմոնիկ տատանում կատարելու ժամանակամիջոցը:
Ալիքների անդրադարձում և բեկվում	մեկ առաձգական հատկություններով միջավայրից մյուսը հատելիս ալիքի տարածման սկզբնական ուղղության փոփոխություն:
Աջակողմյան սահք	հորիզոնական տարածումով խզվածք, որի դեպքում դիտորդից հեռու հատվածամասը շարժվել է դեպի աջ՝ եթե նայենք խզվածքին ուղղահայաց ուղղությամբ:
Առաջին մուտք	տեղափոխության մեծությունը սեյսմոգրամի վրա երկայնական P ալիքի ժամանման պահին: Սեյսմոգրաֆների կառուցվածքը այնպիսին է, որ գրիչի դեպի վեր շարժումը համապատասխանում է ապարների սեղմմանը, իսկ դեպի ներքև՝ ձգմանը (նոսրացմանը):
Առաձգական մակընթացություն	երկրի որպես պինդ մարմնի որևէ մասի լուրջ դեֆորմացիաները, որոնք պայմանավորված են Լուսնի և Արեգակի ձգողականությամբ:
Առաձգական տացքի տեսություն	երկրաշարժերի առաջացման տեսություն, որի համաձայն խզվածքի թևերը (կողերը) մինչ երկրաշարժը մնում են սեղմված իրար, իսկ շրջակա ապարներում դանդաղ կուտակվում է առաձգական դեֆորմացիայի էներգիա, հետո խզվածքով տեղի է ունենում կտրուկ տեղաշարժ՝ կուտակված էներգիայի արձակմամբ: Տեսության հեղինակն է Գ.Ռեյդը:
Աստենոսֆերա	երկրի մանտիայի վերին մասում թույլ ամրության և մասամբ հալված մինչև 250 կմ հզորության շերտ՝ (50-100 կմ խորության վրա, լիթոսֆերայի տակ) լայնական սեյսմիկ S ալիքների տարածման համեմատաբար նվազ արագությամբ:
Աքսելերոգրամ	աքսելերոգրաֆի գրանցած գրաֆիկական պատկերը:
Աքսելերոգրաֆ	գրունտի շարժումների արագացումները որպես ժամանակի ֆունկցիա գրանցող սարք:
Աֆտերշոկներ (հետհարվածներ)	երկրաշարժի գլխավոր հզոր հարվածին հաջորդող ավելի փոքր հզորության երկրաշարժեր:
Բալ	երկրաշարժի հետևանքների գնահատման չափման միավոր:
Բար	ճնշման չափման միավոր, 1 բար = 1 կգ/սմ ² :
Բենիոֆֆի գոտի	մեծ խորության հիպոկենտրոններով երկրաշարժերի գոտի խաղաղ ավելիանոսում, ունի մի քանի տասնյակ կիլոմետր հզորություն (Նասկայի սալ) և թեքությամբ ընկղմվում է մայր ցամաքի (Հարավամերիկյան սալ) տակ:

Գետնի ուժեղ տատանումներ

երկրաշարժի էպիկենտրոնային (օջախային) գոտում տարբեր սեյսմիկ ալիքների համադրությամբ տատանման մեծ ամպլիտուդներով գետնի շարժումներ:

Գրունտի ջրիկացում (նոսրացում)

երկրաշարժի ժամանակ փխուր գրունտային շերտերում կամ ավազե ոսպնյակներում կատարվող պրոցես, որի ընթացքում ապարները իրենց դրսևորում են ոչ թե որպես թաց պինդ զանգվածներ, այլ որպես թանձր հեղուկ:

Դեֆորմացիա (առածգական)

մարմնի երկրաչափական ձևի փոփոխություն: Երկարության, անկյան, մակերեսի կամ ծավալի աճի հարաբերությունը սկզբնական մեծությանը:

Դիլատացիա (լեռնային ապարներում)

այս կամ այն առածգական և ոչ առածգական դեֆորմացիաների հետևանքով ապարների ծավալների մեծացում:

Երկայնական ալիքներ (P-ալիք)

«Առաջնային» (շուտ հասնող) սեյսմիկ ալիքներ, որոնց տարածման դեպքում մասնիկները կատարում են ալիքի տարածման ուղղությամբ տատանումներ (ձգում-սեղմում):

Երկրաշարժ

երկրի ներսում որևէ առածգական էներգիայի աղբյուրից արձակված սեյսմիկ ալիքների տարածման հետևանքով երկրագնդի տատանումներ:

Երկրաշարժամետություն

ժամանակի և տարածության մեջ երկրաշարժերի բաշխվածությունը:

Երկրաշարժի էներգիա

երկրաշարժի հետևանքով արձակված ամբողջ էներգիան՝ չափված էրգերով:

Երկրաշարժի էներգետիկ դաս

երկրաշարժի ժամանակ անջատված էներգիայի՝ ջոուլների արտահայտած մեծության տասնորդական լոգարիթմը:

Երկրաշարժի էպիկենտրոն

երկրաշարժի օջաժից (հիպոկենտրոնից) երկրագնդի մակերևութի վրա բարձրացված ուղղահայացի հաստման կետը:

Երկրաշարժի կանխագուշակում

երկրաշարժի առաջացման պահի, տեղի և մագնիտուդի կանխատեսում:

Երկրաշարժի մագնիտուդ

երկրաշարժի մեծության (հզորության) չափի միավոր: Որոշվում է երկրաշարժի սեյսմոգրամի ամենամեծ ամպլիտուդի մեծության տասնորդական լոգարիթմի արժեքով և էպիկենտրոնային հեռավորության մեծությունով պայմանավորված համապատասխան ճշգրտմամբ: Տարբերակվում են հետևյալ մագնիտուդները. Ռիխտերյան (Ռ-կալ) M_L , ըստ ծավալային երկայնական ալիքների m_b , ըստ մակերևութային ալիքների M_s և ըստ երկրաշարժի մոմենտի M_w :

Երկրաշարժի մախանջաններ

Երկրի այն ֆիզիկական բնութագրերը, որոնց մեծությունները կանոնավոր կերպով փոփոխվում են երկրաշարժից առաջ:

Երկրաշարժերի պարս

միևնույն տարածքում տեղի ունեցող երկրաշարժերի շարան, որոնցից ոչ մեկը մյուսից իր հզորությամբ չի առանձնանում:

Երկրաշարժի ուժգնություն	Երկրաշարժի ժամանակ երկրի մակերևույթի ցնցման չափի միավոր՝ հիմնված երկրաշարժի թողած հետևանքների և մարդկանց զգացողականությունների վրա:
Երկրի կեղև	Երկրագնդի արտաքին ապարային թաղանթը:
Երկրի միջուկ	Երկրագնդի մակերևույթից 2900կմ խորությունից մինչև նրա երկրաչափական կենտրոնը ընկած ծավալը: Միջուկի արտաքին մասը գտնվում է շիկացած, իսկ ներսինը՝ հեղուկ, հնարավոր է և պինդ վիճակում:
Իզոսեյստեր	Էպիկենտրոնից միևնույն ուժգնության մակերեսները փակ կորերով:
Լարում (մեխանիկական)	Ճյուղի միավոր մակերեսի վրա ընկնող ճնշման (ուժի) մեծությունը:
Լյավի ալիքներ	մակերևութային սեյսմիկ ալիքներ, որոնց տարածման դեպքում տեղի են ունենում մասնիկների միայն հորիզոնական տեղափոխություններ ալիքի տարածման ուղղահայաց ուղղությամբ:
Լայնական ալիքներ (S-ալիք)	«Երկրորդական» (ուշացող) սեյսմիկ ալիքներ, որոնց տարածման դեպքում մասնիկները կատարում են ալիքի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց տատանումներ (սահքի դեֆորմացիաներ), ունեն ավելի փոքր արագություններ, քան երկայնական P ալիքները, բայց օժտված են ավելի մեծ էներգիայով: Հեղուկ միջավայրով չեն տարածվում:
Լիթոսֆերա	Երկրի արտաքին կոշտ թաղանթը: Ընդգրկում է երկրի կեղևը, սալերը, մայր ցամաքները:
Խզվածք (բեկվածք)	Լեռնային ապարներում առաջացած ճաք, որի դեպքում ջարդված կտորները շարժվում են մեկը մյուսի նկատմամբ հակառակ ուղղությամբ ճաքին զուգահեռ ուղղությամբ:
Խզվածքի հարթություն	Խզվածքով երկու հատվածամասերի շարժման ուղղությանը զուգահեռ հարթություն:
Խտություն	միավոր ծավալի զանգվածը (գ/սմ ³):
Կոմրադի եզր	Երկրի կեղևի գրանիտային շերտի և բազալտային շերտի միջև ընկած սահմանը:
Հերց	տատանման հաճախության չափման միավոր՝ մեկ վարկյանում կատարված տատանումների թիվը:
Հիպոկենտրոն	Երկրաշարժի օջախում սկզբնական տրոհման տեղը:
Հոդոգրաֆ	սեյսմիկ ալիքների տարածման տևողության գրաֆիկական կապը հեռավորության մեծությունից: Կազմվում է հիմնականում հեռավոր օջախների համար: Սեյսմիկ տարբեր ալիքները ունենում են տարբեր հոդոգրաֆներ: հորիզոնական տարածումով խզվածք, որի դեպքում դիտորդից հեռու հատվածամասը շարժվել է դեպի ծախ՝ եթե նայենք խզվածքին ուղղահայաց ուղղությամբ:
Չախակողմյան սահք	Երկրի մակերևույթից մինչև հիմնական ժայռային ապարները ընկած տարբեր հզորության և տարբեր ֆիզիկամեխանիկական բնութագրերով շերտերից կազմված համակարգ:
Մակերևութային ստվարաշերտ	

**Մակերևութային
սեյսմիկ ալիքներ**

ալիքներ (Լյավի և Ռելեյի), որոնք տարածվում են միայն երկրի մակերևութով: Նրանց տարածման արագությունը փոքր է լայնական S ալիքների տարածման արագությունից:

**Մանտիա
(միջնապատյան)**

երկրագնդի ընդերքի ծավալի ամենամեծ հատվածը 40-2900կմ հզորություններում:

Միկրոսեյսմեր

համարյա անընդհատ տարածվող թույլ սեյսմիկ ալիքներ (տատանումներ): Նրանք կոչվում են նաև երկրի սեյսմիկ ֆոն կամ «երկրի աղմուկ»:

Մոխորովիչիչի եզր

երկրի կեղևի և մանտիայի միջև ընկած սահման, որում սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունը կտրուկ մեծանում է: Սահմանի խորությունը 5-ից (օվկիանոսի հատակի տակ) մինչև 60կմ (լեռնային զանգվածների տակ): Հայաստանի հանրապետության համար այն գտնվում է 40-45 կմ սահմաններում:

Ռելեյի ալիքներ

մակերևութային սեյսմիկ ալիքներ, որոնց տարածման դեպքում մասնիկները կատարում են տատանումներ միայն ալիքի տարածման ուղղությունը պարունակող ուղղաձիգ հարթության մեջ:

Սալ

խորքային շերտերի վրայով անընդհատ շարժման մեջ գտնվող երկրի լիթոսֆերայի համեմատաբար կոշտ, խոշոր հատված (սեզմենտ): Խոշոր սալերի թվին են պատկանում Անտարկտիդյան, Անատոլիական, Արաբական, Աֆրիկյան, Եվրասիական, Իրանական, Խաղաղ-օվկիանոսյան, Կոկոսի, Հարավ-Ամերիկյան, Հյուսիս-Ամերիկյան, Հնդկա-Ավստրալիական, Նասկայի, Ֆիլիպինյան սալերը:

Սալերի տեկտոնիկա

լիթոսֆերային սալերի շարժման և փոխազդեցության տեսություն: Տեսության օգնությամբ փորձ է արվում բացահայտել երկրաշարժերը, հրաբուխները և լեռնազոյացման գործընթացները:

Սահքի մոդուլ

նյութի (ապարների) առաձգականության բնութագիրը սահքի դեֆորմացիայի ենթարկվելիս:

Սեյսմիկ ալիք

երկրաշարժի կամ ստորգետնյա պայթյունի հետևանքով երկրագնդի մարմնում տարածվող առաձգական ալիք:

**Սեյսմիկ մոմենտ
(երկրաշարժի
սեյսմիկ մոմենտ)**

մեխանիկայի տեսանկյունից երկրաշարժի գնահատման չափանիշ՝ ապարների սահքի մոդուլի, առաջացած խզվածքի հարթության մակերեսի և երկու հատվածամասերի հարաբերական տեղաշարժի մեծությունների արտադրյալը:

Սեյսմիկ ռիսկ

երկու բնակավայրերի (տարածքների) սեյսմիկ վտանգի մեծությունների հարաբերությունը: Հավանական ռիսկ՝ տվյալ վայրում, որոշակի ժամանակամիջոցում երկրաշարժ առաջանալու հավանականությունը:

**Սեյսմիկ
միկրոշրջանացում**

տեղանքի սեյսմիկ պոտենցիալ վտանգի գնահատականի ճշգրտում՝ նրա լոկալ տեկտոնական դրության ու ինժեներա-երկրաբանական (գրունտային պայմանների) կառուցվածքի հիման վրա:

**Սեյսմիկ
շրջանացում
Սեյսմոգրաֆ**

սեյսմոակտիվ ռեգիոնի տարբեր տարածքների պոտենցիալ սեյսմիկ վտանգի գնահատում:

**Սեյսմոգրամ
Սեյսմոլոգիա**

գրունտի շարժումների տեղափոխությունները որպես ժամանակի ֆունկցիա գրանցող սարք:

Սեյսմոգրաֆի

սեյսմոգրաֆի գրանցած գրաֆիկական պատկերը:

**Սեյսմոցույց
(սեյսմոսկոպ)**

գիտություն երկրաշարժերի, նրանց օջախների և երկրագնդի ներսում տարածվող ալիքների մասին:

**Սելշեր
(կանգուն ալիքներ)
Սողանք**

սեյսմոգրաֆի տվիչը՝ հատուկ կախված ճոճանակ:

հարթ թիթեղի վրա առանց ժամանակի դասիչի մշման պարզ սեյսմոգրաֆ: Սեյսմոսկոպ են անվանում նաև ուղղակի երկրաշարժի երևույթը (փաստը) հաստատող ցանկացած սարքեր:

ծոցում կամ լճում հեղուկի տատանումներ:

**Սուբդուկցիայի
գոտի**

տարբեր պատճառներով պայմանավորված (այդ թվում նաև երկրաշարժով) ծանրության ուժի ազդեցության տակ ապարների զանգվածների սահող տեղաշարժեր լեռնալանջերով դեպի ցած:

Վարմետք

Բենոֆֆի գոտում մանտիայից մերկացած երկրի նոր կեղևի առաջացման և հնի մանտիա վերադարձման տիրույթներ:

Վելիսոգրամ

ուղղաձիգ տարածումով խզվածք, որի դեպքում ապարները խզվածքի հարթությամբ իջել են ներքև:

Վեիսոգրաֆ

վելիսոգրաֆի գրանցած գրաֆիկական պատկերը:

**Վրաշարժ կամ
վերնետք**

գրունտի շարժումների արագությունները որպես ժամանակի ֆունկցիա գրանցող սարք:

**Վուդ - Անդերսոնի
սեյսմոգրաֆ**

ուղղաձիգ տարածումով խզվածք, որի դեպքում ապարները խզվածքի հարթությամբ բարձրացել են վերև:

սեյսմոգրաֆ, որի գրանցումների հիման վրա Ռիխտերը մշակել է երկրաշարժի մագնիտուդների իր սանդղակը: Սեյսմոգրաֆի հիմնական բնութագրեր են՝ ճոճանակի ազատ տատանման տարբերությունը 0.8վրկ, կրիտիկական մարման գործակիցը 0.8, խոշորացման չափը՝ 2800 անգամ:

**Տեկտոնական
շարժումներ**

երկրի արտաքին կեղևի մեծ ծավալի ապարների ձևափոխությունների (դեֆորմացիաների) գործընթաց, որը տեղի է ունենում երկրի ներսում անընդհատ ընթացող տարբեր գործընթացների պատճառով:

Ցունամի

երկրաշարժի ժամանակ օվկիանոսի հատակի տեղաշարժերի պատճառով օվկիանոսային երկար ալիքի առաջացում:

**Ֆոկալ
հեռավորություն**

երկրաշարժի հիպոկենտրոնից մինչև երկրի մակերևույթի վրա գտնվող դիտակայանը ընկած հեռավորությունը:

**Ֆորշոկ
(մախահարված)**

ուժեղ երկրաշարժին մախորդած համեմատաբար թույլ երկրաշարժեր:

1. **Բարսեղյան Լ.Ա.** Պատմական վկայություններ հայկական լեռնաշխարհի երկրաշարժերի մասին: Հայաստանի ԳԱԱ հրատարակչություն, 1995, 68 էջ:
2. **Խաչիյան Է.Ե.** Ամհամասեռ զրուցության հիմնատակի դիմամիկական հատկությունների հետազոտություններ: Հաշվետվություն Հայաստանի Ամերիկյան համալսարանի ինժեներական գիտական կենտրոնի կողմից աջակցվող 1994-1996թ. կատարված աշխատանքի վերաբերյալ: Երևան, հունիս, 1996թ., ՅԱՀ, 14 էջ:
3. **Խաչիյան Է.Ե.** Ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ գետնի տատանումների գերակշռող պարբերությունների մասին: «Ենթադրապետություն, քաղաքաշինություն և շինարարություն», գիտա-տեխնիկական հոդվածների ժողովածու, մաս II, Երևանի ճարտարապետաշինարարական ինստիտուտ, Երևան 1997, 16-19 էջ:
4. **Խաչիյան Է.Ե.** Ինժեներային երկրաշարժգիտության մակերևութային շերտի խնդրի մասին: Հայաստանի շինարարների տեղեկագիր N9 (26) 1998թ. (հատուկ բողարկում), 9-13 էջ:
5. **Խաչիյան Է.Ե.** Երկրաշարժերի կանխագուշակման և երկրաշարժամակման գոյության ապահովման հիմնա-հարցերը: Հայաստանի շինարարների ասոցիացիա, Երևան 1998, 44 էջ:
6. **Կարապետյան Բ.Կ., Տեր-Պետրոսյան Պ.Ֆ.** Երկրաշարժ. ինչպես պատրաստ լինել դրան: Երևան «Նաիրի» 1998, 46 էջ:
7. **ՀՀՀՆ II-2.02.94** Սեյսմակայուն շինարարություն, նախագծման նորմեր, Հայաստանի Հանրապետության քաղաքաշինության նախարարություն, Երևան, 1998 (հայերեն և ռուսերեն լեզուներով), 88 էջ:
8. **Մանուկյան Մ.** Երկրաշարժ, ՀԿԿ կենտկոմի հրատարակչություն, Երևան 1989, 80 էջ:
9. **Սկրտչյան Կ.Հ., Խաչիյան Է.Ե.** Երկրաշարժ. հուշագիր բնակչության համար: «Հայաստան», Երևան 1995, 25 էջ:
10. **Նազարով Ա.Գ.** Երկրաշարժերը և պաշտպանությունը նրանցից: Հայկական ՍՍՀ ԳԱ հրատարակչություն, Երևան, 1981, 72 էջ:
11. **Շահումյան Լ.Կ., Կարապետյան Բ.Կ.** Երկրաշարժերը և սեյսմակայուն շինարարությունը: Հայկական ՍՍՈՒ ԳԱ հրատարակչություն, Երևան, 1955, 64 էջ:
12. **Պյոտ Ռուսո.** Երկրաշարժեր: «Հայաստան», Երևան 1969, 324 էջ:
13. **Ստեփանյան Վ.Ա.** Երկրաշարժերը Հայկական լեռնաշխարհում և նրա մերձակայքում: «Հայաստան», Երևան 1964, 248 էջ:
14. **Алексин П.А., Грайзер В.М., Плетнев К.Г., Штейнберг В.В., Зайнутдинов К.С.** Колебания грунта при сильных газийских землетрясениях 1976г. Реферативная информация "Сейсмическое строительство". ЦИНИС, 1976, серия XIV, вып.11, стр.5-11.
15. **Армения: беда, милосердие, возрождение.** Издательство "Прометей", Москва, 1989, 174стр.
16. **Армения, декабрь 88.** Издательство "Айастан", Ереван 1990, 558стр.
17. **Арнольд К., Рейтерман Р.** Архитектурное проектирование сейсмостойких зданий. Стройиздат, Москва, 1987, 196стр.
18. **Бабаян Т.О., Минасян Ф.С., Пирузян С.А.** Определение сейсмических свойств грунтов города Ленинакана. Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, N36, 1974, стр.56-65.
19. **Болт Б.А.** Землетрясения: общедоступный очерк. Изд. "Мир", Москва, 1981, 256стр.
20. **Боммер Дж.** "Сохранилась единственная запись основного толчка в ближней зоне". "Природа", N12, 1989.
21. **Брун Дж.Н.** Физика сильных движений, вызванных землетрясениями. В кн.: "Сейсмический риск и инженерные решения". М.: Недра, 1981, стр.129-161.
22. **Гай Д.Н.** Унесу боль твою... Издательство "Юридическая литература", М., 1989, 272стр.
23. **Гир Дж., Шах Х.** Зыбкая твердь. "Мир", М., 1988, 224стр.
24. **Григорян С.С.** О механике возникновения землетрясений и содержании эмпирических закономерностей сейсмологии. Доклады АН СССР, 1988, т.299, N5, стр.1094-1101.
25. **Джонстон Арч С., Кантер Лиза Р.** Землетрясения в стабильной континентальной коре. В мире науки и техники (перевод с английского) N4, апрель 1990, стр.68-76.
26. **Друмя А.В., Шебалин Н.В.** Землетрясения: где, когда, почему? "Штиинца", Кишинев, 1985, 196стр.
27. **Егоркина Г.В., Соколова Н.А., Егорова Л.М., Двоскина Т.Д., Милиниязова Т.Я.** Строение земной коры северо-западной части Армении. Советская геология, N3, 1973, стр.80-91.
28. **Карапетян А.И., Карапетян Б.К., Симонян Г.П., Хачиян Э.Е.** Новая карта сейсмического районирования территории Республики Армения. Изв. НАН РА, Науки о Земле, XLVIII, 1995, N1, стр.26-32.
29. **Карапетян Б.К., Карапетян Н.К.** Предпосылки прогнозирования землетрясений и сейсмостойкое строительство в Армянской ССР. "Айастан", Ереван, 1981, 170стр.

