

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
ԵՐԿՐԱԹՄԱՆ ԱԿԱԴ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ԱՎԱԳՑԱՆ ԱՐԱ ՎԱՐՈՒԺԱՆԻ

ԱԿՏԻՎ ԽՁՎԱԾՔՆԵՐԻ ՄԵՐՉՄԱԿԵՐԵՍԱՅԻՆ  
ԴՐՍԵՎՈՐՈՒՄՆԵՐԸ ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԻԴ.01.01 Ռեգիոնալ երկրաբանություն, երկրատեկտոնիկա, հնէաբանություն  
և շերտագրություն մասնագիտությամբ երկրաբանական գիտությունների  
դոկտորի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Երևան – 2013

---

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

АВАГЯН АРА ВАРУЖАНОВИЧ

БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ  
РАЗЛОМОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора геологических наук по  
специальности 24.01.01 Региональная геология, геотектоника, палеонтология и  
стратиграфия

Ереван - 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների  
ինստիտուտում

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Սարգսյան Հռոմիկ Համայակի, Է.-հ.գ.դ., պրոֆեսոր, ԵՊՀ,

Ալոյան Պետրոս Գևորգի, Է.գ.դ., «ԳԵՈՒԴ»,

Նազարեթյան Սերգեյ Նորայրի, Է.-հ.գ.դ., ՍՊԱԾ ՀԴ տնօրեն:

Առաջատար կազմակերպություն՝ ԳԱԱ Ա.Նազարովի անվան Երկրաֆիզիկայի և  
ինժեներային սեյսմաբանության ինստիտուտ

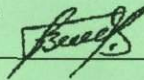
Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. հոկտեմբերի 8-ին, ժամը 13<sup>00</sup>, ՀՀ ԳԱԱ  
Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում գործող թ. 054 «Երկրաբանություն»  
Մասնագիտական խորհրդում:

Հասցեն՝ 0019, Մարշալ Բաղրամյան պող., 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների  
ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 07.08.2013թ.

Թիվ 054 Մասնագիտական խորհրդի գիտքարտուղար,  
երկր.-հանք. գիտ. թեկնածու



Հ.Վ. Շախինյան

Тема диссертации утверждена в Институте геологических наук НАН РА

Официальные оппоненты:

Саргсян Охмик Амаякович, д.г.-м.н., профессор, ЕГУ,

Алоян Петрос Геворгович – д.г.н., “ГЕОИД”,

Назаретян Сергей Норайрович, д.г.-м.н., директор СД НССЗ.

Ведущая организация: Институт Геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова  
НАН РА.

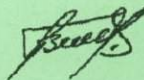
Защита диссертации состоится 8 октября 2013г., в 13<sup>00</sup>, на заседании Специализированного  
совета 054 “Геология” при Институте геологических наук НАН РА.

Адрес: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан 07.08.2013г.

Ученый секретарь Специализированного совета 054,  
кандидат геол.-мин. наук



Г.В.Шагинян

## Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Աշխատանքը նվիրված է Հայաստանի Հանրապետության և հարակից տարածքների համար ամենաադեռալի բնական վտանգների՝ երկրաշարժերի, նրանց առաջացնող ակտիվ խզվածքների, մակերեսային խախտումների դրսևորումների, երկրորդային ազդեցությունների համալիր ուսումնասիրության խնդիրներին, ներառելով Մարոկոյում, Եգիպտոսում և Հայիթիում իրականացված նմանատիպ ուսումնասիրությունների որոշակի արդյունքները:

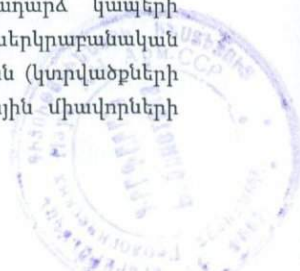
Երկրաշարժի վտանգի գնահատման ճշգրտության բարձրացումը կարևոր հիմնահարց է, քանի որ նրա թերագնահատումը կարող է բերել նյութական և մարդկային ռեսուրսների չարդարացված կորուստների, իսկ գերագնահատումը բերում է հսկայածավալ ծախսերի ավելեցման՝ հանգեցնելով հասարակության զարգացման տեմպերի նվազեցմանը: Խնդրի այժմեականությունը և գործնականությունը հակում ունեն անընդմեջ սրացման, կապված մարդկային, նյութական, մասնավորապես էներգետիկ ռեսուրսների կենտրոնացման ու կարևորման հարաճուն բնույթի հետ:

## Ուսումնասիրությունների մեթոդները

Հետազոտությունների տեսակները և օգտագործված մեթոդների համառոտ ցանկը հետևյալն է.

- տեկտոնական, սեյսմատեկտոնական, երկրաբանական և այլ բազմաբնույթ տվյալների հավաքում և խաչաձև վերլուծություն,
- տարբերակման մակարդակի թույլատրելիություն ունեցող հեռագնման տվյալների (աներոլուսանկարների և արբանյակային պատկերների), տեղագրական քարտեզների մշակում, եռաչափ մոդելավորում և վերլուծում, ակտիվ բեկվածքների, հնարավոր մակերեսային խախտումների և այլ կառուցվածքային տարրերի անջատում,
- ակտիվ խզվածքների հիմնական պարամետրերի՝ նրանցից բխող վտանգների առավելագույն մագնիտուդի և կրկնման պարբերականության գնահատում, ակտիվ խզվածքների վարքի բնութագրում՝ լայնորեն կիրառելով հնասեյսմաբանական, արխեոսեյսմաբանական դաշտային հետազոտությունների, ինչպես նաև հասակագրման իզոտոպային, լյումինեսցենտային (լուսափայլման) և հնագիտական մեթոդները,
- երկրաշարժերի երկրորդային ազդեցությունների, մասնավորապես՝ սողանքային և այլ լանջային երևույթների, հողերի ջրիկացման, ակտիվ խզվածքների և հրաբխականության հնարավոր փոխադարձ կապերի բացահայտում և գնահատում՝ կիրառելով ինժիներաերկրաբանական քարտեզագրման, մերկացումների մանրամասն նկարագրման (կտրվածքների կազմում, լուսանկարում, երկրաբանական և կառուցվածքային միավորների

2037



առանձնացում, նմուշարկում, և այլն) և ռետրոսպեկտիվ վերլուծության մեթոդները,

- Աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերի (USZ) և թվային ֆորմատով տվյալների բազայի ստեղծում, համալիր վերլուծություն:

### **Աշխատանքի հիմնական նպատակը**

Միջավայրի վրա ակտիվ խզվածքների ազդեցության բացահայտումը և մակերեսային խախտումներից բխող վտանգի գնահատումը:

### **Աշխատանքի հիմնական խնդիրները**

1. Մակերեսային խախտումների բաշխվածության և ակտիվության բնութագրումը:
2. Ակտիվ խզվածքների մերձակերեսային արտահայտվածության ուսումնասիրությունը:
3. Միջավայրի վրա խզվածքների ակտիվության պատճառահետևանքային ազդեցությունների ուսումնասիրությունը:

### **Նևտրի կարևորությունը և արդիականությունը**

Թե՛ պատմական, թե՛ այօրվա Հայաստանի համար բնական աղետներից ամենակործանարար հետևանքների հանգեցնում են ուժեղ երկրաշարժերը: Հայաստանի պատմական մայրաքաղաքները բազմիցս ենթարկվել են ավերման:

Ավերիչ սեյսմիկ ակտիվության ժամանակակից իրադարձությունները՝ 1976թ. Չալդիրանի (M7.1), 1983թ. Նորանի (M6.8), 1988թ. Սպիտակի (M7.0), 1991թ. Ռաչայի (M7.0), 1990թ. Ռուտբար-Մանջիլի (M7.3) և 2011թ. Վանի (M7.2) երկրաշարժերը վկայում են ՀՀ և հարակից տարածքների բարձր սեյսմիկ վտանգի և ռիսկերի մասին:

Վերոհիշյալը թույլ է տալիս հանգել հետևության, ըստ որի, եթե անցյալում տեղի են ունեցել աղետալի երկրաշարժեր, ապա դրանք սպասելի են ապագայում նույնպես, հետևապես՝ սեյսմիկ վտանգի և ռիսկերի ճշգրիտ գնահատման և, համապատասխանաբար, ռիսկերի կառավարելիության, խոցելիության նվազեցման խնդիրները դառնում են խիստ անհրաժեշտ և արդիական:

Երկրաշարժերի հետևանքները կարող են լինել անկանխատեսելի և անսպասելի, հատկապես երբ ազդեցության տարածքում կա այնպիսի երկրորդային տեխնածին վտանգի աղբյուր, ինչպիսին ատոմակայանն է (Ճապոնիայի երկրաշարժի օրինակը): Հայաստանի տարածքը ամբողջովին սեյսմավտանգ է և մենք պարտավոր ենք սթափ գնահատել սեյսմիկ պաշտպանության դերը մեր երկրի կայուն զարգացման համար:

Սեյսմիկ ռիսկի (ուժեղ երկրաշարժով պայմանավորված մարդկային և նյութական կորուստների) նվազեցման համար անհրաժեշտ են մշտադիտարկումը, սեյսմիկ վտանգի գնահատումը, սեյսմակայուն շինարարությունը, բնակչության ուսուցումը և կառավարման մարմինների պատրաստվածությունը:

Մեյսմիկ վտանգի գնահատումը, ընհանուր առմամբ, երկրաբանական խնդիր է (ներառելով երկրաֆիզիկականը): Այստեղ է, որ ռազմավարական կարևորություն են ստանում երկրաշարժեր առաջացնող ակտիվ խզվածքների և նրանց մակերեսային դրսևորումների ուսումնասիրությունները:

Մինչ Սպիտակի երկրաշարժը գերիշխող էր այն կարծիքը, որ Կովկասում հնարավոր չէն շատ ուժեղ երկրաշարժեր, առավել ևս՝ մակերեսային խախտմամբ: Այդ վտանգի թերագնահատման արդյունքն էին նաև Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի կործանարար հետևանքները:

### Գործնական նշանակությունը

Իրականացված աշխատանքի արդյունքների ճնշող մեծամասնությունն ունի գործնական նշանակություն: Նշենք դրանցից մի քանիսը ընդհանրացված.

