

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

**ԱՎԱԳՅԱՆ ՍԵՂԱ ԱՇՈՏԻ
ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՎՏԱՆԳՆԵՐԸ
ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՓՈԽԿԱՊԱԿՑՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ատենախոսություն

**ԻԴ.01.01 «Ընդհանուր երկրաբանություն» մասնագիտությամբ
երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
համար**

**Գիտական ղեկավար՝
երկրաբանական գիտությունների դոկտոր՝ Ա.Վ. Ավագյան**

Երևան 2024

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԱԽԱԲԱՆ	5
Թեմայի արդիականությունը	5
Ուսումնասիրությունների նպատակը և խնդիրները	6
Պաշտպանվող դրույթները.....	7
Աշխատանքի գիտական նորույթը.....	7
Ուսումնասիրության մեթոդները	8
Աշխատանքի գործնական նշանակությունը և կիրառությունը	9
Հրատարակված աշխատանքները և աշխատանքի փորձաքննությունը.....	10
Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը.....	11
Շնորհակալություն	11
ԳԼՈՒԽ 1. ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԱԿՆԱՐԿ	13
1.1. Ընդհանուր տեղեկություններ.....	13
1.2. Տարածաշրջանի դինամիկ իրադրությունը.....	14
1.2.1. Ակտիվ տեկտոնիկայի առանձնահատկություններն ու երկրադինամիկ դաշտի օրինաչափությունները	17
1.3. Ուսումնասիրվող տարածքի ընդհանուր կառուցվածքային պատկերը	17
1.4. Երկրաշարժերի պատմական և նախապատմական ժամանակաշրջան.....	20
1.5. Երկրաշարժերի գործիքային ժամանակաշրջան.....	24
1.6. Ուսումնասիրվող տարածքի երկրաբանական կառուցվածքն ու շերտագրությունը	25
ԳԼՈՒԽ 2. ՍԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱՁԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՀՅՈՒՍԻՍ-ՀՅՈՒՍԻՍԱՐԵՎԵԼՅԱՆ ՀԱՏՎԱԾՈՒՄ: ԼԱՆՋԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ 2D-ԵՐԿՉԱՓ ԹՎԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ	31
2.1. Տեղանքի լանջային գործընթացների մոդելավորման անհրաժեշտության համառոտ բնութագիր	31
2.2. Տեղանքի մորֆոլոգիական և երկրաբանական առանձնահատկությունները	32
2.2.1. Ձկնագետի իջվածք	33

2.2.2. Ծովագյուղ-Սեմյոնովկա միջճանապարհային տեղամաս	34
2.2.3. Ծովագյուղի գերեզմանային բլուրի տեղամաս.....	36
2.2.4. Արեգունու հարավային զառիթափ լանջերին բլրկների՝ դեպի Սևանի ավազան շարժման վկայություններ, գրաբենային տեղամաս	40
2.2.5. Դրախտիկ գյուղի մերձակայք	45
2.3. 2D-երկչափ թվային մոդելավորման աշխատանքի մեթոդիկան	45
2.3.1. Ստատիկ մոդել.....	47
2.3.2. Դինամիկ մոդել.....	48
2.3.3. 2D-երկչափ թվային մոդելների մշակում	50
2.4. 2D-երկչափ ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման արդյունքներ.....	54
ԳԼՈՒԽ 3. ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՀԱՐԱՎԱՐԵՎՄՏՅԱՆ ՀԱՏՎԱԾԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ, ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՓՈԽԿԱՊԱԿՑՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ.....	61
3.1. Ներբլուկային ակտիվ կառույցներ	61
3.1.1. Նորատուս-Քանազեղ ակտիվ խզվածքի գոտի	61
3.1.2. Հրաբխականություն.....	68
3.1.3. Սեյսմիտներ և հողերի ջրիկացում.....	71
3.1.4. Ստորջրյա հետազոտություններ	72
3.1.5. Լճի հատակից արտանետվող գազերի գեոքիմիական հետազոտություններ	75
3.2. Գավառագետի խզվածքային գոտի.....	77
3.2.1. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Երանոս գյուղի սողանքային գործընթացների վրա: Տարածքի համառոտ ինժեներաերկրաբանական բնութագիր..	78
3.2.2. Սողանքի ծագումնաբանությունը.....	82
ԳԼՈՒԽ 4. ՍԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱՉԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԶՐԱՅԻՆ ԱՎԱԶԱՆՈՒՄ: ԹՎԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ.....	85
4.1. Տեղանքի համառոտ բնութագիրը.....	85
4.2. Լճային ցունամիների համառոտ նկարագիրը.....	86
4.3. Տարածքի կառուցվածքային պատկերը	87
4.3.1. Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտ	87

4.3.2. Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտ.....	89
4.4. Մեթոդի նկարագիրը.....	91
4.4.1. Սեյսմիկ սցենարներ.....	93
4.5. Ցունամիի թվային մոդելավորում.....	96
4.5.1. Հաշվարկման գործընթացը.....	96
4.5.2. Երկրակեղևի դեֆորմացիա և սկզբնական մակերեսային ալիքներ.....	97
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ.....	105
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ.....	112
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1.....	124
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2.....	126
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3.....	127
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4.....	129
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 5.....	158

ՆԱԽԱԲԱՆ

Աշխատանքը նվիրված է Հայաստանի Հանրապետության Գեղարքունիքի մարզի Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական վտանգների և դրանց փոխկապակցվածության ուսումնասիրությանը:

Ժամանակակից մեթոդների կիրառման արդյունքում աշխատանքում բոլորովին նորովի ներկայացվում են ուսումնասիրվող տարածքի սեյսմատեկտոնական առանձնահատկությունները և դրանց փոխներգործումը տարածքի այլ երկրաբանական գործընթացների հետ՝ տալով գումարային վտանգի պատկեր: Աշխատանքում հատկապես քննության են առնվում տարածքի ակտիվ երիտասարդ խզվածքները, որպես գերիշխող երկրաբանական կառույցներ և որպես վտանգառաջացման գլխավոր նախապայման:

Արժևորելով նախորդիվ իրականացված գիտական աշխատանքները, նոր ուսումնասիրությունները թույլ են տալիս առաջարկել ժամանակակից գիտական հայեցակարգերին համապատասխանող մոդելներ:

Այս համատեքստում աշխատանքի շրջանակներում կատարվել է Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական փոխազդող վտանգների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորումներ՝ հաշվի առնելով տեղանքի լեռնային ռելիեֆը, առկա երիտասարդ ակտիվ, սեյսմածին մեծ ներուժով խզվածքները:

Թեմայի արդիականությունը

Ելնելով երկրաբանական տարբեր վտանգների հնարավոր զարգացումներից, դրանց միջև հնարավոր փոխազդեցություններից և առկա ռիսկերից, մասնավորապես, տարածքի խիտ բնակեցվածության, հանրապետական նշանակության ճանապարհների և երկաթգծի առկայության պարագայում Սևանա լճի ավազանում

երկրաբանական վտանգների և դրանց փոխկապակցվածության ուսումնասիրություններն ունեն արդի նշանակություն, ուր առկա են մեծ խտությամբ ակտիվ երկրաբանական կառույցներ:

Ակնհայտ է, որ երկրաբանական վտանգները կարող են հանգեցնել երկրորդային վտանգների կամ կասկադային ազդեցությունների, որոնք կարող են հանգեցնել լրացուցիչ վնասների: Օրինակ՝ երկրաշարժերը կարող են առաջացնել սողանքներ, հողերի ջրիկացում, լճային ցունամի՝ պոտենցիալ պատճառ դառնալով հետագա գումարային վնասների:

Ուստի, երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության ճշգրիտ ըմբռնումը վճռորոշ է վտանգի արդյունավետ գնահատման, ռիսկերի կառավարման և աղետներից արձագանքելու ռազմավարությունների մշակման համար: Ուսումնասիրելով այս փոխազդեցությունները, կարող են մշակվել միջոցներ՝ մեղմելու երկրաբանական վտանգների ազդեցությունը, բարելավելու բնակավայրերի և ենթակառուցվածքների պլանավորումն ու բարձրացնելու համայնքի ճկունությունը/դիմակայունությունը նման իրադարձությունների դեպքում:

Ուսումնասիրությունների նպատակը և խնդիրները

Աշխատանքի նպատակը Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական վտանգների և դրանց փոխկապակցվածության ուսումնասիրումն ու գումարային վտանգի բացահայտումն է:

Նշված նպատակի իրականացման համար առաջադրվել են հետևյալ խնդիրները.

1. Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածում՝ սեյսմատեկտոնական ազդեցության պարագայում, զառիթափ լանջերի կայունության գնահատում,
2. Սևանա լճի հարավարևմտյան հատվածում երկրաբանական տարբեր գործընթացների (տեկտոնիկա, հրաբխականություն, լանջային գործընթացներ) փոխկապակցվածության բացահայտում,
3. Սևանա լճի ջրային ավազանում հնարավոր դինամիկ ազդեցությունների սցենարների վերլուծություն/գնահատում:

Պաշտպանվող դրույթները

1. Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածում սեյսմատեկտոնական ակտիվությունն ունի ներուժ՝ հարուցելու զառիթափ ժայռային զանգվածների անկայունություն և տեղաշարժ:
2. Սևանա լճի ավազանում Երանոս գյուղի սողանքային մարմինը կրել է սեյսմիկ ազդեցություն և ունի ժառանգական կապ հարակից ակտիվ խզվածքների հետ:
3. Սևանա լճի ջրային ավազանում բարձր մագնիտոդային ներուժով մակերեսային խախտումը կարող է հանգեցնել լճային ցունամիի:

Աշխատանքի գիտական նորույթը

1. Ժամանակակից, միջազգային ընդունված մոտեցումներով Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածում կատարվել է լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում: Որոշվել է Արեգունու լեռների հարավային զառիթափ լանջի կայունության գործակիցն ու ժայռային զանգվածի հավանական տեղաշարժը, մասնավորապես, Mw 6.5 երկրաշարժի ազդեցության պայմաններում:
2. Բացահայտվել է Սևանա լճի ավազանի հարավարևմտյան հատվածի Երանոս գյուղի սողանքային տեղամասի ծագումնաբանությունը՝ կապված հարակից Գավառագետի ակտիվ խզվածքի հետ:
3. Առաջին անգամ կատարվել է Փամբակ-Սևան-Սյունիք ակտիվ խզվածքի (ՓՍՍԽ) ստորջրյա սեզմենտների մակերևութային խախտումների և դրանց հետևանքով հարուցված լճային ցունամիների մոդելավորում՝ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի և Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի համար, համապատասխանաբար, Mw 6.9 և Mw 7.5 հիպոթետիկ սցենարների դեպքում:

Ուսումնասիրության մեթոդները

Երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության ուսումնասիրությունը ներառում է բազմամասնագիտական և համապարփակ մոտեցում, որը սույն աշխատանքում համատեղում է դաշտային դիտարկումները, տվյալների հավաքագրումը և մոդելավորման տեխնիկան: Ստորև ներկայացված են ընդհանուր մեթոդներ, որոնք օգտագործվել են ուսումնասիրվող տարածքի երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության ուսումնասիրությունների համար.

- դաշտային հետազոտություններ, որի ընթացքում կիրառվել են նեոտեկտոնական, մորֆոտեկտոնական, մորֆոմետրիական, շերտագրական, պալեոսեյսմաբանական (խրամուղիների և խրամուղահորերի կիրառմամբ) մոտեցումներ,
- հեռազննումներ՝ տարբեր լուծելիության և մասշտաբի տիեզերական լուսանկարների, փոքր բարձրության դրոնային հանույթների հիման վրա,
- լաբորատոր անալիզներ, որոնց համար կատարվել են ապարների ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերի որոշման մի շարք դաշտային (կիրառվել է նաև Շմիդտի մուրճ՝ ապարների առաձգականության ետդարձի ուժի որոշման համար) և լաբորատոր աշխատանքներ: Լաբորատոր անալիզները կատարվել են Շինսերտիֆիկատ ՍՊԸ-ի կողմից՝ «ГОСТ 30629-2011» (ռուս. ГОСТ-Государственный общесоюзный стандарт) կանոնների և Երևանի Պետական Համալսարանի (ԵՊՀ) երկրաբանության և աշխարհագրության ֆակուլտետի հիդրոերկրաբանության և ճարտարագիտական երկրաբանության ամբիոնի լաբորատորիայի վարիչ Հրաչյա Շահնազարյանի կողմից՝ «ГОСТ 21153.2-75» կանոնների համաձայն: Կատարվել է նաև նմուշառված ապարների շիֆային անալիզ՝ Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի Երկրաբանական Գիտությունների Ինստիտուտի (ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ) Լիթոլոգիայի և ռեգիոնալ երկրաբանության լաբորատորիայում:
- հասակագրման OSL (Optically Stimulated Luminescence), C¹⁴ (Radiocarbon) և այլ մեթոդներ,

- թվային մոդելավորում և սիմուլյացիա. հաշվարկային մոդելները կարևոր գործիք են երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության ուսումնասիրության համար: Այս մոդելները նմանակում և վերարտադրում են վտանգների ընթացքն ու վարքը՝ թույլ տալով հետազոտողին դիտարկել տարբեր սցենարներ, կանխատեսել դրանց ազդեցությունն ու դինամիկան:

Մեր կողմից իրականացված դաշտային հետազոտությունների ընթացքում փաստագրված բազմակոմպոնենտ տվյալների հիման վրա կազմվել են տարածքի ստատիկ (գրավիտացիոն) և դինամիկ (սեյսմիկ) մոդելներ: Լանջերի կայունության որոշման, երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության բացահայտման և լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման համար Բելգիայի Լիեժի համալսարանում՝ «Էրասմուս+» երկկողմ փոխհամագործակցության ծրագրի շրջանակում, կիրառվել է ժամանակակից UDEC 6 (The Universal Distinct Element Code 2019) թվային մոդելավորման ծրագիրը: ՓՍՍԽ-ի բարձր մագնիտուդային ներուժով ստորջրյա սեզմենտների ակտիվության և, հետևաբար, լճային ցունամիի մոդելավորման համար Ֆրանսիայի Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս համալսարանի «Գեոազուր» լաբորատորիայում կիրառվել է COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model) ցունամիի մոդելավորման փաթեթը:

- տվյալների վերլուծություն և ինտեգրում. տարբեր աղբյուրներից տվյալների համախմբումը և դրանց համապարփակ վերլուծությունը կենսական նշանակություն ունի: Աշխարհատարածական վերլուծության տեխնիկան, տվյալների ինտեգրման գործընթացները օգնում են բացահայտել օրինաչափությունները, հարաբերակցություններն ու միտումները՝ նպաստելով վտանգի արդյունավետ գնահատմանն ու ռիսկերի կառավարմանը:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը և կիրառությունը

Սույն աշխատանքի արդյունքները կարելի է օգտագործել՝

1. ՀՀ երկրաբանական վտանգների քանակական և որակական գնահատականներում,

2. աղետների ռիսկի նվազեցման բնագավառում՝ միտված աղետների ռիսկի կառավարմանը, նվազեցմանն ու կանխարգելմանը,
3. ՀՀ աղետների քարտեզների կազմման կամ թարմացման աշխատանքներում,
4. աղետների վերաբերյալ հանրային իրազեկվածության մակարդակի բարձրացմանն ուղղված աշխատանքներում,
5. գոտիավորման կանոնակարգերի, շինարարական նորմերի և զարգացման սահմանափակումների որոշումներում,
6. ենթակառուցվածքների բարելավման և արտակարգ իրավիճակների արձագանքման ռազմավարությունների մշակման աշխատանքներում:

Հրատարակված աշխատանքները և աշխատանքի փորձաքննությունը

Աշխատանքում ներառված ուսումնասիրությունների արդյունքները զեկուցվել են 2019թ. սեպտեմբերի 10-13-ը Իտալիայի Հոմ քաղաքում կայացած «34-րդ Միջազգային նստվածքաբանական գիտաժողով»-ում, 2022թ.-ի հուլիսի 1-2-ը Երևանում կայացած «Սևանա լճի էկոհամակարգի շրջակա միջավայրի պահպանությանն ու կայուն զարգացմանն ուղղված ջանքերի միավորում» միջազգային աշխատաժողովում, 2022թ. նոյեմբերի 30-ից դեկտեմբերի 1-ը ՀՀ ԳԱԱ-ում կայացած «Երկրաբանությունը զարգացող աշխարհում. Հայաստանի երկրաբանության անցյալը, ներկան և ապագան» տեղական գիտապրակտիկ աշխատաժողովում, 2023թ.-ին Իտալիայի Ֆլորենցիա քաղաքում կայացած «6-րդ Համաշխարհային սողանքային ֆորում»-ում:

Ատենախոսության շրջանակներում հրատարակվել է հինգ գիտական հոդված՝ "Geological Quarterly", "Geoheritage" և "Scientific Reports" միջազգային գիտական ամսագրերում, ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություններ Երկրի մասին» տեղեկագրում, «Հայաստանի Հանրապետության երկրաբանական վտանգների Գեոպարկի ստեղծման նախադրյալները» գրքում, «Էրեբունի» պատմահնագիտական արգելոց-թանգարանի «Ծովային Հայաստան Ուդուրի-Էթիունի Երկրի հնագիտական ժառանգությունը»

հոդվածների ժողովածուում: Մեկ միջազգային հոդված դեռևս տպագրման ընթացքի մեջ է Journal of Asian Earth Sciences ամսագրում:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը

Աշխատանքը կազմված է նախաբանից, 4 գլուխներից և եզրակացությունից: Ծավալը կազմում է 168 էջ, այդ թվում՝ 142 անուն գրականության ցանկ, 52 նկար և 5 հավելված:

Շնորհակալություն

Հեղինակն իր խորին երախտագիտությունն է հայտնում սույն ատենախոսության գիտական ղեկավար, երկրաբանական գիտությունների դոկտոր Արա Ավագյանին, աշխատանքի ամբողջ ընթացքում ցուցաբերած հսկայական աջակցության, մշտական ուղղորդման, արժեքավոր խորհուրդների, մանրամասն քննարկումների, տեղին ու նպատակային դիտողությունների և, մասնավորապես, միջազգային հարթակներում անհրաժեշտ համագործակցության որոնումների և միջազգային ստանդարտներին համապատասխան աշխատանքների իրականացման հարցում մեծ ներդրման համար:

Խորին շնորհակալություն Բելգիայի Լիեժի համալսարանի «Գեոոիսկ և Շրջակա միջավայր» լաբորատորիայի ղեկավար Հանս-Բալդեր Հավենիթին՝ Սևանա լճի ավազանի լանջային գործընթացների թվային մոդելավորման ծրագրային ապահովման հարցում աջակցություն ցուցաբերելու, խորհուրդների և քննարկումների համար, Ֆրանսիայի Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս համալսարանի «Գեոազուր» լաբորատորիայի տնօրեն դոկտոր Մարկ Սոսոնին՝ Սևանա լճի ավազանում լճային ցունամիի մոդելավորման հարցում ցուցաբերած հսկայական օժանդակության համար:

Առանձնահատուկ շնորհակալություն «Գեոազուր» լաբորատորիայի դոկտոր Մանսուր Իռուալալենին և Սիրել Կոլոնին՝ լճային ցունամիի մոդելավորման աշխատանքների կազմակերպման և իրականացման գործում ցուցաբերած ջանքերի,

աջակցության, ամենօրյա մանրամասն քննարկումների, անգնահատելի ուսանելի փորձի, գիտելիքների փոխանցման և հոգատար վերաբերմունքի համար:

Հատուկ շնորհակալություն Ֆրանսիայի Մոնպելե 2 համալսարանի պրոֆեսոր Ժան-Ֆրանսուա Ռիցին՝ մասնագիտական արժեքավոր խորհուրդների, դաշտային հարուստ փորձի հաղորդման, հասակագրումների համար:

Խորին շնորհակալություն ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ-ի տնօրեն Խ. Մելիքսեթյանին՝ սույն աշխատանքի իրականացմանն ուղղված բոլոր խնդրանք-դիմումներին արագ ու օբյեկտիվ արձագանքելու և արժեքավոր խորհուրդների համար:

Շնորհակալություն Ռ. Զրբաշյանին, Ռ. Մելքոնյանին, Հ. Շահինյանին, Լ. Սահակյանին, Դ. Առաքելյանին, Ղ. Գալոյանին, Հ. Մելիք-Ադամյանին, Ա. Առաքելյանին, Ա. Հովհաննիսյանին, Լ. Սարգսյանին, Է. Սահակյանին, Ժ. Ստեփանյանին, Հ. Սարգսյանին, Ռ. Գազումյանին, Լ. Ավանեսովային, Ա. Ղազարյանին, Ա. Գրիգորյանին, Գ. Գրիգորյանին, Մ. Մկրտչյանին, Ն. Պողոսյանին՝ օգնելու պատրաստակամության և կարևոր խորհուրդների համար:

Շնորհակալություն ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Բելգիայի Լիեժի համալսարանի, Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս համալսարանի այն աշխատակիցներին, ովքեր նպաստեցին տվյալ աշխատանքի իրականացմանը, մասնավորապես Ֆարհադ Հակիմովին և Անն-Սոֆի Մրեյենին՝ լանջային գործընթացների մոդելավորման գործում ցուցաբերած մեջ աջակցության, արդյունավետ ու կառուցողական քննարկումների համար:

Ուսումնասիրություններն իրականացվել են 2020թ. և 2022թ.-ի «Էրազմուս+» Հայաստան-Բելգիա երկկողմ ծրագրի, Հայաստանի Հանրապետության Կրթության, Գիտության, Մշակույթի և Սպորտի Նախարարության (ՀՀ ԿԳՄՍՆ) Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի 2021թ.-ի 21T-1E145 պայմանագրային (թեմատիկ) ծրագրի, Ֆրանսիայի Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս համալսարանի «Գեոազուր» լաբորատորիայի, ինչպես նաև ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ բազային ֆինանսավորմամբ:

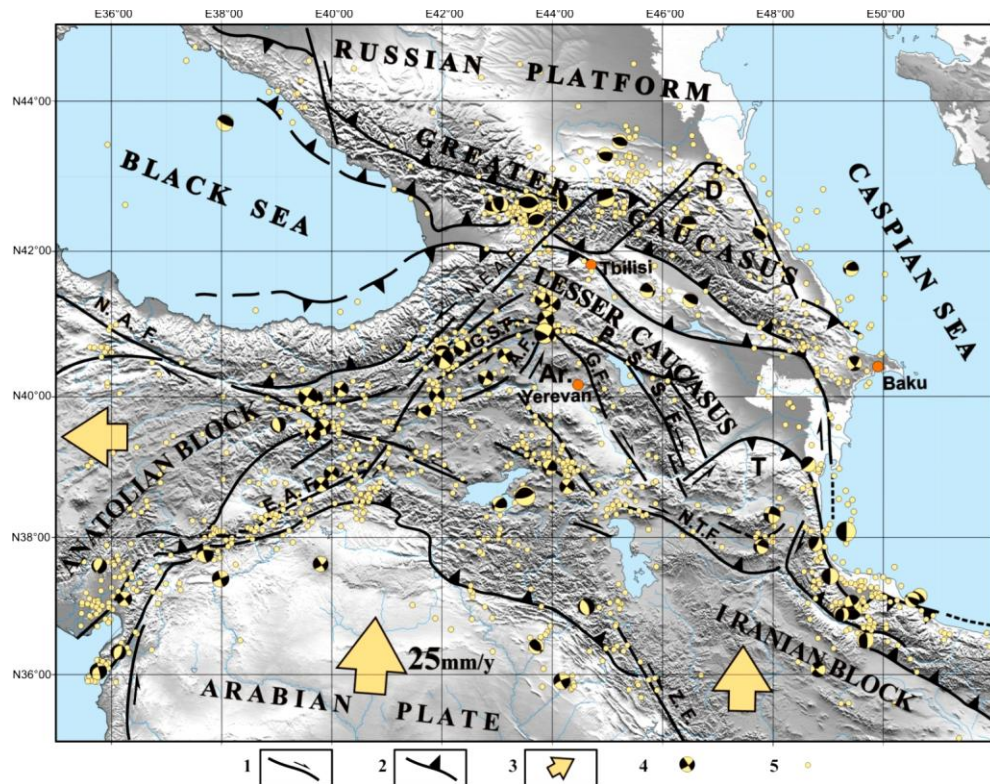
ԳԼՈՒԽ 1. ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԱԿՆԱՐԿ

1.1. Ընդհանուր տեղեկություններ

ՀՀ տարածքը գտնվում է Ալպ-Հիմալայան լեռնագրական շրջայի հատվածում և լեռնագրական առումով այն համընկնում է Փոքր Կովկասի հետ՝ կազմելով Հայկական լեռնաշխարհի հյուսիս-հյուսիսարևելյան մասը: Ունենալով համեմատաբար փոքր տարածք, այն աչքի է ընկնում երկրաբանական և, մասնավորապես, տեկտոնական կառույցների բազմազանությամբ՝ պայմանավորված տեկտոնական սալերի մոզայիկայում ունեցած իր տեղադիրքով (նկ. 1) (Ավագյան, 2019):

Տարածաշրջանի տեկտոնական զարգացման պատմությունն ուսումնասիրվել է բազմաթիվ հեղինակների կողմից (Гамкрелидзе, 1949, 1977; Габриелян, 1950, 1970; Милановский, 1952, 1968; Асланян, 1958, 1981; Милановский и Хайн, 1963; Хайн и др., 1973; Габриелян и др., 1981; Асланян и др., 1982): Այս աշխատանքները հիմք են հանդիսացել ժամանակակից՝ սալերի տեկտոնիկայի վրա հիմնված մոտեցումների համար (Вардапетян, 1979; Adamia et al., 1981; Назаретян, 1984; Zonenshain and Le Pichon, 1986; Philip et al., 1989, 2001; Bassoulet J-P. et al., 1993; Ricou, 1994; Trifonov et al., 1994; Karakhanian et al., 1996, 2004, 2016; Dorbath and Cisternas, 1997; Robertson et al., 2002; Աղամալյան, 2004; Avagyan et al., 2005, 2010, 2018; Агамалян и др., 2012 և այլն):

Հետագայում արդեն հնատեկտոնական վերականգման, կառուցվածքային երկրաբանական և ակտիվ տեկտոնիկային վերաբերող աշխատանքներ կատարվել են Ավագյանի, Գալոյանի և ուր.-ի կողմից (Avagyan et al., 2005, 2010, 2012; Galoyan et al., 2008): Այս ուսումնասիրություններն են հանդիսացել այն հարթակը, որի հիման վրա իրականացվել է տեկտոնաշերտագրական միավորների առանձնացում, ինչը կարևոր է հասկանալու համար տարածքի տեկտոնական զարգացման առանձնահատկությունները:



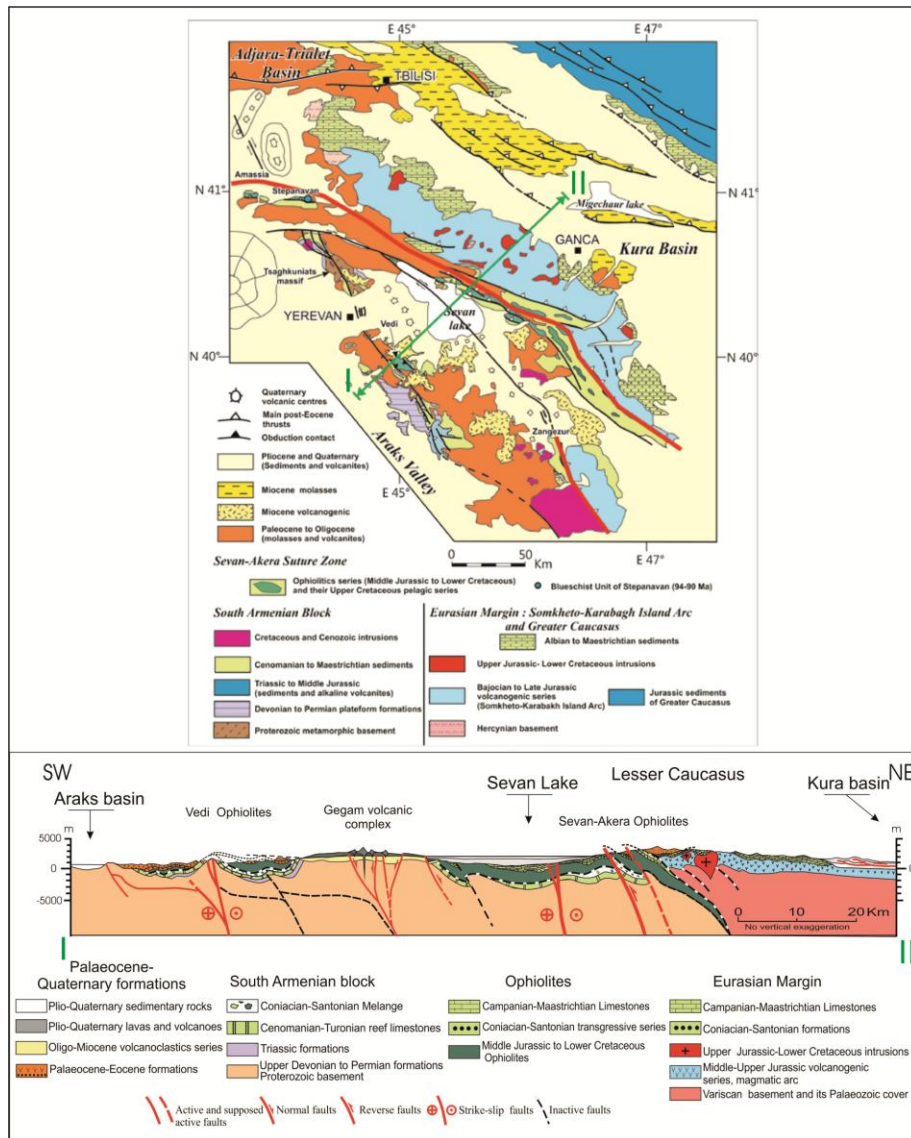
Նկար 1. Արաբական սալի հյուսիսային հատվածի ակտիվ տեկտոնիկան (ըստ Philip et al., 1989; Avagyan et al., 2005; Ավագյան, 2019): 1. հիմնական կողաշարժեր, 2. հիմնական վրաշարժեր, 3. Եվրասիայի համեմատ բլոկների հարաբերական շարժումներ, 4. $M_w > 4.8$ երկրաշարժերի ֆոկալ մեխանիզմներ (CMT Harvard), 5. գործիքային սեյսմիկություն $3 < M_w < 4.9$ (USGS-NEIC): Ar. Հայաստան, D. Դադեստան, T. Թալիշ, E.A.F. Արևելա-Անատոլական խզվածք, N.A.F. Հյուսիս-Անատոլական խզվածք, P.S.S.F. Փամբակ-Սևան-Սյունիք խզվածք, Z.F. Չազրոսի խզվածք, N.T.F. Հյուսիս-Թավրիզի խզվածք, G.S.F. Ժելտարեչկա-Սարիղամիշի խզվածք