30. **Карапетян Н.К.** Сейсмогеодинамика и механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья. Издательство АН Армянской ССР, Ереван, 1990, 264стр.
31. **Касахара К.** Механика землетрясений. Москва, "Мир", 1985, 264стр.
32. **Маркарян Т.Г., Давидян Л.А.** Оценка интенсивности ноябрьского землетрясения 18.07.97, в населенных пунктах Тавушской области по макросейсмическим данным. Сборник научных трудов о конференции, посвящ. 90-летию дня рождения академика А.Г.Назарова (1-4 июля 1998, г.Гюмри), стр.69-73.
33. **Мартirosян Р.П., Мхитарян Л.А., Тоноян К.А., Григорян Е.К.** Анализ инструментальных данных сильных движений Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Изв. АН Арм.ССР, "Науки о Земле", 1989, том XLII, N4, стр.67-73.
34. **Медведев С.В.** Инженерная сейсмология. Госстройиздат. Москва, 1962, 284стр.
35. **Медведев С.В., Щебалин Н.В.** С землетрясением можно спорить. Изд. "Наука", Москва, 1967, 130стр.
36. **Многоаспектное изучение бедствий** и планированное управление ими в Армении. Миссия ЮНДРО в Армению 11-30 сентября, 1989. Организация объединенных наций, Нью-Йорк, 1990 (рукопись).
37. **Назаров А.Г.** Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1959, 286стр.
38. **Никонов А.А.** Земля землетрясений. "Природа", 1989, N12, стр.39-46.
39. **Ньюмарк Н., Розенблюэт Э.** Основы сейсмостойкого строительства. Стройиздат, Москва, 1980, 344стр.
40. **Окомото М.** Сейсмостойкость инженерных сооружений. М., 1980, 342стр.
41. **Поляков С.В.** Последствия сильных землетрясений. Стройиздат, Москва, 1978, 312стр.
42. **Результаты** комплексного изучения Зангезурского землетрясения. АН Арм.ССР, ИГИС. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1974, 262стр.
43. **Рикитаке Т.** Предсказание землетрясений. Издательство "Мир", Москва, 1979, 388стр.
44. **Рихтер Ч.Ф.** Элементарная сейсмология. Издательство иностранной литературы, Москва, 1963, 670стр.
45. **Робертс Э.** Когда сотрясается земля. Издательство "Мир", Москва, 1966, 176стр.
46. **Рустанович Д.Н.** Колебания поверхности Земли в эпицентральных зонах сильных землетрясений. "Наука", Москва, 1974, 100стр.
47. **Саваренский Е.Ф.** Сейсмические волны. Издательство "Недра", Москва, 1972, 294стр.
48. **Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П.** Элементы сейсмологии и сейсмометрии. Гостехиздат, Москва, 1955.
49. **Сейсмический риск** и инженерные решения. Издательство "Недра", Москва, 1981, 376стр.
50. **СНРА II-2.02.94.** Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Ереван, 1995, 72стр.
51. **Тимошенко С.П., Гере Дж.** Механика материалов. Издательство "Мир", Москва, 1976, 670стр.
52. **Тимошенко С.П., Гудьер Дж.** Теория упругости. Москва, "Наука", 1979, 560стр.
53. **Трагедия Спитак не должна повториться.** (к 10-летию Спитакского землетрясения). Отв. ред. академик НАН РА Э.Е.Хачиян. Изд. "Воскан Ереванци", Ереван, 1998, 246стр.
54. **Трифонов В.Г., Караханян А.С., Кожурин А.И.** Активные разломы и сейсмичность. "Природа", N12, 1989, стр.32-38.
55. **Фаччиоли Э., Резендиц Д.** Динамика грунтов: поведение грунта при сейсмических воздействиях, включая разжижение. В книге "Сейсмический риск и инженерные решения", Москва, "Недра", 1981, стр.66-128.
56. **Хачиян Э.Е.** Некоторые прикладные задачи теории сейсмостойкости сооружений. АИСМ, Ереван, 1963, 128стр.
57. **Хачиян Э.Е.** Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван, Айастан, 1973, 328стр.
58. **Хачиян Э.Е., Амбарцумян В.А.** Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости. Изд. "Наука", Москва, 1981, 204стр.
59. **Хачиян Э.Е., Закарян В.А., Погосян О.К.** Результаты инженерно-сейсмометрического анализа Ереванского землетрясения 16-го июня 1973 года. ДАН Арм.ССР, том 58, N1, 1974, стр.32-37.
60. **Хачиян Э.Е., Мелкумян М.Г.** Запись Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года инженерно-сейсмическими станциями города Ереван. Уроки землетрясения, Ереван, 1989, стр.34.
61. **Хачиян Э.Е., Манукян Л.А.** Вращательные движения грунта и крутильные колебания сооружений. В книге "Волновые процессы в конструкциях зданий при сейсмических воздействиях". Изд. "Наука", Москва, 1987, стр.93-108.