- սեյսմիկ կատալոգի ժամանակային շարքի ընդլայնում, հիմնականում ուժեղ երկրաշարժերի տվյալներով,
- երկրաբանական վտանգավոր երևույթների քանակական գնահատումներ,
- ակտիվ խզվածքների ակտիվության և նրա երկրորդային ազդեցությունների հետ կապված բնական վտանգների գնահատման մակարդակի հիմնավորված բարձրացում:

### Աշխատանքի գիտական նորությունները

Բացահայտվել են ՀՀ և հարակից տարածքների լարվածային դաշտի առանձնահատկությունները, ցույց է տրվել ընդհանուր հյուսիս-հարավ սեղմման պայմաններում ժամանակային և տարածական փոփոխականությունը:

Նևաերկրաշարժագիտական հետազոտություններով ապացուցվել է, որ ներմայրցամաքային ակտիվ խզվածքների համար, որոնց շարքին են դասվում Հայաստանի Հանրապետության տարածքի ակտիվ խզվածքները, բնորոշ են կրկնելիության երկար ժամանակահատվածներ և տեղաշարժերի համեմատաբար ցածր արագություններ:

Բացահայտվել է, որ Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի (ՓՍՍԽ) երկայնքով, ի տարբերություն շարժման հորիզոնական կինեմատիկայի, ուղղաձիգ բաղադրիչը փոփոխվում է ըստ սեզոնների: Այն փոփոխական է նույնիսկ միևնույն սեզոնների սահմաններում:

Հայտնաբերվել է, որ ՓՍՍԽ-ի երկայնքով 7 տեղանքներում տեղի են ունեցել հնախախտումներ (մակերեսի պատռվածքներ), որոնք հնարավորություն են տվել ըստ հնատեղաշարժերի եզրահանգել 7 խոշոր ինդիվիդուալ հնաերկրաշարժերի կայացման մասին, երբ երկրաշարժի ուժգնությունը անցել է 7.0-ից ( $M_w > 7.0$ ): Չնայած ՓՍՍԽ-ի հյուսիսային սեզոնների երկայնքով հայտնի չէին շատ ուժեղ երկրաշարժեր, հնաերկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունները վեր են հանել մակերևույթի խախտումներ հնատեղաշարժերով և արդյունքում առավելագույն

մագնիտուդը 6.2-ից (1187թ.) հասավ  $M_w \geq 7.4$ : Հարավային Խոնարհասարի սեզմենտի համար, երբ բացակայում էին վստահելի տվյալներ, այն գնահատվեց  $M_w > 7.3$ :

Բացահայտվել է, որ երկրաշարժածին խզվածքի տարածման առումով, ՀՀ տարածքում առանձնացված երկրաչափական սեզմենտները կարող են չհանդիսանալ երկրաշարժային սեզմենտներ: Ակտիվ խզվածքների վերադրման վարքի մոդելը առավել համապատասխանում է Հայաստանի Հանրապետության տարածքի ակտիվ խզվածքներին (ՓՄՄԽ-ի օրինակով): Համաձայն այդ մոդելի, ուժեղ երկրաշարժերը տեղի են ունենում բնութագրիչ մագնիտուդներով, տեղաշարժի արագությունները փոփոխական են, գրանցվում է նաև սեզմենտների (մակերեսային խախտումների) վերադրում:

Մարոկոյում իրականացված ուսումնասիրությունների ընթացքում կազմվել են Ալ-Հոսեյմայի շրջանի ակտիվ տեկտոնիկայի և հողերի ջրիկացման վտանգների քարտեզներ, որոնցում ներգրավվել են նոր հայտնաբերված խզվածքներ և սեզմենտներ: Ապացուցվել է նրանց ակտիվությունը: Մակերեսային խախտման ներուժի տեսակետից ՀՀ, Մարոկոյի, Հայիթիի տարածքներում իրականացված հնաերկրաշարժագիտական հետազոտություններն ապացուցեցին ուսումնասիրված ակտիվ խզվածքների քափաբլ (մակերեսային խախտում առաջացնելու ունակ) լինելու հանգամանքը:

Առաջադրվել է Սպիտակի երկրաշարժի ժամանակ երկրորդային մակերեսային խախտման մոդելը՝ երկրաշարժի ժամանակ գոյացած խախտման հարթության խզվածքավորման ուսումնասիրության հիման վրա:

Կատարվել են կոնկրետ բացահայտումներ՝ ակտիվ խզվածքների աշխատանքով պայմանավորված երկրորդային երկրաբանական վտանգների արտահայտություններ: Ցույց տրվեց կոնկրետ սողանքների սեյսմիկ ծագումը: Եզիպտոսի Ամենհոթեպ III տաճարում հնաերկրաշարժագիտական հետազոտությունները հնարավորություն տվեցին հայտնաբերել ինդիվիդուալ հնաերկրաշարժեր, մասնավորապես՝ նրանց երկրորդային ազդեցության հողերի ջրիկացման հիման վրա:

## Աշխատանքի փորձառականությունը

Աշխատանքի առանձին դրոյթները ներկայացվել են բազմաթիվ կոնֆերանսներում և աշխատանքային հանդիպումներում (Международный митинг МАГАТЭ, Ереван, 2010; Конференция, посвященная памяти С.Ачигезяна. Ереван, 2001; Тектоника и Геодинамика континентальной литосферы. Тектоническое совещание. Москва, ГЕОС, 2003; Connaissance tectonique et sismotectonique de la segmentation des failles en surface, FORPRO, CNRS Montpellier, France, 1998; Conf. EUG 10, Strasbourg, 1999; International conference: Problems of geomorphology and tectonics in the Alp-Himalayan mountain zone. Yerevan, 2001; International Symposium MEBE, Paris UPMC déc 2007; International Colloquium, 2010 Mubarak Public Library Luxor, Egypt; "Problems

of Geology of the Caucasus”, Tbilissi, 2010; DARIUS programme Milan workshop, Milan, Italy, 2012; Colossi of Memnon international conference, Luxor, Egypt. 2012; An example of international cooperation in the Caucasus. American Geological Union, San-Francisco, 2012 և այլն):

Թեմայի վերաբերյալ հրատարակվել են երեսունից ավելի աշխատություններ հայրենական և միջազգային, այդ թվում՝ առաջին կարգի գիտական ամսագրերում (5 հոդված տեկտոնիկայի ասպարեզում առաջատար համարվող “Tectonophysics”-ում): 6 հոդվածներ տպագրվել են միջազգային գիտական ժողովածուներում:

### Պաշտպանվող դրույթները

1. Մայրցամաքային բախումից հետո երկրադինամիկ դաշտն ունեցել է փոփոխական զարգացում՝ պահպանելով լարվածային դաշտի գլխավոր առանցքների ընդհանուր կողմնորոշվածությունը:
2. Երկրաշարժամետ գոտիներում մակերեսային խախտումները կարող են հանդիսանալ տեղանքի երկրաբանական գործընթացների կինեմատիկայի և դինամիկայի մասին վկայող տեղեկատվության կրիչներ, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս բնական վտանգի առավել բարձր մակարդակ:
3. Մակերեսային խախտումները, երկրակեղևի մերձմակերեսային մասում բացահայտելով ծագումնաբանությունը, կայացած սեյսմիկ իրադարձությունների ուժգնությունը և դրսևորումների ժամանակները, ունենում են կինեմատիկ բազմազանություն, որոնց ճշգրիտ որոշումը նպաստում է բնական վտանգի աստիճանի առավել օբյեկտիվ գնահատմանը:
4. Իրականացված ուսումնասիրությունները հաստատում են բազմաթիվ մակերեսային խախտումների առկայությունը և ակտիվ խզվածքների երկրորդային ազդեցությունները բոլոր նշված երկրների (Հայաստան, Մարդկո, Եգիպտոս, Հայիթի) ուսումնասիրված տարածքներում:
5. Սեյսմիկ վտանգի գնահատման և սեյսմիկ վտանգի քարտեզի կառուցման ժամանակ պետք է ցույց տրվեն մակերեսային սեյսմածին խախտումները և նրանց երկրորդային ազդեցության տարածման արեալները:

### Շնորհակալություն

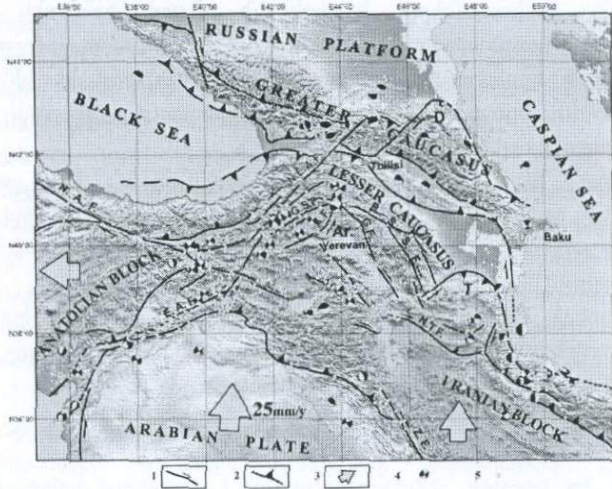
Շեղինակն իր հատուկ շնորհակալությունն է հայտնում երկրաբանական գիտությունների դոկտոր Ա.Կարախանյանին և Սոնտպելլիե 2 Համալսարանի դոկտոր, պրոֆեսոր Հ.Ֆիլիպին, որոնց հետ տարիների համատեղ դաշտային հետազոտությունների որոշ արդյունքներ ընդգրկված են աշխատանքում: Շնորհակալություն ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, երկրաբանական գիտությունների դոկտոր Ռ.Ջրբաշյանին, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ երկրաբանական գիտությունների դոկտոր Ռ.Մելքոնյանին, դոկտոր Ս.Ֆիլիպ-Ռեբային, Սոնտպելլիե 2 Համալսարանի դոկտոր Զ.Ռիցին, երկրաբանական գիտությունների թեկնածուներ Ժ.Ստեփանյանին,

Ռ.Տայանին, Հ.Շահինյանին՝ կարևոր խորհրդատվության և աջակցության համար: Հեղինակն իր երախտագիտությունն է հայտնում երկրաբանական գիտությունների թեկնածու Ռ.Միրջանյանին, որի հորդորներն ու միջամտությունը նպաստեցին սույն աշխատանքի ներկա տեսքով կայանալուն:

Հեղինակը շնորհակալություն է հայտնում նաև ընդհանխոսներին, առաջատար կազմակերպությանը՝ աշխատանքը քննելու պատրաստակամության համար, ինչպես նաև ԵԳԻ կոլեկտիվի բոլոր անդամներին, ովքեր նպաստեցին աշխատանքի կայացմանը:

**Գլուխ 1. Երկրաբանական ընդհանուր տեղեկություններ Հայաստանի Հանրապետության և հարակից տարածքների մասին**

Առաջին գլխում բերվում են երկրաբանական ընդհանուր տեղեկություններ Հայաստանի Հանրապետության և հարակից տարածքների երկրաբանական և կառուցվածքային առանձնահատկությունների մասին: Այն ներառում է ժամանակակից տեղեկություններ տարածաշրջանի տեկտոնական զարգացման պատմության, տեկտոնա-շերտագրական միավորների, ակտիվ տեկտոնիկայի (նկար 1) և նրանց սեյսմիկ արտահայտվածության առանձնահատկությունների մասին:



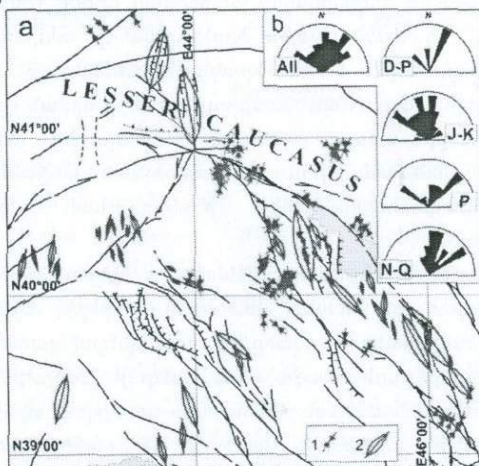
Նկար 1. Արաբական սալից հյուսիս ակտիվ տեկտոնիկան (ըստ Philip et al., 1989; Avagyan et al., 2005), 1. հիմնական կողաշարժերը; 2. հիմնական վրաշարժերը; 3. Եվրասիայի համեմատ բլոկների հարաբերական շարժումները; 4.  $M_w > 4.8$  երկրաշարժերի ֆոկալ մեխանիզմները (CMT Harvard); 5. գործիքային սեյսմիկությունը  $3 < M_b < 4.9$  (USGS-NEIC): Ar. Հայաստան, D. Դագեստան, T. Թալիշ, E.A.F. Արևելա Անատոլական խզվածք, N.A.F. Հյուսիս Անատոլական խզվածք, P.S.S.F. Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածք, Z.F. Զագրոսի խզվածք, N.T.F. Հյուսիս Թավրիզի խզվածք, G.S.F. Ժելտառեչկա-Սարիղամիշ խզվածք:



**Գլուխ 2. Տարածաշրջանի երկրադինամիկ դաշտի օրինաչափությունները**

Երկրորդ գլխում մուլտիդիսցիպլինար մոտեցմամբ քննարկվում են տարածաշրջանի երկրադինամիկ դաշտի օրինաչափությունները՝ հաշվի առնելով երիտասարդ (բնորոշվող ակտիվ խզվածքներով, GPS տեղակայման, երկրաշարժերի P առանցքների տվյալներով), երիտասարդ և հնալարվածային (բնորոշվող հրաբխային կլաստերներով, միկրոխզվածքներով, ծալքավորմամբ) դաշտերը:

Տեկտոնական լարվածա-դեֆորմացիոն դաշտի ցուցիչները (նկար 2) ցույց են տալիս մասշտաբային և ժամանակային փոփոխություններ, կապված հիմնականում Հարավ հայկական բլուխի և Եվրասիական եզրի, այնուհետև Արաբա-Եվրասիական կոլիզիաների զարգացման հետ:



Նկար 2. a-Սեղման առանցքի հորիզոնական բաղադրիչը ըստ միկրոտեկտոնական (1) և հրաբխային կլաստերների (2) տվյալների: b- սեղման առանցքի վարդի դիագրամայում, դիտարկված տարբեր հասակի երկրաբանական ֆորմացիաներում:

Ծալքավորումից, խզվածքների կինեմատիկայից և հրաբխային կլաստերներից բխող ընդհանրական հյուսիս-հարավ (N-S) սեղման առանցքի առկայության պայմաններում գոյություն ունեն երկրորդային՝ հյուսիս արևմուտք-հարավ արևելք (NW-SE) և հյուսիս արևելք-հարավ արևմուտք (NE-SW) առանցքները: Վերջիններս առավել ազդեցիկ են եղել առանձին տեկտոնական զարգացման փուլերում և նրանցով պայմանավորված կառույցներն այնուհետև ազդել են հետագա լարվածադեֆորմացիոն դաշտի ձևավորման վրա: Առաջինը ավելի նշանակալից է եղել ուշ Պալեոգենում և վաղ Միոգենում, իսկ երկրորդն ուշ Միոգեն-Չորրորդականում: Հավանաբար այս շրջանում տեկտոնական ռեժիմը փոխվել է հիմնականում կոմպրեսիոնալից՝ (compressional (thrusting and reverse faulting)), արտահայտված հիմնականում վրաշարժերով և վերնետներով, դեպի տրանսպրեսիվ

և տրանստենսիոն կողաշարժերով (transtension-transpression producing strike-slip faulting): Վերջինիս արդյունքում, սկզբնապես ուղղաձիւն մոտ Պոնտիդ-Փոքր Կովկաս լեռնաշղթաները և կառույցները ենթարկվեցին օրոգեն ճկման, պայմանավորված Հարավ հայկական բլոկի դեպի հյուսիս շարժմամբ:

### Գլուխ 3. Մակերեսային խախտումների բացահայտումը. Հնա-երկրաշարժագիտական հետազոտություններ

Երրորդ գլխում քննարկվում են մակերեսային խախտումները, նրանց բացահայտման, ծագումնաբանության և մեկնաբանման հետ կապված խնդիրները: Տրվում է մակերեսային երկրորդային խախտման մոդել՝ Սպիտակի երկրաշարժի համար: Բերվում են մակերեսային խախտումների տեղադրվածության մասին նկարագրություններ, տրվում են նրանց ժամանակային և մագնիստոլոգիային քանակական ցուցանիշներ: Ուսումնասիրությունների հիման վրա բնութագրվում են ակտիվ խզվածքների վարքը (Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի օրինակով): Հիմնավորվում է նշված համալիր ուսումնասիրության անհրաժեշտությունը բնական վտանգների թերագնահատումներից, ինչպես նաև գերագնահատումներից խուսափելու համար:

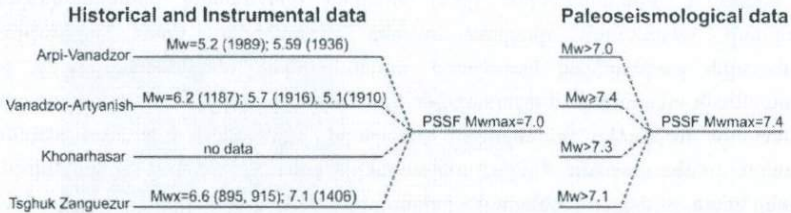
Ներգամաքային տարածաշրջաններում երկրաշարժերի կրկնելիության միջակայքերը կարող են հասնել տասնյակ դարերի, երբեմն գերազանցելով պատմագրական ժամանակահատվածը: Դրանից էլնելով պատմական և գործիքային սեյսմիկության տևողությունը հաճախ բավարար չէ խզվածքների ակտիվությունը բնութագրելու համար: Հնասեյսմաբանությամբ ստացված արդյունքներով, սեյսմիկ իրադարձությունների շարքը ընգրկում է մի քանի հազար տարի ավելի ժամանակահատված և, ինչն ամենակարևորն է, հայտնաբերված երկրաշարժերը գնահատվում են 7.0 մագնիստոլոգի բարձր:

Մակերեսային խախտման սկարպերի անուղակի հասակագրմանը զուգահեռ դրվել են նրա ուղղակի գնահատման հիմքերը՝ Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի օրինակով: Սկարպի հողմնահարման չափագրումը հետագայում հնարավորություն կտա ստանալ դիֆուզիայի գործակիցը (K) Վալասի սկարպի դիֆուզիոն դեգրադացիայի համար:

Հնաերկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ ՓՄՍԽ բոլոր սեզմենտների (բացառությամբ Մոավ սեզմենտի, որի համար հնաերկրաշարժերի տվյալներ չեն ստացվել և որի համար հայտնի է միայն 1139 թվականի ավերիչ երկրաշարժը) երկայնքով, վերջին 9000 տարվա ընթացքում, տեղի են ունեցել հնախախտումներ, երբ երկրաշարժերի մագնիստոլոգ անցել է 7.0 -ից: ՓՄՍԽ-ի հյուսիսային երեք սեզմենտների երկայնքով մինչ այդ հայտնի չէին շատ ուժեղ երկրաշարժեր: Հնաերկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունները վեր հանեցին մակերևույթի խախտումներ՝ հնատեղաշարժերով: Ապացուցվեց ուժեղ

երկրաշարժերի առկայությունը ոչ վաղ երկրաբանական անցյալում, ուստի և նրանց բարձր հավանականությունը մոտակա երկրաբանական ապագայում (նկար 3):

Ապացուցված կարելի է համարել, որ Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի (բացառությամբ Մոավ սեզմենտի), ինչպես նաև Գառնիի խզվածքի հարավային և հյուսիսային սեզմենտները մակերեսային խախտումներ են առաջացրել (այսինքն քափար խզվածքներ են): Ապացուցվել է նաև Սարոկոյի, Ալ Չոսեյնա շրջանի մի շարք խզվածքների և Հայիթիի Պորտո Պրինս մայրաքաղաքի տարածքում հայտնաբերված ակտիվ խզվածքների սեզմենտների քափար բնույթը:



Նկար 3. Պատմագրական և գործիքային տվյալներով (ըստ Նոր-Ատոմ 2010 կատալոգի (Seismic Hazard Assessment, 2011)) և հնաերկրաշարժագիտական տեղաշարժերի տվյալներով ՓՍՍԽ-ի չորս սեզմենտների առավելագույն մագնիտուդները (Avagyan, 2001; Philip et al., 2001):

Ուսումնասիրման արդյունքները ցույց են տալիս, որ երկրաշարժածին խզվածքների տարածման առումով, ՀՀ տարածքի ակտիվ խզվածքները իրենց չեն դրսևորում որպես երկրաշարժային սեզմենտներ (գոյություն ունի խախտումների տարածում հարևան սեզմենտների երկայնքով): Տեղաշարժերը Փամբակ-Սևան-Սյունիքի և Գառնիի խզվածքներով կատարվում են առավելապես կոսեյսմիկ տեղաշարժերի միջոցով:

Ինչպես պարզ դարձավ ուսումնասիրությունների արդյունքում, Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի տարբեր սեզմենտները դրսևորում են տարբեր հորիզոնական շարժումների արագություններ: Տեղաշարժի արագությունները փոփոխվում են նաև Հայաստանի այլ ակտիվ խզվածքների տարբեր սեզմենտների սահմաններում: Բերրիմանի և Բիկլանդի կողմից առաջարկված ակտիվ խզվածքի վարքի մոդելներից միայն երկուսն են բավարարում այդ պայմաններին՝ բնութագրիչ երկրաշարժի մոդելը և վերադրման մոդելը: Համաձայն բնութագրիչ մոդելի, խզվածքները հիմնականում միտում ունեն առաջացնել մագնիտուդի թույլ փոփոխման (~0.5) սահմաններով երկրաշարժեր: Այնուամենայնիվ, բնութագրիչ երկրաշարժի մոդելը պահանջում է, որ երկրաշարժերը կրկնվեն սեզմենտի սահմաններում, ուստի վերադրման մոդելը ավելի լավ է համապատասխանում Հայաստանի Հանրապետության ակտիվ խզվածքների վարքին: Համաձայն այդ մոդելի ուժեղ երկրաշարժերը տեղի են ունենում բնութագրիչ մագնիտուդներով, սակայն

տեղաշարժի արագությունները փոփոխվում են և գրանցվում է սեզմենտների վերադրում:

Խախտումների օրինակները ցույց են տալիս նրանց մեկնաբանման հետ կապված ղեկավարությունները: Մակերեսային խախտումների մեծ մասը, հատկապես ժայռային կամ կապակցված ապարներում գոյացած վերնետների դեպքում և ուղղաձիգին ոչ շատ մոտ խզվածքի հարթությամբ վարնետների դեպքում, կինեմատիկայով հիմնականում արտացոլում են խորքային իրադրությունը: Սակայն բերված օրինակները շատ դեպքերում վկայում են նրանց թվացյալ բնույթն, ընդ որում, այն կարող է արտահայտված լինել տարբեր կինեմատիկ իրավիճակներում: Գոգարանի տեղամասի դեպքում ունենք ուղղաձիգին մոտ հարթությամբ վարնետային բաղադրիչով կողաշարժ՝ ձախակողմյան սեզմենտավորմամբ, իսկ Մեմյոնովկայի տեղամասում ուղղաձիգին մոտ հարթությամբ և թույլ արտահայտված վարնետային ուղղաձիգ բաղադրիչով կողաշարժ, որի օգտին է խոսում սեղմման կատարների ձևավորումը: Երկու տեղանքների խրամուղիներում դիտարկվում է միմյանց նման, թվացյալ վերնետային բաղադրիչ: Նման պատկեր է դիտարկվում նաև Օուտսարի տեղամասում: Ֆիոլետովոյի տեղամասում ավելի բարդ իրավիճակ է, ուր բլուրների առանցքներն ունեն հիմնականում աջ սեզմենտավորում և սպասվող վերնետի փոխարեն խրամուղիներից մեկում դիտարկվում է վարնետ:

Գոգարանի տեղամասի խրամուղում խախտման հարթության դեպի հարավ անկումը մակերեսի մոտ իրականում համապատասխանում է թվացյալ (apparent) վերնետային խզվածքին: Թվացյալ խզվածքի հարթության անկման վրաշարժին մոտ վերնետ դիտարկվել է նաև Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածքի Խոնարիասարի սեզմենտի երկայնքով:

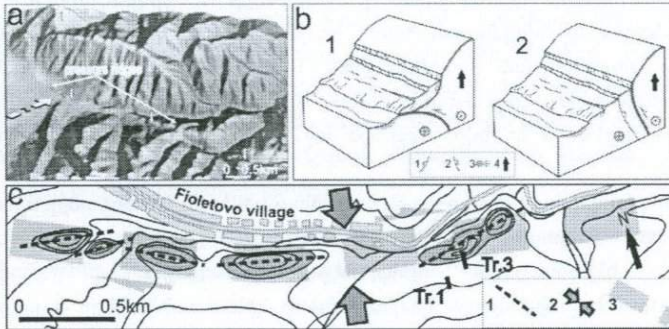
Հետադարձ վերլուծությունը հնարավորություն տվեց առաջարկելու զարգացման հերթականություն, որը բացահայտում է իրական կինեմատիկան: Խզվածքի հարթությունը մերձմակերեսային հատվածում ընդունելով մերձուղղաձիգ դիրք, նրա աշխատանքի II-րդ փուլում բարձրացած թևը մղվում է դիմացի ազատ տարածք և ծանրության ուժի ազդեցության տակ իջնում ներքև՝ ծածկելով իջած թևը: Այսպիսով ուղղաձիգ կամ ուղղաձիգին մոտ վարնետային խզվածքի և՛ փուխր, և՛ վատ կապակցված գրունտների դեպքում հնարավոր է դառնում մակերեսին ունենալ թվացյալ վերնետային պատկեր:

Ի տարբերություն Գոգարանի, Մեմյոնովկայում իրականացված խրամուղու մեջ հնարավոր եղավ ակնադիտորեն արձանագրել մերձուղղաձիգ խախտման հարթության կորացում և թվացյալ միջին և փոքր անկմամբ վերնետային խախտման ձևավորում՝ դրանով հաստատելով Գոգարանի տեղամասի համար արված ենթադրությունը:

Կողաշարժային լարվածային ռեժիմում խզվածքագոյացման ժամանակ առաջացած Ֆիոլետովոյի բլուրները (նկար 4) իրենցից ներկայացնում են սեղմման կատարներ, նրանց դասավորությունն աջ էշելոնային է (չհաշված արևմուտքից 3-րդ

բլուրը), ի տարբերություն Գոգարանի տեղանքում դիտարկվածի: Աջակողմյան տեղաշարժի հետ համադրմամբ այստեղ սեզմենտները պետք է աջակողմյան կողաշարժի հետ ունենան վերնետային բաղադրիչ, սակայն ի հակառակ դրան այստեղ բլուրներն եզրավորող խախտումներից մեկի վրա փորված երրորդ խրամուղում դիտարկվեց վարնետային խզում, իսկ առաջինում, որը գտնվում էր որոշակի հեռավորության վրա՝ լարվածության դաշտի հետ համահունչ վերնետային խզում:

Ֆիոլետովոյի տեղամասի (նկար 4) համար առաջարկվեց խախտման մոդելներ, ըստ որի բլուրները եզրավորող խախտումները մակերեսի մոտ կամ երկրորդային վարնետներ են, կամ թվացյալ վարնետներ:



Նկար 4. Ֆիոլետովոյի տեղամասի խզվածքի գոնան եռաչափ մոդելում (a) և քարտեզում (c) (1-վարնետ; 2- վերնետ; 3- կողաշարժ; 4- բլուկի բարձրացում), առաջարկվող խզվածքի մոդելների բլոկ դիագրամները (b): 1- բլուրների առանցքները; 2- սեղմման տարածաշրջանային առանցքը; 3- խզվածքի գոտին (Avagyan, 2009):

Սպիտակի խախտման հարթությունների վրա դիտարկվող քերծվածքավորման ուսումնասիրմամբ հնարավոր դարձավ կինեմատիկ և դինամիկ վերակառուցումների հիման վրա վերակազմել խախտման գործընթացը Սպիտակի կենտրոնական սեզմենտի վրա և առաջարկել երկրորդային մակերեսային խախտման մոդել: Վերլուծվել է Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի խզման կենտրոնական սեզմենտի հարթության տարբեր ձևերի և կողմնորոշման քերծվածքավորումը: Այն թույլ տվեց վերականգնել մակերեսային խզվածքի պատման ընթացքը և վեր հանել նրա երկակի մեխանիզմը: Նախնական քերծվածքավորումները առաջացել են երկրորդային մակերեսային խզման հարթության վրա, մինչև հիպոկենտրոնային խզման մակերես դուրս գալը և չեն համընկնում գումարային տեղաշարժի ուղղության հետ: Հետագա քերծվածքավորումները առաջացել են հիպոկենտրոնային խզման մակերես դուրս գալու ժամանակ: Նրանց վրա վերադրված ավելի ուշ քերծվածքավորումը հետևանք է դինամիկ լարվածության փոփոխությունների:

Ուսումնասիրությունը ցույց տվեց, որ ուժեղ սեյսմիկ իրադարձության ժամանակ խզվածքի հարթության վրա հնարավոր է դիտարկվեն քերծվածքավորումներ, որոնք կտարբերվեն հիպոկենտրոնում գրանցված և արդյունքային տեղաշարժի վեկտորներից: Սա վկայում է երկրաբանական միջավայրի, կոնկրետ մակերևույթի ձևախախտման բարդությունների մասին, ոչ միայն երկրաբաժանվետ փուլում, այլև ակնթարթային դրվագներում:

Տեկտոնական երկրաշարժերը, պայմանավորված ակտիվ խզվածքներով, ունեն վստահ կրկնելիություն: Որոշակի միջերկրաշարժային ժամանակային տիրույթում կուտակվող լարվածությունները ապարների դիմադրողականության սահմանը գերազանցելիս նորից կառաջացնեն խախտումներ և երկրաշարժեր: Սակայն հրաբխականությամբ պայմանավորված խախտումների գոյացումը կապված է հրաբխային ակտիվության կրկնելիության հետ: Մոնոգեն հրաբխականության դեպքում հրաբխածին երկրաշարժը տեղի կունենա միայն նրա ակտիվության ժամանակ և այլևս չի կրկնվի, այսինքն այս դեպքում երկրաշարժերի վտանգը վերանում է:

Ելնելով խնդրի կարևորությունից ուսումնասիրվել են 22 տարածքի հրաբխային ակտիվությամբ հարուցված, նաև գրավիտացիոն ծագման խախտումների օրինակներ՝ ներկայացված հրաբխածին ցամաքային ու լճագետային նստվածքներում և լավաներում: Խախտումների կինեմատիկաները և տարածման օրինաչափությունները ցույց են տալիս նրանց ծագման կապվածությունը հրաբխային կառույցների շրջանաձևության և նրա կենտրոնի նկատմամբ տեղադիրքի հետ՝ հաճախ ցույց տալով տարբեր, երբեմն ռադիալ-համակենտրոն բախշվածություն, կապված հրաբխային կառույցի ձևավորման կամ փլուզման հետ: Դրանցից լավագույնները ներկայացվել են Եղվարդի և Շամիրամի սարավանդների հրաբուխների օրինակներով: Այստեղի խախտումները հիմնականում փոքր տեղաշարժերով վարնետային են, սակայն դիտարկումները ցույց տվեցին վերնետների առաջացման հնարավորություն, որոնք առանց երկրաբանական կառուցվածքային ստուգաբանության, կարող էին շփոթեցնել և վերագրվել տեկտոնական ծագման: Վերլուծությունները ցույց տվեցին նրանց կոմպենսացիոն և ռոտացիոն բնույթը նույն հրաբխածին միջավայրում:

Նախաժայթքման տեղանքի դեֆորմացիաները, մագմայի տեղաշարժման միկրոցնցումները և նրա ժայթքման հիմնական ցնցումները փոխազդելով ծանրահակ ուժի հետ հանգեցնում են դիտարկված ոչ տեկտոնական հրաբխածին դեֆորմացիաների:

Արագածի լանջերին դիտարկված ճեղքավորումները, զարգանում են դայկայի գագաթային մասի ընդարձակման գոնայի և մակերևույթի փոխազդեցությամբ: Մրանք, տարածվելով հրաբուխների լանջերին, ձևավորում են օղակաձև խզում, որոնք որպես կանոն ունեն մեծ անկումներ: Դիտարկված ճեղքերի կամ խախտումների սահմանափակ երկարությունը և ակնհայտ կապը դայկաների

ներդրման հետ նրանց դասում է հրաբխածինների շարքին: Մրանք ըստ էության օղակաձև խզվածքի առանձին սեգմենտներ են:

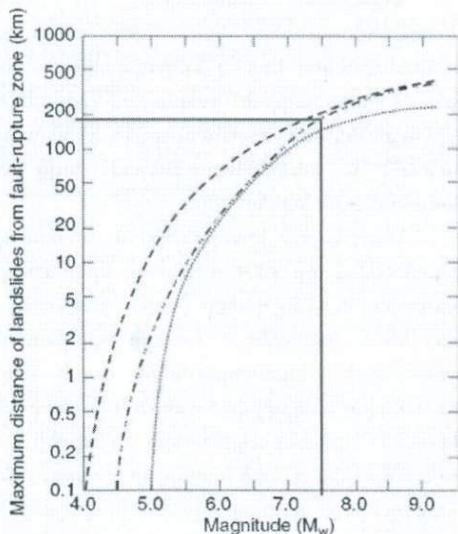
#### Գլուխ 4. Երկրաշարժերի անուղակի ազդեցությունները

Այս գլխում բերվում են միջավայրի վրա երկրաշարժերի անուղակի ազդեցության բացահայտված օրինակներ, մասնավորապես սողանքների և հողերի ջրիկացման և հնարավոր երկրաշարժ-հրաբուխ տրիգերային կապերի վերաբերյալ: Ցույց է տրվում, որ մակերեսային խախտումների և ուղեկցվող երկրաշարժերի հետ կապված վտանգը պետք է վերլուծվի համալիր ձևով, հաշվի առնելով միջավայրի վրա նրանց ազդեցությունները:

Անչափ կարևոր են ակտիվ խզվածքների ակտիվությամբ հրահրված երկրորդային երևույթները՝ սողանքները, փլուզումները, հողերի ջրիկացումը և հնարավոր հրաբխային ակտիվացումը: Լանջային ծանրահակ գործընթացները բերում են հսկայական տնտեսական վնասներ և մարդկային զոհեր: Մասնավորապես սողանքները հանդիսանում են մշտական և մեծամասշտաբ վտանգ, հատկապես լեռնային սեյսմաակտիվ երկրների համար:

Ակտիվ տեկտոնիկայի տեսանկյունից առավել հետաքրքրական են այն սողանքները, որոնք հրահրված են երկրաշարժերով:

Նկար 5. M7.5 մագնիտուդով երկրաշարժի համար սողանք առաջացնելու առավելագույն հեռավորությունը մակերեսային խզվածքից ըստ Կեֆերի (Keefer, 1984, 2002) համարյա 200կմ է, մինչդեռ Մարտունու սողանքի լեզվակը գտնվում է Փամբակ-Սևան-Սյունիք ակտիվ խզվածքից մոտ 14կմ հեռավորության վրա, իսկ սողանքի թիկունքային գլխավոր սկարպերը՝ ընդամենը 4-5կմ հեռավորության վրա:



Հաճախ խզումների բացակայության պայմաններում սեյսմածին սողանքները դառնում են վճռորոշ օբյեկտներ հնասեսյամաբանական ուսումնասիրությունների համար: Նման մոտեցումով ուսումնասիրվել է Գառնու մեծ սողանքը: Այդուհանդերձ, ընդհանուր առմամբ գոյություն ունի էական տարբերություն հնասեսյամաբանական խախտումների և սողանքների ուսումնասիրությունների միջև: Առաջին դեպքում

ուսումնասիրության առարկան կոնկրետ խզման ակտիվության պատմությունն է, երկրորդ դեպքում՝ սեյսմածին սողանքի տարածքի ցնցումային պատմությունը: Աշխատանքում Հայաստանի, Հայիթիի, Մարոկոյի տարածքներից բերված օրինակներով ցույց են տրված սողանքների և ակտիվ խզվածքների հաճախակի հարևանությունը: Եվ՝ Գառնիի, և՛ Մարտունու սողանքների օրինակներով (նկար 5) ապացուցված է նրանց սեյսմածնությունը կամ սեյսմածին լինելու մեծ հավանականությունը:

ՀՀ տարածքում նպատակային ուսումնասիրություններ չեն իրականացվել հողերի ջրիկացման ուղղությամբ, երբ դինամիկ պայմաններում փոխվում է գրունտի վիճակը, անցնելով ամուր, կայուն վիճակից ջրիկ անկայուն վիճակի: Այնուամենայնիվ դրանք շատ հնարավոր են երիտասարդ ավազակավային ջրհագեցած նստվածքներում, որոնք առկա են Արարատյան, Շիրակի, Սևանի ավազաններում և այլուր: Առավել նա, որ կան պատմական նկարագրություններ 1840թ. երկրաշարժի ժամանակ Արաքսի հովտում դիտարկված երևույթների մասին, որոնք նույնանում են հողերի ջրիկացման հետ:

Շատ կարևոր է ցույց տալ հողերի ջրիկացման սեյսմիկ ծագումը և չջվողել նախապես առաջացած ճեղքերով մակերեսային ջրային հոսքերի տարածման, սողանքային և արտեզյան պայմաններում առաջացող օբյեկտների հետ:

Եգիպտոսի Ամենհոթեպ III տաճարում հնաերկրաշարժագիտական հետազոտությունները հնարավորություն տվեցին հայտնաբերելու հնաերկրաշարժեր, մասնավորապես նրանց երկրորդային ազդեցության՝ հողերի ջրիկացման հիման վրա: Իրականացված բազմաթիվ խրամուղիներում, հորերում և դիտարկված մերկացումներում հայտնաբերվեցին սեյսմիտներ, ապացուցվեց նրանց սեյսմիկ ծագումը և հասակագրումներով ցույց տրվեց առնվազն մեկ երկրաշարժի ժամանակային ինտերվալը:

Մարոկոյում իրականացված նմանատիպ հետազոտությունների ժամանակ ապացուցվեց, որ 2004 թվականի երկրաշարժից հետո Միջերկրածովյան ակումբի ճանապարհի ճեղքվածքը, որը սխալմամբ ընդունվել էր որպես մակերեսային խախտում, իրականում հողերի ջրիկացման արդյունք էր: Կից կառույցների հատակների ճեղքավորումները ունեն տարբեր ազիմուտներ, սակայն հստակ բացատրվող տեղադրվածություն և կոնստրուկտիվ բնույթ. համապատասխանում են բետոնյա կոնստրուկցիաների տարբեր հզորություններով պայմանավորված հանգույցներին, ուստի և տարբեր ծանրության մասերի սահմաններին: Դա հետևանք է նրանց հիմքը կազմող ավազների, որոշակի խորություններում հողերի ջրիկացման, կառույցների բեռի առկայության պայմաններում մակերեսի ձևախախտումների:

Ռիաս գետի անմիջապես գետաբերանի մոտ դիտարկված հողերի ջրիկացման հետևանքով առաջացած սեյսմիտների ուսումնասիրությունը և հասակագրումը ցույց տվեց, որ այն կարող է լինել 1775թ. Լիզբոնի ավերիչ երկրաշարժի կամ 1969թ. հզոր երկրաշարժի արդյունք:



## Եզրակացություն

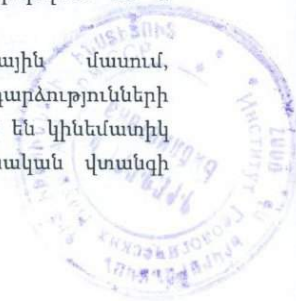
Հայաստանի Հանրապետությունում առավել ռիսկային են երկրաբանական վտանգները, որոնց թվում՝ նաև երկրաշարժերը: Վերջինները կապված են ակտիվ խզվածքների հետ և միայն նրանց վարքի ուսումնասիրմամբ է հնարավոր հասկանալ սպասվելիք վտանգի չափի և ռիսկերի նվազեցման աշխատանքների բնույթի և ծավալների մասին: Միջավայրի վրա ակտիվ խզվածքների ազդեցությունների և մերձակերեսային դրսևորումների ուսումնասիրությունը հանդիսանում է կարևոր երկրաբանական խնդիր:

Օալբավորումից, խզվածքների կինեմատիկայից և հրաբխային կլաստերներից, երկրաշարժերի P առանցքների 7 GPS վեկտորներից բխող ընդհանրական հյուսիս-հարավ (N-S) սեղմման առանցքի առկայության պայմաններում գոյություն ունեն երկրորդային՝ հյուսիս արևմուտք-հարավ արևելք (NW-SE) և հյուսիս արևելք-հարավ արևմուտք (NE-SW) առանցքները: Վերջիններն առավել ազդեցիկ են եղել առանձին տեկտոնական զարգացման փուլերում և նրանցով պայմանավորված նորագոյացած կառույցներն այնուհետև ազդել են հետագա լարվածադեֆորմացիոն դաշտի ձևավորման վրա: Երկրաբանական զարգացման ընթացքում, մայցամաքային բախումից հետո, երկրադինամիկ դաշտն ունեցել է փոփոխական զարգացում՝ պահպանելով լարվածային դաշտի գլխավոր առանցքների ընդհանուր կողմնորոշվածությունը:

Երկրաշարժամետ գոտիներում մակերեսային խախտումները կարող են հանդիսանալ տեղանքի երկրաբանական անցյալի գործընթացների կինեմատիկայի և դինամիկայի մասին վկայող տեղեկատվության կրիչներ, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս առավել բարձր վտանգի մակարդակ: Հնաերկրաշարժագիտական ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ ՓՄՄԽ բոլոր սեզմենտների (բացառությամբ Մոավ սեզմենտի, որի համար հնաերկրաշարժերի տվյալներ չեն ստացվել) երկայնքով վերջին 9000 տարվա ընթացքում տեղի են ունեցել հնախախտումներ, երբ երկրաշարժերի մագնիտուդը անցել է 7.0 -ից: Խզվածքը իր ամբողջ երկայնքով դրսևորում է հորիզոնական աջակողմյան տեղաշարժի կինեմատիկա, մինչդեռ նրա ուղղաձիգ բաղադրիչը փոփոխական է (վերնետից վարնետ):

Հայաստանի Հանրապետության տարածքի ակտիվ խզվածքների վարքին առավել լավ համապատասխանում է վերադրման մոդելը (ՓՄՄԽ-ի օրինակով): Համաձայն դրա, ուժեղ երկրաշարժերը տեղի են ունենում բնութագրիչ մագնիտուդներով, սակայն տեղաշարժի արագությունները փոփոխվում են և գրանցվում է սեզմենտների վերադրում:

Մակերեսային խախտումները իրենց մերձակերեսային մասում, բացահայտելով ծագումնաբանությունը, կայացած սեյսմիկ իրադարձությունների ինտենսիվությունները և դրսևորումների ժամանակները, ունենում են կինեմատիկ բազմազանություն, որոնց ճշգրիտ որոշումը նպաստում է բնական վտանգի



2037

աստիճանի առավել օբյեկտիվ գնահատմանը: Բացահայտվեցին խախտումների կինեմատիկաների հնարավոր թվացյալ բնույթները, տրվեց Սպիտակի 1988թ. մակերեսային խզվածքի պատման ընթացքի մոդելը և վեր հանվեց նրա երկակի մեխանիզմը: Սկզբնական փուլում երկրի մակերեսին ձևավորվեց խախտում, որի կինեմատիկան տարբեր էր խորքային խախտման կինեմատիկայից՝ բացահայտված ֆոկալ մեխանիզմով: Այդ ժամանակ դեռևս խորքային խախտման ճակատը չէր տարածվել մինչև երկրի մակերես:

Տարբեր ծագման երկրաշարժերի և նրանց առաջացնող կառույցների իմացությունը կարևոր է, քանի որ նրանք ունեն տարբեր մագնիտոտոլոգային ներուժ և կրկնելիություն: Հրաբխածին երկրաշարժերը իրենց ուժգնությամբ զգալիորեն զիջում են հրաբխատեկտոնական և, առավել ևս, տեկտոնական ծագման երկրաշարժերին, ուստի կարևոր է երկրաշարժածին կառույցների ճանաչողությունը՝ վտանգի գերազնահատումներից խուսափելու համար: ՀՀ-ում դիտարկված հրաբխածին խախտումների զգալի մասը ըստ էության սեյսմածին են (առաջացել են ցնցումներից), սակայն չեն հանդիսանում սեյսմածին կառույցներ (seismogenic structure) (ինչպես օրինակ տեկտոնական խախտումները), որոնց ակտիվությունը առաջացնում է երկրաշարժեր:

Սեյսմիկ վտանգի գնահատման և սեյսմիկ վտանգի քարտեզի կազմման ժամանակ պետք է ցույց տրվեն մակերեսային սեյսմածին խախտումները և երկրաշարժերի երկրորդային ազդեցության տարածման արեալները: Դրանցից առավել նշանակալիցը սողանքներն են: ՀՀ տարածքը գտնվում է սեյսմաակտիվ գոտում, ուստի սողանքները, եթե նույնիսկ սեյսմածին չեն, կրել և կրելու են երկրաշարժերի ազդեցությունը: ՀՀ, Հայիթիի, Մարոկոյի տարածքներում հաճախակի են սողանքների և ակտիվ խզվածքների հարևանությունը, ուստի հավանական է նրանց տրիգերային կապը: Գառնիի սողանքի օրինակով ապացուցվեց նրա սեյսմածին բնույթը և ցույց տրվեց այլ սողանքների սեյսմածին լինելու մեծ հավանականությունը:

Եգիպտոսի Ամենհոթեպ III տաճարում հնաերկրաշարժագիտական հետազոտությունները հնարավորություն տվեցին հայտնաբերելու հնաերկրաշարժեր, մասնավորապես՝ նրանց երկրորդային ազդեցության՝ հողերի ջրիկացման հիման վրա: Նմանատիպ ուսումնասիրություններով հաստատվեցին հողերի ջրիկացման երևույթների առկայությունը Մարոկոյի Ալ-Հոսեյմայի շրջանում:

Սեյսմիկ վտանգի գնահատման և սեյսմիկ վտանգի քարտեզի կառուցման ժամանակ պետք է ցույց տրվեն մակերեսային սեյսմածին խախտումները և նրանց երկրորդային ազդեցության տարածման արեալները:

## Ատենախոսության թեմայով հրատարակումների ցանկ

1. Կարախանյան Ա., Ավագյան Ա., Ավանեսյան Մ., Բաղդասարյան Հ. Մոդալներ. թերազնահատված վտանգ: Գիտության աշխարհում, Երևան, 2007, 3, ISSN 1829-0345, էջ 50-58:
2. Ավագյան Ա.Վ. Տեկտոնական խախտումների մերձավերջային երկրաչափական բարդացումները Հայաստանի Հանրապետության տարածքի օրինակով: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, Երևան, 2011, N1, էջ. 3-16:
3. Ավագյան Ա.Վ. Գրավիտացիայի և հրաբխային ակտիվության հետ կապված խախտումները Հայաստանի Հանրապետության տարածքի օրինակով: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր. Գիտություններ Երկրի մասին, Երևան, 2011, հատ. 64, 3, էջ. 14-26:
4. Авакян А.В. Анализ микротектонических данных очаговой зоны Спитакского землетрясения 1988г. и центральной части территории Республики Армения. Известия НАН РА, Науки о Земле, Ереван, 1997, L, 1-2, ст.94-98.
5. Караханян А., Джрбашян Р., Трифонов В., Филип Э., Аракелян С., Авагян А., Багдасарян А., Давтян В. Активные вулканы и вулканическая опасность на территории Армянского нагорья и сопредельных областей. Известия НАН РА, Науки о Земле, Ереван, 2004, LVII, №1, ст. 3-24.
6. Авагян А.В. Структура и кинематика Меридионального разлома (район Алавердского месторождения). Известия НАН РА, Науки о Земле, Ереван, 2009, LXII, №1, ст.32-36.
7. Arthaud F., Leonardi V., Avanesian A., Avagyan A., Grillot J-C. Effets des déformations tectoniques sur le comportement hydraulique d'un aquifère artésien dans une région sismique (Arménie). Bull. Soc. Géol. France, 4, 1998, p. 579-588.
8. Philip H., Avagyan A., Karakhanian A., Ritz J.-F. & Rebai S. Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak-Sevan-Sunik fault (Armenia). Tectonophysics, 2001, 343, p. 205-232.
9. Karakhanyan A., Djrbashian R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S. and Avagian A. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2002, 113, p. 319-344.
10. Karakhanyan A., Jrbashyan R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagyan A., Baghdassaryan H., Davtian V., Ghoukassyan Yu. Volcanic Hazards in the Region of the Armenian Nuclear Power Plant. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2003, 126, p. 31-62.
11. Avagyan A., Karakhanyan A., Philip H. Une éruption volcanique gravée dans le roc. Pour la science, 2003, №305, p. 13-14.
12. Avagyan A., Ritz J-F., Karakhanyan A., Philip H. Dual near-surface rupturing mechanism during the 1988 Spitak earthquake (Armenia). Proceedings of the NAS of

the RA. Earth Sciences. Erevan, 2003, LVI, 3, p. 14-19.

13. Karakhanyan A., Trifonov V., Philip H., Avagian A., Hessami K., Jamali F., Bayraktutan S., Bagdassarian H., Arakelian S. & Davtian V. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-western Iran. *Tectonophysics*, 2004, 380, p. 189–219.
14. Avagyan A., Sosson M., Philip H., Karakhanyan A., Rolland Y., Melkonyan R., Rebai S., Davtyan V. Neogene to Quaternary stress field evolution in Lesser Caucasus and adjacent regions using fault kinematics analysis and volcanic cluster data. *Geodinamica Acta*, 2005, 18, p. 401-416.
15. Karakhanyan A., Jrbashyan R., Trifonov V., Philip H., Arakelyan S., Avagyan A., Baghdassaryan A., Davtyan V. Historical volcanoes of Armenia and adjacent areas: What is revisited? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006, 155, p. 338-345.
16. Karakhanyan A., Trifonov V., Ivanova T., Avagyan A., Rukieh M., Minini H., Dodonov A., Bachmanov D. Seismic deformation in the St. Simeon Monasteries (Qal'at Sim'an), Northwestern Syria. *Tectonophysics*. 2008, 453, p.122-147.
17. Davtyan V., Doerflinger E., Karakhanyan A., Philip H., Avagyan A., Champollion C., and Aslanyan R. Fault slip rates in Armenia by the GPS data. *Proceedings of the NAS of the RA. Earth Sciences. Erevan*, 2008, LIX, No. 2, p. 3-18.
18. Avagyan A.V. Active faulting and related seismic hazard in the Vanadzor depression area. *Proceedings of the NAS of RA, Earth Sciences*, 2009, vol.62, N2, p. 48-57.
19. Avagyan A., Sosson M., Karakhanyan A., Philip H., Rebai S., Rolland Y., Melkonyan R. & Davtyan V. Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions. In: *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Special Volume*. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, and V. Starostenko. *Geol. Soc. of London*, 2010, 340, p. 393-408.
20. Sosson M., Rolland Y., Muller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia Sh., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan Gh., Mosar J. Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. In: *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Special Volume*. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, and V. Starostenko. *Geol. Soc. of London*, 2010, 340, p. 329-352.
21. Karakhanyan A., Avagyan A., Sourouzyan H. Archaeoseismological studies at the temple of Amenhotep III, Luxor, Egypt. In: *Ancient Earthquakes*, Ed. M.Sintubin, S. Stewart, Tina M. Niemi and Erhan Altunel, 2010, The Geological Society of America Special Paper 471, p.199-222.
22. Asatryan G., Danelian T., Sosson M., Sahakyan L., Person A., Avagyan A. and Galoyan G. Radiolarian ages for the sedimentary cover of Sevan ophiolite (Armenia, Lesser Caucasus). *Ophioliti*, 2010, 35, 2, p. 91-101.

23. Danelian T., Sosson M., Avagyan A., Galoyan Gh., Asatryan G., Rolland Y., Sahakyan L., Muller C., Grigoryan A., Person A., Corsini M., Jrbashyan R., Melkonyan R. A brief geological outline of the Lesser Caucasus: new insights on its Thethyan-Alpine evolution based on recent results of French-Armenian collaboration. 2011, *Ann. Soc. Géol. du Nord* T. 18 (2ème série), p. 65-75.
24. Rolland Y., Perincek D., Kaymakci N., Sosson M., Barrier E., Avagyan A. Evidence for ~80–75 Ma subduction jump during Anatolide–Tauride–Armenian block accretion and ~48 Ma Arabia–Eurasia collision in Lesser Caucasus–East Anatolia. *Journal of Geodynamics*. May, 2012, Volumes 56–57, p. 76–85.
25. Asatryan G., Danielian T., Sahakyan L., Galoyan G., Seyler M., Sosson M., Avagyan A., Hubert B., Ventalon S. Radiolarian biostratigraphic constraints for latest Jurassic – earliest Cretaceous submarine volcanic activity in the Tethyan oceanic realm of the Sevan ophiolite (Armenia). *Bull. Soc. géol. France*, 2012, t. 183, no 4, p. 323-355.
26. Danelian D., Asatryan G., Galoyan G., Sosson M., Sahakyan L., Caridroit M. and Avagyan A. Geological history of ophiolites in the Lesser Caucasus and correlation with the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone: insights from radiolarian biochronology. *Bull. Soc. géol. France*, 2012, t. 183, N 4, p. 331-342.
27. Hässig M., Rolland Y., Sosson M., Galoyan G., Müller C., Avagyan A., Sahakyan L. New structural and petrological data on the Amasia ophiolites (NW Sevan- Hagari suture zone, Lesser Caucasus): Insights for a large-scale obduction in Armenia and NE Turkey. *Tectonophysics*, March 2013, Vol. 588, 11 p. 135–153.
28. Karakhanyan A., Vernant P., Doerflinger E., Avagyan A., Philip H., Aslanyan R., Champollion C., Arakelyan S., Collard P., Baghdasaryan H., Peyret M., Davtyan V., Calais E., Masson F. GPS constraints on continental deformation in the Armenian region and Lesser Caucasus. *Tectonophysics*, 2013, 592, p. 39–45.