Արդյունքում առանձնացվել են երեք հիմնական միավորներ՝ Հարավ-Հայկական Միկրոմայրցամաք, Եվրասիական եզր և Օֆիոլիթային գոտի (նկ. 2) (Sosson et al., 2010):

1.2. Տարածաշրջանի դինամիկ իրադրությունը

Յուրայի ժամանակաշրջանից սկսած Կովկասյան լեռների, ինչպես նաև Հայկական լեռնաշխարհի տեկտոնական Ալպյան էվոլյուցիան կապված է Նեոթետիս օվկիանոսի սուբդուկցիայի, այնուհետև՝ օրդուկցիայի և կոլլիզիայի հետ (Dercourt et al., 1986; Nikishin et al., 1998; Robertson, 2002; Golonka, 2004): Օլիգոցենից սկսած՝

Արաբական և Եվրասիական սալերի բախմամբ հարուցված սեղմման ուժերն ազդել են ընդարձակ գոտում՝ սկսած Պերի-Արաբական ճակատային վրաշարժից, մինչև Մեծ Կովկասի հյուսիսային սահմանները (Sengör & Yilmaz, 1981; Adamia et al., 1981; Dercourt et al., 1986; Ricou, 1994; Yilmaz et al., 2000; Robertson, 2002; Golonka, 2004; Faccenna et al., 2006):



Նկար 2. Փոքր Կովկասի կառուցվածքային քարտեզ (Avagyan et al., 2010; Sosson et al., 2010):
Կարմիր գծով տարված է կարային գոտին, I-II-ով պատկերված է լայնական կտրվածքը

Ակտիվ խզվածքների խտությունը (նկ. 1 և 3) (Jackson & McKenzie, 1984; Rebaï et al., 1993; Philip et al., 2001; Trifonov et al., 2002; Karakhanyan et al., 2004; Avagyan et al., 2010, 2018) կապված է N-S և NNE-SSW առանցքներով Արաբական և Եվրասիական

սալերի հանդիպակած (զուգամետ/vergence) շարժման և դրա կենտրոնական հաստվածում տեղադրվածության հետ (McKenzie, 1972; Sengör & Kidd, 1979; Jackson & McKenzie, 1984; Dewey et al., 1986; Taymaz et al., 1991; Philip et al., 2001; Karakhanian et al., 2004):

Վերջին 100 Ma (մլն տարի) ժամանակահատվածում տարածաշրջանը ենթարկվել է մի շարք տեկտոնական գործընթացների ազդեցության, որոնք դեֆորմացրել և ձևավորել են ժամանակակից կառուցվածքային պատկերը: Առաջինը պալեոցեն-ստորին էոցեն ժամանակաշրջանում գոնդվանյան ծագման Տավրիդ-Անատոլիդ-Հարավ Հայկական Բլոկի (ՏԱՀՀԲ) կոլլիզիան է (Knipper & Kain, 1980; Sosson et al., 2010) Եվրասիական եզրի հետ, ինչը հանգեցրել է հզոր վերնետքների ակտիվացմանը և տարածքի երկրակեղևի ծալքավորմանը (Avagyan et al., 2005, 2010; Sosson et al., 2010): Այնուհետև վերին էոցեն-ստորին օլիգոցենում Արաբական և Եվրասիական (ՏԱՀՀԲ-ն հարավում) սալերի կոլլիզիան է, որը ներկայացված է համատարած հրաբխային գործունեությամբ, իսկ վերին միոցեն-չորրորդական ժամանակաշրջանում տեղի է ունեցել տարածաշրջանային հիմնական խզվածքների ձևավորումը և ակտիվ կոլլիզիոն հրաբխականությունը (Avagyan et al., 2005, 2010; Sosson et al., 2010):

Երկու բախումների զարգացումը հանգեցրել է նաև ցամաքային սուբդուկցիայի դրսևորումների (Sosson et al., 2010; Ավագյան, 2019): Այդ ժամանակ, ըստ Ավագյանի (Ավագյան, 2019), Փոքր Կովկասում՝ Ամասիա-Սևան-Հազարի կարային գոտում, ձևավորվել են թե՛ ռեակտիվացիոն խոշոր վերնետքներ, և թե՛ վրաշարժեր, հետագայում նաև կողաշարժեր (Avagyan et al., 2005; Ավագյան, 2019): Հարավ Հայկական Բլոկի (ՀՀԲ/SAB-South Armenian Block) հյուսիսային պալեոպասիվ եզրի վարնետքները ռեակտիվացել են որպես վերնետքներ և կողաշարժեր (նկ. 2) (Sosson et al., 2010; Avagyan et al., 2010):

Ժամանակակից Արաբա-Եվրասիական կոնվերգենտ շարժման արագությունը գնահատվում է 20-30մմ/տ՝ ըստ Դե Մեծի և այլոց (DeMets et al., 1990): GPS տվյալները ՀՀ տարածքի համար Եվրասիայի նկատմամբ ցույց են տալիս մոտ 10մմ/տ շարժման արագություններ (Reilinger et al., 2006), իսկ Արաբական սալի դեպի հյուսիս շարժումը Եվրասիայի համեմատ կազմում է մոտ 17 մմ/տ (Karakhanyan et al., 2013): Ցամաքային

կողմից հային զուգահեռ տեղի է ունենում Տավրիդ-Անատոլական և Իրանական բլոկների տեկտոնական դուրս մղում (tectonic escape): Արաբական սալի ճակատում կողմից հայի կենտրոնական տարածքը ենթարկվում է ինտենսիվ կրճատման (McKenzie, 1972; Sengör & Kidd, 1979; Jackson & McKenzie, 1984; Dewey et al., 1986; Philip et al., 2001):

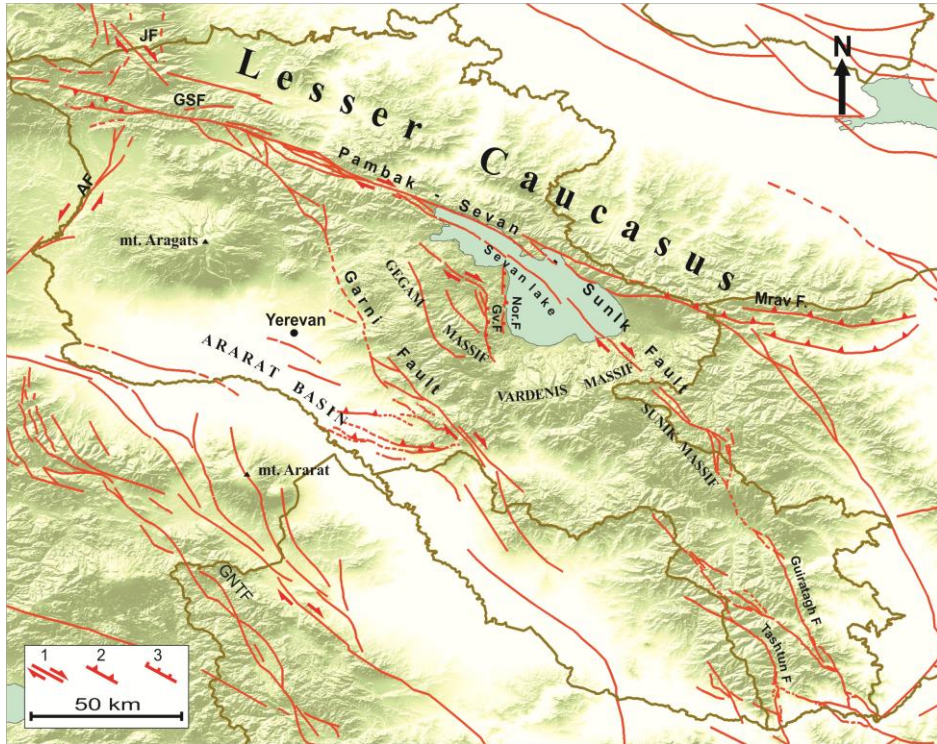
1.2.1. Ակտիվ տեկտոնիկայի առանձնահատկություններն ու երկրադինամիկ դաշտի օրինաչափությունները