62. **Хачиян Э.Е., Амбарцумян В.А., Саркисян А.Г.** Взаимодействие сейсмических волн с сооружением. В книге "Волновые процессы в конструкциях зданий при сейсмических воздействиях". Изд. "Наука", Москва, 1987, стр.109-120.
63. **Хачиян Э.Е.** Исследование динамических характеристик неоднородных грунтовых оснований. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1995, XLVIII, N2-3, стр.112-119.
64. **Хачиян Э.Е.** Об одной физической предпосылке для упрощенной оценки параметров колебания грунтов и их воздействия на сооружения при сильных землетрясениях. Сборник научных трудов конференции, посвяща. 90-летию дня рождения академика А.Г.Назарова (1-4 июля 1998, г.Гюмри), стр.157-163.
65. **Хачиян Э.Е.** Некоторые аспекты нормирования сейсмостойкого строительства. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1992, N1, стр.55-64.
66. **Хачиян Э.Е.** Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года, основные характеристики. В книге "Трагедия Спитака не должна повториться". Изд. "Воскан Ереванци", Ереван, 1998, стр.7-29.
67. **Хачиян Э.Е.** Об основных концепциях по разработке единых международных норм по сейсмостойкому строительству. "Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений". ВНИИТПИ, Москва, N2, 2000, стр.14-18.
68. **Ходжсон Дж.** Землетрясения и строение земли. Изд. "Мир", Москва, 1966, 194стр.
69. **ЮНЕСКО, Курьер**, июнь 1976. Землетрясение. 34стр.
70. **Agabian M.S.** Construction Codes and Standards in the Armenian Soviet Socialist Republic. "Earthquake Spectra". August, 1989, Armenia Earthquake Reconnaissance Report, pp.93-100.
71. **Agabian M.S.** Technical Issues of the Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.369-372.
72. **Ambraseys N.N. and Adams R.D.** Long-term seismicity of North Armenia. EOS, Trans.Am.Geoph.Union, 70 (10), 145, 1989, pp.152-154.
73. **Ambraseys N.N. and Bommer J.J.** Database of European Earthquake Associated with Strong-motion Records. European Earthquake Eng. V, N2, 1991, p.18-37.
74. **Annali di Geofisica.** The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) 1992-1999, volume 42, N6, December, 1999.
75. **Arakelian F.O., Darbinian S.S., Hakopian H.A., Mnatsakanian V.L., Mikaelian A.N., Poghosian O.K.** Macroseismic Investigation of Power Plants and Instrumental records of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.447-451.
76. **Balassanian S., Cisternas A. and Melkumyan M. (eds.):** Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. 2000, Kluwer Academic Publishers-Dordrecht (Boston), London, p.448.
77. **Bazic concepts of Seismic Codes.** Vol.1. The International Association for Earthquake Engineering. Tokyo, 1980.
78. **Berberian M.** Contribution of the seismotectonics of Iran (Part II) Report N39, Geological Survey of Iran, Tehran, 1976.
79. **Bolt B.A.** Earthquakes. A.Primer, W.H.Freeman and San Francisco, 1978, 241pp.
80. **Bommer J.J.** A Field Study of Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.161-176.
81. **Borcherdt R., Glassmoyer G., Andrews M. and Granswick E.** Effect of Site Condition on ground motion and Damage. Earthquake Spectra, August 1989, pp.23-42.
82. **Bozorgnia Y., Niazi M.** Distance Scaling of Vertical and Horizontal Response Spectra of the 1989 Loma Prieta Earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.22, 1993, pp.695-707.
83. **Campbell R.W.** An Empirical Analysis of Peak Horizontal Acceleration for the Loma Prieta, California Earthquake of October 18 1989. Bulletin of the Seismological Society of America, vol.81, 1991, N5, pp.1838-1858.
84. **CSMIP** Strong-Motion Records From the Santa Cruz Mountains (Loma Prieta), California Earthquake of 17 October, 1989, California Department of Conservation, Report OSMS 89-06, 1989.
85. **Decanini L.D., Gavarini C., Pedegral J.M.** No tas y observaciones sobre El Terremoto De El Salvador del 10 octubre 1986. Repubblica Italiana, Repubblica Argentina, p.106.
86. **Der-Kiureghian A.** Strong-Motion Records. Earthquake Spectra. August, 1989. Special Supplement "Armenia Earthquake Reconnaissance Report" pp. 43-53.
87. **Der-Kiureghian A.** Observation from Instrumental Records and Damage Statistics of the Spitak Earthquake. In Proc. 1-st World Congress of Armenian Engineers, Scientists and Industrialists, AESA, California, 1989, pp.73-86.
88. **Earthquake Resistant Regulation** - A World List-1984. Compiled by the International Association for Earthquake Engineering. July, 1984, Tokyo. Japan, 904p.

89. **EERI** "Armenia Earthquake Reconnaissance Report" Earthquake Spectra, Special Supplement, Editors Loring A. **Wyllie**, John R. **Filson**, August, 1989, p.175.
90. **Eisenberg Y.M.** Spectra and Damages of the Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.291-301.
91. **Fajfar P., Vidic T., Fischinger M.** Seismic Demand in Medium-and Long-Period structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1989, vol.18, pp.1133-1144.
92. **Filson J., Borchardt R., Langer C., Simpson D.** Armenian Earthquake Reconnaissance Report. Earthquake Spectra, Special Supplement, August, 1989, pp.1-12.
93. **Fukushima Y. and Tanaka.** A New Attenuation for Peak Ground Acceleration, Velocity and Displacement Based on Multiple Regression Analysis of Japanes Strong Motion. Bull. seis. soc. Am. 80, 1990, pp.757-783.
94. **Gere I.M., Shah H.C.** Terra Non Firma, Understanding and Preparing for Earthquakes. W.H.Freeman and Company, New York, 1984.
95. **Guidoboni E. and Traina G.** A new catalogue of Earthquakes in the historical Armenia Area from Antiquity to the 12th Century. "Annali di Geofysica", vol.XXXVIII, N1, March 1995, pp.85-147.
96. **Hadjian A.H.** Dependency of Soil-Structure Interaction damping on Structure Slenderness. 6th US National Conference on Earthquake Engineering, 11pp.
97. **Hadjian A.H.** The Spitak, Armenian Earthquake of 7 december 1988 – why so much destruction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 12 (1993) 1-24.
98. **Hanks T.C. and Kanamori H.** A moment-magnitude scale. I.Geophys.Res. 84, 1979, pp.2348-2350.
99. **Housner G.W.** Engineering Estimates of Ground Shaking and Maximum Earthquake Magnitude. Proc. 4th World Conf. Earthquake Engineering, Santiago, 1969.
100. **Ishihara K.** Effects of Ground Condition on the Damage the Spitak-88 Earthquake. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.107-121.
101. **Ishihara K.** General Comments on Soil Conditions. Manuscript 1989, Yerevan.
102. **Joyrner W.B. and Boore D.M.** Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Strong-motion Records Including Records from the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake Bull. seis. soc. Am. 71, 1981, p.2011-2038.
103. **Karapetian A.I., Khachian E.E.** Some Peculiarities of the Spitak Earthquake 7.12.88 and its Impact on Building Structures. Proc. of the International on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, I.R.Iran, 1991.
104. **Karapetian B.K., Martirosian R.P., Mkhitarian L.A., Tonoyan K.A., Grigorian F.K., Arakelian F.O., Pogossian O.K., Mnatsakanian V.L., Akopian G.A.** Instrumental Date for Basic Shocks of the Spitak-88 Earthquake. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.21-29.
105. **Kamb B., Silver L.T., Abrams M.J., Carter B.A., Jordan T.H. and Minster J.B.** Pattern of Faulting and Nature of Fault Movement in the San Fernando Earthquake. The San-Fernando Earthquake of February 9, 1971: Geological Survey Professional Paper 733, U.S. Dept. of Interior and U.S. Dept. of Commerce Joint Publication, 1971.
106. **Khachian E.E.** Spitak Earthquake 1988 (Intensity and Effects on Structures) ARMNIISA Report, Yerevan 1989, p.11.
107. **Khachian E.E. and Melkoumian M.G.** Recording of Spitak Earthquake on December 7, 1988 by the Seismic Station of Yerevan. Lesson of the Earthquake (Trans. with addition from Russian Edition 1989). Yerevan 1994, p.38.
108. **Khachian E.E.** Antiseismic Desigh and Constructions. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.471-482.
109. **Khachian E.E.** On the Draft of Antiseismic Standards in the Republic of Armenia. Proceedings of the Tenth World Conference of Earthquake Engineering. 19-24 July 1992 Madrid, Spain, pp.5629-5632.
110. **Khachian E.E.** The Investigation of Dynamic Properties of Heterogencous Soil Foundations. A Report on Research Supported by Engineering Research Center of AUA. Yerevan, July 1995, p.26.
111. **Khachian E.E.** On Basic Concepts for Development of United International Earthquake Resistant Construction Code. Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Editors S.Balassanian, A.Cisternas and M.Melkumyan, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000, pp.333-343.
112. **Khachian E.E., Manukian L.A.** Rotation of the Ground and Torsional assillations of Constructions. 8th Symposium on Earthquake Engineering, Roorkee, December 29-31, vol.1, India 1986, pp.459-466.
113. **Kiremidjian A.S.** Preliminary Seismic Hazard Estimation of Armenia. In Proc. 1st World Congress of Armenian Engineers, Scientists and Industrialists. AESA, California, 1990, pp.123-129.