## Общая характеристика работы

Работа посвящена широко распространенной в мире, а в Армении самой значительной природной опасности - землетрясениям, проявлениям поверхностных разрывов и их вторичным воздействиям. Обобщены результаты работ, проведенных в Армении, Марокко, Египте и Гаити в 1992-2012 гг.

Повышение точности оценки опасности является важной задачей, поскольку ее недооценка приводит к неоправданным потерям материальных и человеческих ресурсов, а переоценка - к огромным неоправданным затратам и снижению темпа развития общества. Актуальность и прикладное значение работы связаны с огромной важностью вышеназванной проблемы, особенно в условиях с централизации человеческих, материальных и в частности энергетических ресурсов.

## Исследования и методология

Краткий перечень проведенных исследований и использованных методов:

- сбор и кросс анализ геологических, тектонических, сейсмотектонических данных;
- изучение аэро- и космоснимков различного разрешения, топографических карт, трехмерное моделирование рельефа, обнаружение и выделение активных разломов, поверхностных разрывов и других структурных единиц;
- оценка основных параметров активных разломов (максимальная магнитуда землетрясений, интервал повторяемости, скорости смещений и т.д.) и характеристика поведения на основании широко используемых данных палеосейсмологических и археосейсмологических полевых исследований, а также результатов различных датировок (изотопные, люминесцентные, археологические);
- оценка и выявление вторичных воздействий землетрясений, в частности сейсмогенных оползней и других склоновых процессов, разжижения грунтов, триггерных связей вулканизма и активной тектоники методами инженерно-геологического картирования, подробной документации различных природных и искусственных обнажений (фотографирование, картирование, выделение структурных и геологических единиц, отбор образцов и т.д.), а также ретроспективного анализа;
- создание баз ГИС и цифровых данных, которые способствуют значительному сокращению времени комплексных анализов.

## Основная цель работы

Выявление и характеристика воздействий активных разломов на окружающую среду и оценка опасности по поверхностным разрывам.

## Основные задачи работы

1. Характеристика распределения и активность поверхностных разрывов.
2. Изучение приповерхностных проявлений активных разломов.
3. Изучение причинно-следственных воздействий активных разломов на среду.

## Важность и актуальность работы

В современной Армении, как и в прошлом, самым опасным и катастрофическим по своим последствиям природным явлением являются сильные землетрясения. Исторические столицы Армении неоднократно разрушались землетрясениями. После землетрясения 893 г. столица Двин больше не восстанавливался, г. Ани был основательно разрушен землетрясением 1036 г. Во время самого сильного землетрясения Южного Кавказа 1139г. погибло около 230 000 человек. Нынешняя столица Армении разрушалась землетрясениями 1679 и 1840 гг.

Чадранское (1976г.,  $M=7.1$ ), Норманское (1983г.,  $M=6.8$ ), Спитакское (1988г.,  $M=7.0$ ), Рачинское (1991г.,  $M=7.0$ ), Рутбарское (1990г.,  $M=7.3$ ) и Ванское (2011г.,  $M=7.2$ ) разрушительные землетрясения свидетельствуют о высокой степени сейсмической опасности региона.

До настоящего времени не ликвидированы последствия Спитакского землетрясения 1988г., в результате которого были разрушены около 40% построек на территории Армении.

По данным центра Сейсмостойкого строительства Службы сейсмической защиты МЧС 80% зданий г.Еревана не являются сейсмостойкими. 45% имеют высокую степень уязвимости и при землетрясении 7-8 баллов находятся под угрозой разрушения.

Ретроспективный анализ сейсмических событий прошлого свидетельствуют о возможности катастрофических землетрясений и в ближайшем будущем. В этой связи правильная оценка сейсмической опасности, уменьшение риска и понижение уязвимости территорий становятся важнейшими актуальными задачами.

Последствия землетрясений могут быть непредсказуемыми особенно при наличии таких индустриальных и энергетических объектов, как атомные станции, плотины, химические заводы и т.д., которые угрожают дополнительными техногенными катастрофами.

Для снижения риска от сильных землетрясений необходимо реализовать: мониторинг, оценка сейсмической опасности, сейсмостойкое строительство, информирование населения и административного персонала о возможных опасностях. Оценка сейсмической опасности является геологической (в широком аспекте) задачей. Становится стратегически важным изучение сейсмогенных активных разломов и их приповерхностных проявлений.

До Спитакского землетрясения 1988г. преобладало мнение о невозможности на Кавказе сильных землетрясений, тем более сопровождающихся поверхностными разрывами. Катастрофические последствия Спитакского землетрясения являются следствием недооценки сейсмической опасности.

Исследования активной тектоники важны для характеристики поведения активных разломов, а также для более точной оценки опасности, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования.

#### **Практическая значимость**

В большинстве своем полученные данные имеют практическое значение. В этой связи отметим:

- расширение временного ряда сейсмического каталога, в основном сильными землетрясениями;
- количественную оценку опасных геологических явлений;
- обоснованное повышение уровня природных опасностей от активных разломов и их вторичных эффектов.

#### **Научная новизна работы**

Выявлены особенности развития полей напряжений в постколлизционном этапе развития в регионе, показаны пространственно-временные изменения при общем направлении сжатия север-юг.

Палеосейсмологическими исследованиями доказано, что для активных разломов Армении характерны относительно низкие скорости смещений и длинные периоды повторяемости сильных землетрясений.

Установлено, что Памбак-Севан-Сюникский активный разлом по всей длине, при правостороннем горизонтальном смещении характеризуется изменчивым вертикальным компонентом (сброс, взброс), что иногда является таковым даже в пределах одного сегмента.

Вдоль Памбак-Севан-Сюникского активного разлома в семи пунктах обнаружены поверхностные разрывы. Согласно установленным палеоподвижкам были выявлены палеособытия с магнитудой  $M_w > 7.0$ . Несмотря на то, что вдоль северных сегментов разлома не были известны сильные землетрясения, палеосейсмическими исследованиями оценка максимальной магнитуды была поднята от 6.2 (1187г.) до  $M_w > 7.4$ , а для Хонарасарского сегмента, где отсутствуют надёжные данные- максимальная оценка  $M_w > 7.3$ .

Установлено, что с точки зрения распространения поверхностного разрыва выделенные геометрические сегменты могут и не являться сегментами землетрясений (earthquake segment). Модель наложения сегментов наиболее соответствует поведению активных разломов Армении (на примере Памбак-Севан-Сюникского активного



разлома), согласно которой сильные землетрясения имеют характерную магнитуду, характеризуются изменчивостью скорости смещения по разлому и наложением поверхностных разрывов.

Для Марокко составлена карта активных разломов и разжижения грунтов в провинции Ал-Хосейма, на которой показаны нововывявленные разломы и сегменты. С точки зрения потенциала поверхностного разрывообразования (сарабле fault) исследованиями доказана их наличие в Армении, Марокко и Гаити.

Предложена модель вторичного разрывообразования при Спитакском землетрясении на основе анализа штриховок от подвижек, геологических и геофизических данных.

Выявлены конкретные объекты сейсмогенных вторичных геологических явлений, связанных с активностью разломов, доказана сейсмогенность некоторых оползней. На основе палеосейсмологических работ по разжижению грунтов в Египетском храме Аменхотеп III было обнаружено и датировано землетрясение (1211-911 до н.э.).

#### Краткое описание содержания и основных выводов

В первой главе приводятся общие сведения о геологических и структурных особенностях Армении и прилегающих территорий, современные данные об истории тектонического развития региона, о тектоно-стратиграфических единицах, особенностях активной тектоники и сейсмичности.

Во второй главе, мультидисциплинарным подходом обсуждаются особенности геодинамического поля, основанные на ориентации осей напряжений, учитывая современные (вытекаемые из активных разломов, GPS данных и P осей землетрясений), а также современное и палеонапряжения (вытекаемые из вулканических кластеров, микроразломов и складчатости). Установлено изменчивое развитие геодинамического поля после континентальной коллизии при сохранении общей направленности осей главных напряжений. При общей север-юг сжатии в Армянском нагорье существуют вторичные северозападное и северо-восточное направления осей сжатия. Последние были наиболее важными в отдельные периоды тектонического развития, а вновь проявленные структуры стали воздействовать на дальнейшее развитие поля напряжения.

В третьей главе работы обсуждаются вопросы выявления поверхностных разрывов, их генезиса и сложностей интерпретации. Приводятся данные о их пространственном распределении, а также количественные данные о времени и магнитуде палеособытий.

По всей длине Памбак-Севан-Сюникский активный разлом при правостороннем горизонтальном смещении характеризуется изменчивым вертикальным компонентом (сброс, взброс), что иногда является таковым даже в пределах одного сегмента.

Палеосейсмологическими исследованиями установлено, что вдоль всех основных сегментов Памбак-Севан-Сюникского активного разлома (кроме Мравского, где исследования не проводились) в голоцене произошли палеоземлетрясения с магнитудой  $>7.0$ . Доказано, что для активных разломов Армении характерны относительно низкие скорости смещений и длинные периоды повторяемости сильных землетрясений.

Предлагается модель вторичного поверхностного разрывообразования Спитакского землетрясения 1988г. В начальном этапе на поверхности сформировался разрыв, кинематически отличающийся от очагового разрыва, установленного фокальным механизмом. При этом фронт очагового разрыва в этой стадии еще не достиг земной поверхности.

На базе исследований характеризуется поведение активных разломов на примере Памбак-Севан-Сюникского разлома. Для активных разломов Армении наиболее соответствует модель наложения сегментов, согласно которой сильные землетрясения имеют характерную магнитуду, характеризуются изменчивостью скорости смещения по разлому и наложением поверхностных разрывов. Обосновывается важность проведения комплексных исследований с целью избежания недооценки и переоценки природных опасностей. Установлено, что в сейсмоопасных зонах поверхностные разрывы могут являться носителями информации о кинематических и динамических процессах в геологическом прошлом, анализ которых выявляет более высокую степень природной опасности. В то же время, поверхностные разрывы в приповерхностной части коры, выявляя генезис, силу сейсмических событий и времени их проявления, имеют кинематическое разнообразие, точное определение которых способствует наиболее объективной оценке степени природной опасности.

Проведённые исследования указывают на наличие многочисленных поверхностных тектонических разрывов и их вторичных проявлений в исследованных районах Армении, Марокко, Египта и Гаити.

На территории Республики Армения распространены поверхностные разрывы нетектонического происхождения (вулканогенные, гравитационные и т.д.). Основная часть вулканогенных разрывов является сейсмогенной (произошли от землетрясений), однако они не являются сейсмогенными структурами, активность которых приводит к землетрясениям (как при тектонических разломах).