114. **Kobayashi H., Ohtani K.** Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.141-153.
115. **Lee V.W. and Trifunac M.D.** Torsional accelerograms Soil Dynamic and Earthquake Engineering. Vol.4, 1985, pp.132-139.
116. **Liquefaction of Soil During Earthquakes.** National Academy press, Washington, D.C. 1985, p.240.
117. **Madera G.** Fundamental period and amplification of Peak Acceleration in Layered Systems. Research report R70-37, Chapter 2 June 1970. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, pp.27-77.
118. **Maley R.P., Cloud W.K.** Strong-Motion Accelerograph Records. Strong-Motion Instrumental Data on the San-Fernando Earthquake of February 9, 1971, California Institute of Technology and U.S. Department of Commerce, 1971.
119. **Mouroux P.** Seismic Hazard and Microzonation Studies in Armenia-Conditions for Their Effective and Practical Use. Spitak-88, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.323-346.
120. **Nagana S., Molas G. and Yamzaki F.** Ground Acceleration Records of 1993 Kushiro-Oki Earthquake. Bulletin of Earthquake Resistant structure Research Center, N26, march 1993, pp.19-30.
121. **NEHRP** Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures. Part 1: 1997 Edition. Building Seismic Safety Council (USA).
122. **Newmark N.M. and Rosenblueth E.** Fundamentals of Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.Y.
123. **Niazi M., Bozorgnia Y.** The 1990 Manjil, Iran, Earthquake: Geology and Seismology Overview, PGA Attenuation and Observed Damage. Bulletin of Seismological Society of Armenia, vol.82, N2, April 1992, pp.774-799.
124. **Oganesian G., Khachian E.** Quantitative Estimations of Alluvium Ground and Buildings Accelerations Records During Loma Prieta and San-Fernando Earthquakes. American University of Armenia, Engineering Research Center, Yerevan, 1997, p.23.
125. **Okamoto S.** Introduction to Earthquake Engineering. University of Tokyo Press, 1973.
126. **O'Rourke T.** Geotechnical Aspects. "Earthquake Spectra", August, 1989, Armenia Earthquake Reconnaissance Report, pp.54-69.
127. **Philip H., Rogozin E., Cisternas A., Bousquet C., Borisov B and Karakhanian A.** The Armenian Earthquake of 1988 December 7: Faulting and Folding Neotectonics and Palaeoseismicity. Geophys., Int. 1992, 110, pp.141-158.
128. **Pitliakis K.D., Anastasiadis A.I.** Soil and Site Characterization for Seismic Response Analysis. Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering. Invited Lectures A.A.Balkema /Rotterdam/ Brookfield/ 1999, pp.65-90.
129. **Proceeding** from the Symposium on Seismic Hazard, Ground Motion, Soil-Liquefaction and Engineering Practice in Eastern North America October 20-22, 1987. Technical Report NCEER-87-0025, December 1987, Buffalo, p.520.
130. **Reducing Earthquake Hazard: Lessons Learned from Earthquakes.** EERI, Publication N86-02, November 1986.
131. **Richter Ch.F.** Elementary Seismology. W.H.Freeman and Co., San Francisco, 1958, 768p.
132. **Rikitake T.** Earthquake Prediction. Elsevier Scientific Publishing. Co Amsterdam, 1976, 357p.
133. **Seismic Performance** of Steel Bridges During the 1994 Northridge Earthquake. Report number: UCB/Ce-Steel-94/01, University of California at Berkeley, April 1994, p.290.
134. **Seismic Risk** and Engineering Decisions, by C.Lomnitz and E.Rosenblueth (Editors). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York 1976.
135. **Sharp R.V.** Surface Faulting: A preliminary view. Earthquake Spectra, Special Supplement, August, 1989, pp.12-33.
136. **SPITAK-88**, Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, 503p.
137. **Strong Motion Earthquake Accelerograms.** Volume 1—Uncorrected Accelerograms. Pasadena, California, July 1969, p.164.
138. **Strong Motion Earthquake Accelerograms.** Volume 1—Uncorrected Accelerograms. San Fernando, California, Earthquake of February 9, 1971, Pasadena, California, July 1971, p.266
139. **Strong Motion Earthquake Accelerograms.** Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, University "Kiril and Metodij" Skopje-Yugoslavia, Skopje, March, 1980.
140. **Strong Motion Earthquake Records** in Japan, 1986, volume 31. The National Research for Disaster Prevention Science and Technology Agency, March 1988, Japan, p.210.
141. **Strong Motion Instrumental Data** on the San Fernando Earthquake of February 9, 1971 (D.E.Hudson, Editor). California Institute of Technology, September, 1971, p.260.

142. **Suyehiro S., Okada T., Kobayashi H., Hirose M., Murakami M., Sugano S.** Evaluation of the Results Obtained by the Japanese Mission of Armenia. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake, Sponsored by UNESCO, Yerevan, May 23-26, 1989, pp.87-106.
143. **Swiss Re.** Earthquake Risk Assessment. Printed in Switzerland TS/e 2500, 1980, p.56.
144. **Swiss Re.** Catalogue of Earthquakes and Volcanic Eruptions. Zurich, 1991. Appendix 22, p.94.
145. **Tentative Seismic Isolation** Design Requirements. Base Isolation Subcommittee of the Seismology Committee Structural Engineering Association of Northern California, September 1986, p.30.
146. **The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) 1992-1999.** Summary Volume. "Annali di Geofisica", vol.42, N6, December 1999. (Edited by Domenico Giardini) pp.957-1280.
147. **The Hyogo-Ken Nanbu (Kobe) Earthquake.** January 17, 1995 Preliminary Reconnaissance Report. EERI, 95-04 February 1995.
148. **The September 1985 Mexico Earthquakes:** Final Report of the New Zealand Reconnaissance Team. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, vol.21, N1, March, 1988.
149. **Trifunac M.D.** A Note on Rotational Components of Earthquake Motions on Ground Surface for Incident Body Waves, Soil Dynamic and Earthquake Engineering N1, 1982, pp.11-19.
150. **Wells D.L. and Coppersmith K.I.** New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin the Seismological Society of America, vol.84, N4, pp.974-1002, August, 1994.
151. **Yamazaki F.** Comparative Study of Attenuation Characteristics of Ground Acceleration in Europe, North America and Japan. Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research center. N26, March, 1993. Inst. of ind. Science Univ. of Tokyo, p.39-56.
152. **Yegian M.K., Ghahraman V.G.** The Armenian Earthquake of December 1988, Northeastern University, Boston, Massachusetts, October, 1992, p.216.

Э.Е.ХАЧИЯН.
ПРИКЛАДНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

Глава I. Основные закономерности землетрясений

- 1.1 Что такое землетрясение?
- 1.2 Опасные явления, сопровождающие землетрясения
- 1.3 Причины землетрясения
- 1.4 Механизм возникновения землетрясения
- 1.5 Регистрация землетрясения
- 1.6 Сейсмические волны и определение параметров очага землетрясения
- 1.7 Волновое уравнение
- 1.8 Скорости распространения сейсмических волн
- 1.9 Особенности плоских сейсмических волн
- 1.10 Отражение и преломление сейсмических волн
- 1.11 Поверхностные сейсмические волны
- 1.12 Интенсивность землетрясения
- 1.13 Магнитуда и энергия землетрясения, шкала Рихтера
- 1.14 Момент землетрясения и механика очага
- 1.15 Новый метод вычисления величины энергии землетрясения
- 1.16 Прогнозирование землетрясений
- 1.17 Подготовка к землетрясениям

Глава II Движения грунта при сильных землетрясениях

- 2.1 Общие положения
- 2.2 Особенности сильных движений грунта
- 2.3 Преобладающие периоды сильных движений грунта
- 2.4 Методы вычисления преобладающих периодов неоднородных поверхностных слоев
- 2.5 Примеры определения преобладающих периодов
- 2.6 Некоторые соображения о характере движения грунта при землетрясениях
- 2.7 Классификация грунтовых условий местности по сейсмическим свойствам
- 2.8 Задача усиления или уменьшения эффекта землетрясения на поверхности Земли
- 2.9 О сейсмическом микрорайонировании
- 2.10 Горизонтальные и вертикальные движения грунта

- 2.11 Вращательные движения грунта при землетрясениях
- 2.12 Проявление землетрясения в эпицентральной зоне и в глубинных слоях

Глава III Землетрясения на территории Армении. Спитакское землетрясение

- 3.1 Краткий очерк о сильных землетрясениях, имевших место на территории Армянского нагорья
- 3.2 Сильные землетрясения, имевшие место на территории Республики Армения
- 3.3 Спитакское землетрясение 7-ого декабря 1988 года

ПРИЛОЖЕНИЯ

- 1 Основные хронологические даты развития сейсмологии
- 2 Важнейшие землетрясения на Земле и их последствия
- 3 Шкала интенсивности землетрясения MSK-64
- 4 Европейская Макросейсмическая Шкала – EMS (уточненный вариант)
- 5 Распределение широких сетей глобальных, национальных и региональных станций числовых сейсмографов
- 6 Национальная сеть наблюдений НССЗ РА
- 7 Эти правила должны знать все
- 8 Словарь основных терминов

ЛИТЕРАТУРА

E. E. KHACHIAN
APPLIED SEISMOLOGY

TABLE OF CONTENT

FOREWORD

CHAPTER I PRINCIPAL EARTHQUAKE REGULARITIES

- 1.1 What are earthquakes?
- 1.2 Hazardous earthquake-accompanying phenomena
- 1.3 Earthquake causes
- 1.4 Earthquake origination mechanism
- 1.5 Earthquake records
- 1.6 Seismic waves and definition of earthquake focal parameters
- 1.7 Wave equation
- 1.8 Seismic wave propagation velocities
- 1.9 Features of plane seismic waves
- 1.10 Reflection and refraction of seismic waves
- 1.11 Surface seismic waves
- 1.12 Earthquake intensity
- 1.13 Earthquake magnitude and energy, Richter's scale
- 1.14 Earthquake moment and focus mechanics
- 1.15 New method to calculate earthquake energy value
- 1.16 Earthquake prediction
- 1.17 Preparedness to earthquakes

CHAPTER II GROUND MOTION IN STRONG EARTHQUAKES

- 2.1 General
- 2.2 Strong ground motion features
- 2.3 Predominant periods of strong ground motions
- 2.4 Methods of predominant period calculation for inhomogeneous surface layers
- 2.5 Examples of predominant period calculation
- 2.6 Certain considerations on earthquake ground motion character
- 2.7 Classification of local soil conditions by seismic properties
- 2.8 Problem of amplified or reduced earthquake effect on the surface of the Earth
- 2.9 On the seismic microzonation
- 2.10 Horizontal and vertical ground motions

- 2.11 Rotational ground motions in earthquakes
- 2.12 Earthquake effects in epicenter zone and in deep layers

CHAPTER III EARTHQUAKES IN ARMENIA. THE SPITAK EARTHQUAKE.