В четвёртой главе приводятся данные о вторичном воздействии землетрясений и разрывообразования на окружающую среду, в частности, о сейсмогенных оползнях, разжижении грунтов и возможных триггерных связей между землетрясениями и вулканизмом. Проведённые исследования выявили наличие многочисленных поверхностных разрывов и их вторичных проявлений в изученных районах. На примере Гарнийского оползня доказывается его сейсмогенность. На территории храма Аменхотепа III-го доказано существование феномена разжижения грунтов и

латерального спрединга, что привело к значительным разрушениям. Аналогичные явления выявлены в провинции Ал-Хосейма (Марокко), где доказано генетическая связь некоторых поверхностных разрывов с разжижением грунтов, а также установлены возможные землетрясения, вызвавшие этот феномен. Рекомендуется комплексное изучение опасностей от поверхностных разрывов и землетрясений с учётом вторичных воздействий, а при картировании сейсмической опасности выделение поверхностных сейсмогенных разрывов и ареалов их вторичного воздействия.

## General characteristic of the work

This work ("Subsurface manifestation of active faults in environment") concerns the most significant natural hazards in Armenia - earthquakes associated with active faults, manifestations of surface ruptures and their secondary effects. It also includes the results of studies on the same topic that have carried out in Morocco, Egypt and Haiti.

Improving the accuracy of risk and hazard assessment is an important task because of its underestimation leads to unnecessary loss of material and human resources, and overestimation - to huge unnecessary cost and reduce the rate of development of the society. The above-mentioned issues show the relevance and importance of carrying out seismotectonics studies taking account the increasing centralization of human material and energy resources in general.

## Research and methodology

A synthetic list of studies and methodologies is presented as follows:

- Gathering of and cross analysis of geological, tectonic, seismotectonic and other data;
- Studying of aerial and satellite images of various resolutions, topographic maps, three-dimensional terrain modeling, active faults, surface ruptures and other structural units and mapping;
- Evaluation of the main parameters of active faults (maximum magnitude, earthquake recurrence interval, slip rates, etc.) and the characteristics of behavior based on paleoseismological field studies using the results of various dating constraints (isotopes, fluorescence, archaeology);
- Assessment and identification of secondary effects of earthquakes, in particular seismogenic landslides and other slope processes, soil liquefaction, interactions between volcanism and active tectonics using engineering and geological mapping, detailed documentation of various natural and artificial outcrops (photography, mapping, identification of structural and geological units, sampling, etc.), and a retrospective analysis;
- Building up of GIS databases and data that contribute to a significant gain of time for complex analyzes.

## The main objective

Identification and characterization of active faults impacts on the environment and assessment of hazard related to surface rupture.

The main objectives:

1. Characteristics of the distribution and activity of the surface ruptures.
2. The study of near-surface manifestations of active faults.
3. The study of the causal effects of active faults on environment.

## The importance and relevance of the work

In modern Armenia, as well as in its past, the most dangerous and catastrophic natural phenomena are strong earthquakes. The historical capital of Armenia has been destroyed repeatedly by earthquakes: In 893AD, the capital Dvin was no longer restored and has been abandoned; in 1036AD, the city of Ani was totally destroyed; in 1139AD, an earthquake in South Caucasus - considered as the strongest historical earthquake - killed about 230.000 people. The current capital of Armenia was twice destroyed by earthquakes in 1679AD and 1840AD.

To those historical earthquakes, we can add the following instrumental events: Chaldran (1976,  $M = 7.1$ ), Norman (1983,  $M = 6.8$ ), Spitak (1988,  $M = 7.0$ ), Racha (1991,  $M = 7.0$ ), Rutbar (1990,  $M = 7.3$ ) and Van (2011,  $M = 7.2$ ). These damaging earthquakes attest of the high degree of seismic hazard in the region.

Note that the effects of the 1988 Spitak earthquake – during which about 40% of the territory of Armenia was destroyed – are still visible in the natural and urban landscapes. According to the Center of Earthquake Engineering of the Seismic Protection Service of Ministry of Emergency Situations, 80% of the buildings of Yerevan are non resistant to the present seismic hazard level. 45% of buildings have a high degree of vulnerability, and an earthquake of 7-8 intensity ( $\sim M6-6.5$ ) would probably destruct them.

The retrospective analyse of the past seismic events shows that strong earthquakes occurred and are possible in the near future. Therefore, a correct assessment of seismic hazard, risk mitigation and vulnerability reduction are urgent tasks.

Moreover, the presence of industrial and energy facilities such as nuclear power plants, chemical plants, dams, etc., increase the potential of destructions and damages that can be associated with earthquakes and lead to technogenetic disasters.

To mitigate the risk associated with large earthquakes, it is necessary to implement: monitoring, hazard assessment, antiseismic construction, information and education of the population and administrative staffs. Seismic hazard assessment is a geological (in wide-sense) task. It is becoming strategically important to study the seismogenic active faults and their near-surface manifestations.

Prior to the Spitak 1988 earthquake, the common opinion was that no strong earthquake – especially surface-rupturing event-could occur in the Caucasus. And we must admit that the terrible consequences of the Spitak earthquake were due to the underestimation of the seismic hazard.

Therefore, studies of active tectonics are important to characterize the behavior of active faults, and to assess properly the seismic hazard for a medium- and long-term forecasting.

## The practical significance

Most of the data obtained during this work are of practical importance. We summarized *some of them*:

- Expanding the seismic catalog - mostly by large earthquakes - in time;
- Quantitative assessment of geological hazards (earthquakes and their secondary effects);
- Better knowledge of the natural hazards concerning active faults and their secondary effects.

## The scientific novelty of the work

The stress field evolution in the region during the post collisional period is revealed, showing the spatial and temporal changes under the *general direction of north-south compression*.

Our palaeoseismological research proved that the active faults in Armenia are characterized by relatively low slip rates and long recurrence periods of strong earthquakes.

Determined that Pambak-Sevan-Syunik active fault have right-lateral horizontal component in its all length, but variable vertical component (normal and reverse), which is observed sometimes even within the same segment.

In seven locations along the Pambak-Sevan-Syunik active fault, we revealed recent surface ruptures. By establishing paleo-displacements, we determined several past-earthquakes with a magnitude of  $M_w > 7.0$ . Along the northern segments of the fault where strong earthquakes were not known, palaeoseismological studies enabled to increase the maximum magnitude from 6.2 (1187AD) to  $M_w \geq 7.4$ . As concerns the Khonarhasar segment, where no reliable data existed, we could estimate a maximum magnitude of  $M_w > 7.3$ .

We show that from the point of view of surface rupture propagation, established geometric segments can not be earthquake segments. The overlap model is more consistent for the active faults segments behavior in Armenia (i.e. the Pambak-Sevan-Syunik active fault). This model suggests that strong earthquakes have a characteristic magnitude, that the slip rates along the faults are variable, and that a surface rupture along a fault segment can overlap a neighboring segment.

In Morocco, we established new maps of active faults and soil liquefaction features for the Al-Hoceima province.

From the point of view of surface rupture potential (capable fault), our studies show their occurrence in Armenia, Morocco and Haiti.

A model of the secondary surface faulting during the Spitak 1988 earthquake is proposed based on the analysis of fault plane striations, geological and geophysical data.

The objects (e.g. landslides) of earthquake secondary effects are identified. Based on palaeoseismological investigation, we show soil liquefaction features in the Egyptian temple of Amenhotep III, and dated the associated earthquake.

### Brief description of contents and main conclusions

The first chapter provides an overview of the geological and structural characteristics of Armenia and adjacent areas, the recent data on the history of tectonic evolution of the region, the tectono-stratigraphic units, and particularly the active tectonics and seismicity.

In the second chapter, we discuss the geodynamic field using a multi-disciplinary approach based on the orientation of the stress axes. We used active faults, GPS data, and *P* axes of earthquakes to characterize the modern strain and stress fields. We used volcanic clusters, micro faults and folds to characterize both modern and paleo-strain and stress fields.

After the continental collision, we identified spatio-temporal stress field variations within a regional constant general stress field. With the general north-south compression in the Armenian highland, there are secondary northwestern and northeastern compression axis directions. These latest directions were important in some periods of the tectonic evolution, and the newly formed structures start to influence the farther stress field.

The third chapter deal with the questions of surface ruptures identification. Their genesis and interpretation are discussed. The data on their spatial distribution, the time and magnitude data of paleo-earthquakes are provided.

Along the entire length of the Pambak-Sevan-Syunik active fault, we identified a right-lateral displacement with a variable vertical component. Our palaeoseismological research established that along all major Pambak-Sevan-Syunik active fault segments (except Mrav segment that was not studied), paleo-earthquakes of a magnitude  $>7.0$  occurred during the Holocene. We show that the active faults in Armenia are characterized by low slip rates and long recurrence periods of strong earthquakes.

Based on the analysis of fault plane striations, geological and geophysical data, a secondary surface faulting model is proposed for the Spitak 1988 earthquake. We showed that an initial surface rupture formed at the surface during an early surface-rupturing stage, showing a different kinematics than the focal mechanism at depth. At this stage the rupture front from depth has not yet reached the earth's surface.

The active fault behavior of the Pambak-Sevan-Syunik fault system is characterized. For the active faults in Armenia, the overlap model is most consistent than the active faults segments behavior. According to this model, earthquakes have a characteristic magnitude, the slip rates along the fault are variable and their ruptures overlap from one segment to another.

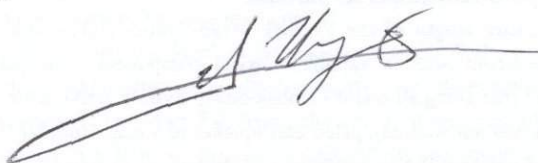
The importance of multi-approach research in order to avoid natural hazard underestimation and overestimation is shown. It is established that in seismic zones, surface rupture may give information about the kinematic and dynamic processes in the geological past, and in most cases their analysis reveals a higher degree of natural hazards. Characterising the magnitudes and the timing of the seismic events and their diversity of kinematics contribute to a better assessment of the seismic hazard.

The work indicates the presence of multiple tectonic surface ruptures and their secondary effects in the studied regions of Armenia, Morocco, Egypt and Haiti.

On the territory of the Republic of Armenia the surface ruptures of non tectonic origin are identified (volcanogenic, gravitational, etc.). The main part of the volcanogenic ruptures are seismogenic (induced by earthquake), but not the seismogenic structures, which can produce earthquakes (as in case of tectonic faults).

The fourth chapter presents data on the secondary earthquake and faulting effects on the environment. The investigation revealed the presence of numerous surface ruptures and their secondary effects in the studied areas. Seismogenic nature on the example of Garni landslide is proved. The phenomenon of soil liquefaction and lateral spreading in the temple of Amenhotep III (Egypt) is discovered. Similar phenomena identified in the Al Hoceima province (Morocco), where some genetic connection of surface ruptures with liquefaction are established.

A multi-approach of the earthquake hazard study induced surface ruptures, taking into account the secondary impacts is recommended. The seismic hazard map needs to contain surface ruptures and the areas of their secondary effects.

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.



2037