- 3.1 Brief review on strong earthquakes in the Armenian Upland
- 3.2 Strong earthquakes within the area of the Republic of Armenia
- 3.3 The December 7, 1988 Spitak earthquake

APPENDICIES

- 1 Main dates in the chronology of seismology development
- 2 Most important earthquakes on the Earth and their consequences
- 3 MSK-64 earthquake intensity scale
- 4 EMS - European Macroseismic Scale (the updated version)
- 5 The distribution of global, national, and regional networks of digital broadband seismograph stations
- 6 National Observation Network of the NSSP RA
- 7 Rules all must be aware of
- 8 Glossary of main terminology

REFERENCES

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Նախաբան

ԳԼՈՒԽ I Երկրաշարժերի հիմնական օրինաչափությունները	7
1.1 Ինչ է երկրաշարժը	7
1.2 Երկրաշարժին ուղեկցող վտանգավոր երևույթները	11
1.3 Երկրաշարժի պատճառները	19
1.4 Երկրաշարժի առաջացման մեխանիզմը	26
1.5 Երկրաշարժի գրանցումը	30
1.6 Սեյսմիկ ալիքները և երկրաշարժի օջախի պարամետրերի որոշումը	47
1.7 Ալիքային հավասարումը	52
1.8 Սեյսմիկ ալիքների տարածման արագությունները	58
1.9 Սեյսմիկ հարթ ալիքների առանձնահատկությունները	62
1.10 Սեյսմիկ ալիքների անդրադարձումը և բեկումը	72
1.11 Մակերևութային սեյսմիկ ալիքները	76
1.12 Երկրաշարժի ուժգնությունը	78
1.13 Երկրաշարժի մագնիտուդը և էներգիան. Ռիխտերի սանդղակը	83
1.14 Երկրաշարժի մոմենտը և օջախի մեխանիկան	92
1.15 Երկրաշարժի էներգիայի մեծության հաշվարկման մորեղանակ	99
1.16 Երկրաշարժերի կանխագուշակումը	109
1.17 Երկրաշարժերին նախապատրաստվելը	119

ԳԼՈՒԽ II Գետնի շարժումները ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ	123
2.1 Ընդհանուր դրույթներ	123
2.2 Գետնի ուժեղ շարժումների առանձնահատկությունները	124
2.3 Գետնի ուժեղ շարժումների գերակշռող պարբերությունները	129
2.4 Անհամասեռ մակերևութային ստվարաշերտի պարբերությունների հաշվարկման եղանակները	140
2.5 Գերակշռող պարբերությունների մեծությունների հաշվարկման օրինակները	149
2.6 Մի քանի դիտարկումներ երկրաշարժի ժամանակ գետնի շարժումների բնույթի մասին	157
2.7 Տեղանքի գրունտային պայմանների դասակարգումը	159
2.8 Երկրի մակերևութին երկրաշարժի սաստկացման կամ թուլացման խնդիրը	161
2.9 Սեյսմիկ միկրոշրջանացման մասին	168
2.10 Գետնի հորիզոնական ու ուղղաձիգ շարժումները	177
2.11 Գետնի պտտական շարժումները	198
2.12 Էպիկենտրոնային տիրույթում և խորքային շերտերում երկրաշարժի դրսևորումը	204

**ԳԼՈՒԽ III Երկրաշարժերը Հայաստանի տարածքում.
Սպիտակի երկրաշարժը** 213

- | | | |
|-----|---|-----|
| 3.1 | Համառոտ ակնարկ հայկական լեռնաշխարհում տեղի ունեցած երկրաշարժերի մասին | 213 |
| 3.2 | Հայաստանի Հանրապետության տարածքում տեղի ունեցած երկրաշարժերը | 215 |
| 3.3 | 1988թ. դեկտեմբերի 7-ի Սպիտակի երկրաշարժը | 221 |

ՀԱՎԵԼՎԱԾՆԵՐ՝

- | | | |
|---|---|-----|
| 1 | Երկրաշարժագիտության զարգացման հիշարժան տարեթվերը | 273 |
| 2 | Երկրագնդի վրա տեղի ունեցած նշանակալից երկրաշարժերը և նրանց հետևանքները | 276 |
| 3 | Երկրաշարժերի ուժգնության 12-աստիճանի (բալանոց) սանդղակ՝ MSK-64 | 285 |
| 4 | Ինտենսիվության եվրոպական մակրոսեյսմիկ սանդղակ՝ EMS | 288 |
| 5 | Համաշխարհային, ազգային և ռեգիոնալ թվային սեյսմոգրաֆների դիտակայանների լայն ցանցերի տեղաբաշխումը | VI |
| 6 | ՀՀ ՍՊԱԾ-ի ազգային դիտացանց | VII |
| 7 | Այս կանոնները պետք է իմանան բոլորը | 293 |
| 8 | Հիմնական տերմինների բառարան | 295 |

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ 300

Բովանդակությունը ռուսերեն 306

Բովանդակությունը անգլերեն 308

Էդուարդ Եփրեմի Խաչիյան

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԵՐԿՐԱՇԱՐժԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ

Հրատ. խմբագիր՝ Ս. Ե. Գուլասարյան

Համակարգչային ձևավորումը՝ Տ. Գ. Պետրոսյանի

Պատվեր հ.068

Ստորագրված է տպագրության 01.12.2001 թ.

Չափսը՝ 70x108 $\frac{1}{16}$: Թուղթ հ.1. օֆսեթ: 20 տպ. մամուլ:

Տպաքանակը՝ 500: Գինը՝ պայմանագրային

ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակչության տպարան,
Երևան, Մարշալ Բաղրամյան 24:

ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Էդուարդ Խաչիյան



Ծնվել է 1933 թվականին Լեռնային Ղարաբաղում: 1956 թվականին գերազանցությամբ ավարտել է Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկամաթեմատիկական ֆակուլտետի մեխանիկայի բաժինը: 1972 թ. նրան շնորհվել է տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճան, իսկ 1996թ. ընտրվել է Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի ակադեմիկոս: Երկար տարիներ աշխատել է սեյսմակայուն շինարարության գիտահետազոտական ինստիտուտում, որպես լաբորատորիայի վարիչ, գիտական գծով փոխտնօրեն, դասավանդել է պոլիտեխնիկական ինստիտուտում ու պետական համալսարանում: Այժմ նա Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի շինարարության պետական համալսարանի շինարարական մեխանիկայի ամբիոնի վարիչն է և աշխատում է ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում: Է. Խաչիյանը ինժեներային երկրաշարժագիտության, երկրաշարժի ժամանակ շենքերի և կառուցվածքների վարքի կանխագուշակման, կառուցվածքների դինամիկայի և տատանումների տեսության բնագավառների հայտնի մասնագետ է: Նա կիրառական երկրաշարժագիտության, կառուցվածքների երկրաշարժադինամիկության և շինարարական մեխանիկայի հարցերին նվիրված ավելի քան 200 մենագրությունների, գիտական հոդվածների, արտոնագրված գյուտերի և նորմատիվաիրահանգչական փաստաթղթերի հեղինակ է, որոնց զգալի մասը հրապարակված է արտասահմանյան տարբեր երկրներում: Է. Խաչիյանը ակտիվ մասնակցություն է ունեցել 1988 թվականի Սպիտակի երկրաշարժի հետևանքների վերլուծման աշխատանքներին և երկրաշարժից հետո երկրաշարժակայուն շինարարության կատարելագործման և նրա վերաբերյալ նոր նորմատիվ փաստաթղթերի մշակման ու ներդրման գործում: Մասնավորապես նրա նախաձեռնությամբ ու անմիջական ղեկավարությամբ մշակվել և 1995 թվականից կիրառվում են երկրաշարժակայուն շինարարության վերաբերյալ առաջին ազգային ՀՀՇՆ II-2.02-94 նորմերը:

5602