Մեծ Կովկասը և Հայկական լեռնաշխարհը գտնվելով ցամաքային բախման (կողմից հայի) կենտրոնական հատվածում, առանձնանում են ակտիվ խզվածքների խտությամբ (նկ. 3) (Асланян, 1957, 1981; Габриелян и др., 1981; Philip et al., 1989, 2001; Караханян, Баласанян, 1992; Karakhanian et al., 2004, 2016; Оганесян и др., 2005, 2008; Avagyan et al., 2005, 2010): Խզվածքային տեկտոնիկան առանձնանում է կինեմատիկ բազմազանությամբ՝ (նկ. 3) սեղմման (օր.՝ Սպիտակի 1988թ. երկրաշարժի խզվածքը), ընդարձակման (օր.՝ Գավառագետի խզվածքը) և կողաշարժային (օր.՝ ՓՍՍ խզվածքը): ՀՀ տարածքում լարվածային ռեժիմը հիմնականում կողաշարժային (transtensional), տրանսպրեսիվ (transpressional) և վերնետքային է, իր կառույցների միաժամանակյա առկայությամբ (Philip et al., 1989; Караханян, Баласанян, 1992; Karakhanian et al., 2004; Avagyan et al., 2005, 2010; Ritz et al., 2016; Ավագյան, 2019):

1.3. Ուսումնասիրվող տարածքի ընդհանուր կառուցվածքային պատկերը

Տարածաշրջանում, ընդհանուր առմամբ, բազմաթիվ ակտիվ կողաշարժերն ու վերնետքները կազմում են ընդարձակ կառուցվածքային աղեղներ, որոնց գագաթներն ուղղված են դեպի հյուսիս և հյուսիս-արևելք (N, NE): Աղեղները արևելքում կազմված են աջակողմյան, իսկ արևմուտքում՝ ձախակողմյան կողաշարժերից (նկ. 3) (Philip et al., 2001; Karakhanian et al., 2002, 2004):

Հյուսիս-հայկական կառուցվածքային աղեղի ամենից խոշոր կառույցը մոտավորապես 490կմ երկարությամբ ՓՍՍԽ-ն է (ներառյալ Գիրաթաղի սեգմենտը), որն էլ իր հերթին ուսումնասիրվող տարածքի առանցքային կառուցվածքային միավորն է:



Նկար 3. ՀՀ և հարակից տարածքների ակտիվ խզվածքների քարտեզը (փոփոխված՝ ըստ Philip et al., 2001; Karakhanian et al., 2003, 2004; Avagyan et al., 2010, 2018; Ավագյան, 2019): 1. կողաշաժեր, 2. վերնետքներ, վրաշարժեր, 3. վարնետքներ: AF. Ախուրյան խզվածք, GSF. Դեղնագետ-Սարիղամիշ խզվածք, GNTF. Գայլատու-Հյուսիս Թավրիզ խզվածք, JF. Ջավախքի խզվածք, Gv.F. Գավառագետի խզվածք, Nor.K.F. Նորատու-Քանազեղի խզվածք

Ուսումնասիրվող տարածքը՝ Սևանա լճի ավազանը, վերահսկվում է ՓՍՍ և Նորատու-Քանազեղ (ՆՔ) ակտիվ խզվածքների սեգմենտներով, ընդ որում դրանք ոչ միայն գոտևորում են լիճը հյուսիսարևելքից և հարավարևմուտքից, այլև կտրում են լճի կենտրոնական հատվածը (Ավագյան, 2019):

Վերոհիշյալ խզվածքների ակտիվությունն ապացուցված է բազմաթիվ միջազգային փորձաքննություն անցած հրատարակումներով, համաձայն որոնց ՓՍՍ խզվածքն ունի $M_w >> 7.0$ սեյսմիկ ներուժ (Philip et al., 2001; Karakhanian et al., 2004, 2016; Avagyan et al., 2010, 2018, 2020):

Որպես աջակողմյան կողաշարժ, E-W ընդարձակմամբ ՓՍՍ խզվածքը ժառանգվել է խոշոր վրաշարժից, որը դեֆորմացրել է լեռնաշղթան ՀՀԲ-ի և Եվրասիական սալի՝ պալեոցեն-վաղ էոցենի ցամաքային բախումից սկսած (Avagyan et al., 2010; Sosson et al. 2010; Ավագյան, 2019):

Վերոհիշյալ անվանմամբ, խզվածքը որպես ամբողջական կառույց առաջին անգամ հիշատակվել է Ավագյանի (Avagyan, 2001) կողմից, որը գտնվում է Փոքր Կովկասյան լեռներում և կազմված է հինգ խոշոր սեգմենտներից, յուրաքանչյուրը սահմանափակված վերադրման զոնաներով (overstep zones) (Avagyan, 2001; Philip et al., 2001):

Խզվածքի հյուսիսային սեգմենտները աշխարհագրորեն համընկնում են Ամասիա-Սևան-Հազարի կարային գոտուն: Հարավային սեգմենտները հյուսիսում կտրում են Սևանա լճի հատակը և ընդարձակ չորրորդական հրաբխային ապարներով ծածկված տարածքները, որոնք, ըստ Կնիպպերի, ծածկում են կարային գոտու հարավային ճյուղը (Knipper et al., 1997):

Սևանա լճի իջվածքում ՓՍՍ խզվածքը բաժանվում է ճյուղերի՝ վերահսկելով Սևանա լճի նշաձև ավազանը և ընդգրկելով երկու ստորջրյա սեգմենտները՝ վերնետքային բաղադրիչով Վանաձոր-Արտանիշի սեգմենտն ու Ձկնագետ-Խոնարհասարի կողաշարժը (մանրամասն՝ ավելի ուշ):

Փոքր Կովկասի կողաշարժերն, ընդհանրապես, ցուցաբերում են փոփոխական ուղղաձիգ բաղադրիչ ոչ միայն տեղային, այլ նաև ավելի փոքր մասշտաբում (Sosson et al., 2010; Ավագյան, 2019): Դրա վառ օրինակը վերոնշյալ ՓՍՍ խզվածքն է, որի հարավային սեգմենտներին ընդհանուր առմամբ բնորոշ է թեք տեղաշարժը՝ (oblique slip) վարնետքային բաղադրիչով, երբեմն՝ վարնետքի գերակշռմամբ, մինչդեռ հյուսիսայիններին ավելի շատ բնորոշ է վերնետքային բաղադրիչը, երբեմն վերնետքայինի գերակշռմամբ, ինչպես օրինակ՝ Վանաձոր-Արտանիշ սեգմենտի հատվածում (Ավագյան, 2019; Ավագյան, 2023; Avagyan A. et al., in print; Avagyan et al., 2024): Սա բացատրվում է խզվածքի կողմնորոշման աստիճանական փոփոխությամբ՝ N 105°-ից (հյուսիսում) մինչև N 155° (հարավում) լարվածության դաշտի հետ հարաբերակցությամբ:

Այս համատեքստում մորֆոլոգիական առանձնահատկությունները, ինչպիսիք են սեղմման կատարները (pressure ridges), շեղված և տեղաշարժված ջրային հոսքերը (deflected derange, offset streams), եռանկյունաձև ֆասետները (triangular facets) և խզվածքի գոտում երկարաձգված դեպրեսիաները (sag pond), նույնպես վկայում են վերջին տեկտոնական ակտիվության մասին (Avagyan et al., 2010; Sosson et al., 2010):

Ըստ Կարախանյան և ուր.-ի (Karakhanyan et al., 2016), Սևանա լճի ավազանում վերջին սեյսմիկ ակտիվությունը ներկայացված է մի քանի երկրաշարժերով, որոնք տեղի են ունեցել 1933, 1936, 1945, 1947, 1992, 1993 և 1996 թվականներին՝ 4.3-ից մինչև 5 մագնիտուդով:

Ինչը վերաբերում է Սևանա լճի հարավարևմտյան հատվածին, ապա այն եզերվում է Գավառի տեկտոնական հորստով և այն ընդգրկող Գավառագետի և Նորատու-Քանազեղի ներբլոկային ակտիվ խզվածքներով (նկ. 3) (Avagyan et al., 2010; 2020): Նորատու-Քանազեղի տեղամասում դիտարկված հյուսիս-հարավ տարածման խզվածքի հարթություններն անկում են 82° W: Հիմնական խզվածքն ունի նորմալ կինեմատիկա և ընդհանուր անկման անկյունը դեպի արևելք է (նկ. 3) (մանրամասն՝ ավելի ուշ):

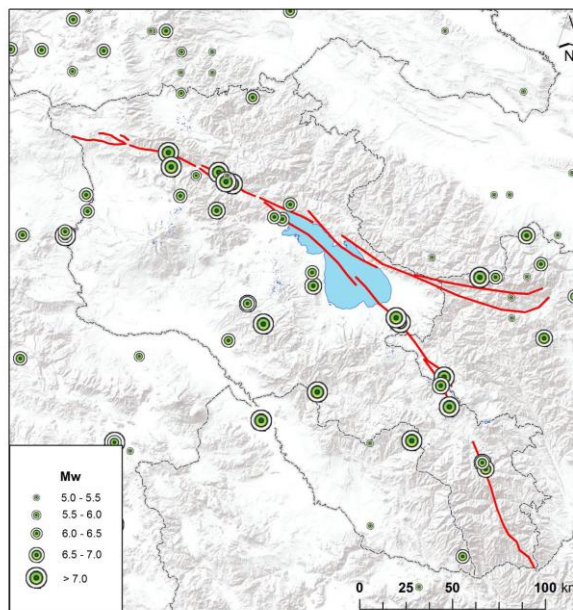
Գավառ քաղաքին մոտ, դեպի հյուսիս, Գավառագետի խզվածքը կտրուկ փոխում է իր $N 110^\circ$ ուղղությունը և կինեմատիկան դառնում է հիմնականում աջակողմյան կողաշարժ (Avagyan, 2001; Ավագյան և ուր., 2017; Avagyan et al., 2020):

1.4. Երկրաշարժերի պատմական և նախապատմական ժամանակաշրջան

Պատմական ժամանակաշրջանում տեղի ունեցած երկրաշարժերի տվյալների հնարավորինս ամբողջական հավաքագրումը սեյսմիկ ռիսկի գնահատման ոլորտում դեռևս ամենբարդ խնդիրներից մեկն է: Պատմական երկրաշարժերի ուսումնասիրման մեթոդներից են *արխետոսեյսմաբանությունն ու պալեոսեյսմաբանությունը*: *Արխետոսեյսմաբանության* ուսումնասիրման օբյեկտը պատմամշակութային կառույցներն են, մասնավորապես՝ եկեղեցիները, որոնք իրենց մեջ պարունակում են վերջին

հազարամյակների ընթացքում տեղի ունեցած բնական աղետների վերաբերյալ քանակական տվյալներ:

Մ.թ.ա. 5-րդ հազարամյակից մինչև 18-րդ դարն ընկած ժամանակահատվածում եղած պատմական հուշարձանները, մ.թ.ա. 6-րդ հազարամյակից մինչև 3-րդ հազարամյակն եղած ժայռապատկերները, մ.թ.ա. 19-6-րդ դդ. սեպագիր արձանագրությունները, 2-18-րդ դդ. անտիկ ու միջնադարյան ժամանակագրությունները բնական վտանգների և դրանց ազդեցությունների վերաբերյալ պարունակում են մեծաքանակ տվյալներ (Մկրտչյան, 2014):



Նկար 4. ՀՀ և հարակից տարածքների պատմական և նախապատմական երկրաշարժերը, որոնց մագնիտուդը մեծ է 5-ից (NorAtom, 2011)

Տարածաշրջանում պատմական $M_w > 6.5$ երկրաշարժերը անհավասարաչափ են բաշխված: Ինչպես օրինակ՝ համեմատաբար քիչ երկրաշարժեր են առկա Մեծ Կովկասում, մինչդեռ Արաբա-Եվրասիական կոլիզիոն գոտու դեֆորմացիաների մեծ մասը կուտակվում է Հայկական լեռնաշխարհի տարածքում (ուղղաձիգ շարժումներն անցնում են 12մմ/տ արագությունները (Лилиенберг и др., 1969, 1970)):

Պատմական երկրաշարժերի կատալոգն ընդգրկում է ավելի քան 2000 տարի ժամանակահատված: Այդ շրջանում ՀՀ տարածքում տեղի են ունեցել բազմաթիվ ավերիչ երկրաշարժեր (նկ. 4): Միայն հինավուրց մայրաքաղաքներ Դվինը և Անին մի

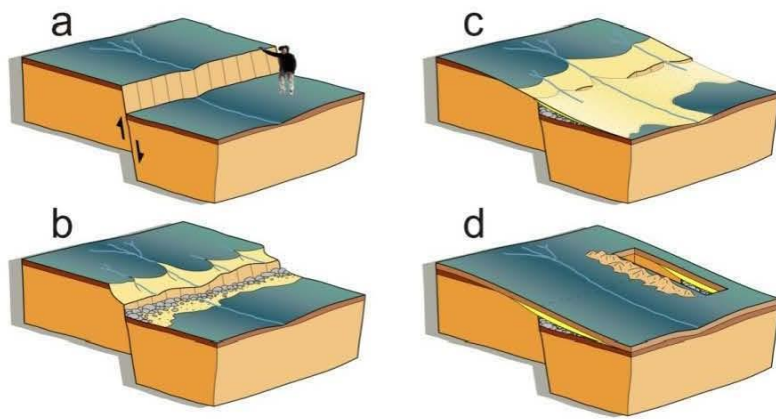
քանի անգամ վնասվել և ավերվել են երկրաշարժերից (Ավագյան, 2013; Մկրտչյան, 2014; Karakhanyan et al., 2016; Հարությունյան, 2021): Դվինը վերջնականապես դադարեց խոշոր կենտրոն լինել 893թ. ավերիչ երկրաշարժից հետո:

Լինում են դեպքեր, երբ տեղի ունեցած ուժեղ երկրաշարժը հիշատակված չի լինում ոչ մի պատմական աղբյուրում: Սակայն ուժեղ երկրաշարժերը ($M_w > 6$) հիմնականում երկրի մակերեսին առաջացնում են խզվածքներ (նկ. 5a, b), որոնք ժամանակի ընթացքում հողմնահարվում են, սակայն խզման հետքը մնում է երկրի մակերեսին՝ սկարպի տեսքով (նկ. 5c, d), ինչն էլ ինքնին հնարավոր է դարձնում երկրաշարժերի պարամետրերի որոշումը: Այդ գիտական ուղղությունը կոչվում է *պալեոսեյսմաբանություն* (McCalpin and Nelson, 1996): Պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրության հիմնական մեթոդը խրամուղիների մեթոդն է: Դրանք մաքրվում են և մանրամասն փաստագրվում: Իսկ հետագա քննարկումների արդյունքում առանձնացվում են նախասեյսմիկ, սեյսմիկ և հետսեյսմիկ մորֆոլոգիական միավորներ, որոնք ենթարկվում են թվագրման: Ուսումնասիրվող երկրաշարժի տարիքը կարելի է ստանալ 3 եղանակով (McCalpin, 2009)՝

1. թվագրելով անմիջապես երկրաշարժից առաջացած տեկտոնական միավորը կամ նստվածքները, որոնք մոտ կլինեն երկրաշարժի տարիքին,
2. թվագրելով այն առաջացումները, որոնք ծածկվել են երկրաշարժից առաջացած նստվածքներով, ինչը կհամապատասխանի երկրաշարժի նախատարիքին,
3. թվագրելով երկրաշարժից առաջացած տեկտոնական միավորները կամ նստվածքները ծածկող առաջացումները, իսկ ստացված արդյունքները կհամապատասխանեն երկրաշարժի հետտարիքին:

Սովորաբար 2-րդ և 3-րդ մեթոդները կիրառվում են այն ժամանակ, երբ հնարավոր չէ կիրառել 1-ին մեթոդը: Շատ հաճախ 2-րդ և 3-րդ մեթոդները կիրառվում են միաժամանակ, որի արդյունքում ստացվում է որոշակի ժամանակահատված, որն իր մեջ ներառում է ուսումնասիրվող սեյսմիկ իրադարձության հասակը (McCalpin, 2009):

Պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրությունները միանշանակ չեն սահմանափակվում միայն խրամուղիների ուսումնասիրմամբ:



Նկար 5. Սկարպի դեգրադացիայի հիմնական փուլերը (Philip et Karakhanian, 1999)

Լայնորեն հաշվի են առնվում նաև ռելիեֆի առանձնահատկությունները, ինչպես օրինակ՝ մորֆոլոգիական և մորֆոտեկտոնական միավորները, որոնց առանձնացումը և երկրաչափական պարամետրերի ճշգրիտ որոշումը շատ կարևոր է սեյսմիկ պարամետրերի դուրս բերման համար (*մորֆոտեկտոնական մոլդեցում*): Օրինակ՝ Խոնարհասար հրաբուխը ՓՍՍ խզվածքի Խոնարհասարի սեզմենտի գործունեության արդյունքում բաժանվել է 2 մասի և տեղաշարժվել մոտ 750 ± 50 մ (Avagyan, 2001; Philip et al., 2001; Davtyan, 2007): Ունենալով հրաբխի առաջացման տարիքը, որոշվել է խզվածքի այդ սեզմենտի երկարաժամկետ տեղաշարժման արագությունը: Այստեղ տեղին է նշել, որ ցանկացած սեյսմիկ պարամետրի դուրսբերումը կախված է վերջինիս ազդեցությունը կրած մորֆոլոգիական միավորների ճշգրիտ առանձնացումից և չափագրումից (Ավագյան, 2013):

Այսպիսով, պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրությունները մեզ թույլ են տալիս դուրս բերել անցյալում տեղի ունեցած և ինչ–ինչ պատճառներով չհիշատակված ուժեղ երկրաշարժերի տարիքը, տեղադիրքը, ուժգնությունն ու կինեմատիկան, ինչպես նաև այդ երկրաշարժերից բխող սեյսմիկ ռիսկի համար կարևորագույն պարամետրերը (Aki, 1966; Tingbaijam et. al., 2017):

Պատմական երկրաշարժերի քննադատական վերլուծության արդյունքում ճշգրտվում են երկրաշարժերի էպիկենտրոնների տեղադիրքերը, ուժգնությունը (օր.՝ Ծաղկաձորի 1827թ.-ի Mw 6.5 երկրաշարժի էպիկենտրոնը, (Haroutiunian, 2023)), իսկ երբեմն ժխտվում է կոնկրետ պատմական երկրաշարժի գոյությունը (օր.՝

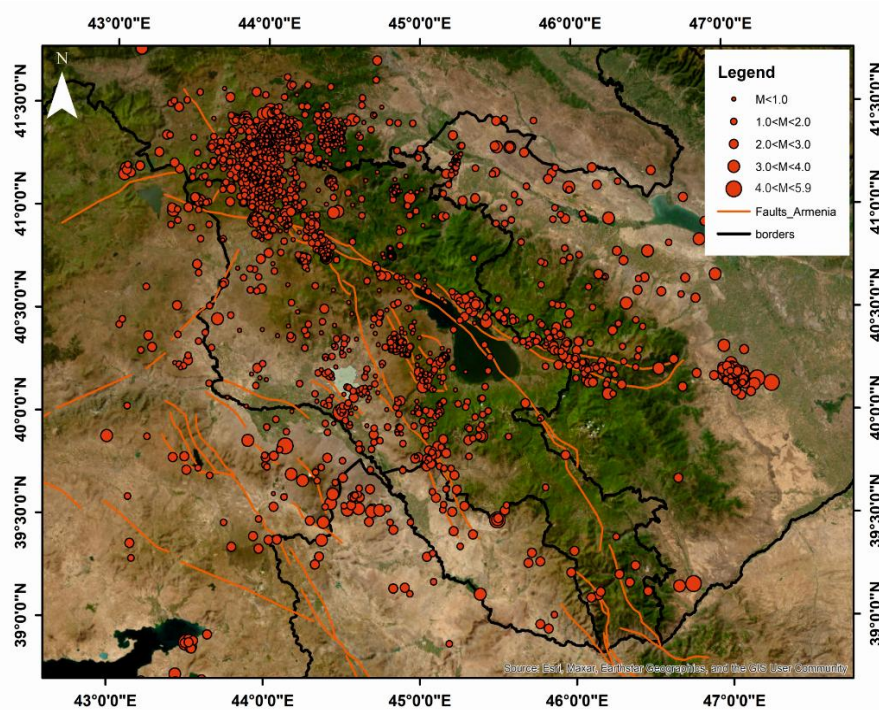
Գավառագետի խզվածքի երկայնքով 1226թ.-ի Mw 6.2 երկրաշարժը, (Ավագյան և ուր., 2022)):

1.5. Երկրաշարժերի գործիքային ժամանակաշրջան

ՀՀ տարածքի համար գործիքային ժամանակաշրջանը սկիզբ է առնում 1931 թվականից, երբ Երևանում տեղադրվեց առաջին սեյսմիկ կայանը: Երկրաշարժերի կատալոգը պարունակում է երկրաշարժերի մասին տվյալներ երեք ժամանակաշրջանի համար. մինչգործիքային՝ առաջին տեղեկություններից մինչև 1931թ., վաղ գործիքային՝ 1932-1961թթ. և ժամանակակից գործիքային՝ 1962 թվականից հետո, երբ վերջնականորեն ձևավորվեց Հայաստանի տարածաշրջանային և լոկալ հեռաչափական սեյսմիկ կայանների ցանցը (Դուրգարյան, 2006; Seismic Hazard Assessment, 2011):

Նայելով երկրաշարժերի և խզվածքների քարտեզին (նկ. 3, 6) ակնհայտ է դառնում այն, որ ուժեղ երկրաշարժերը կապված են ակտիվ խզվածքների հետ, որոնք ունեն բավական մեծ ներուժ:

Ըստ ՆորԱտոմ երկրաշարժերի կատալոգի մագնիտուդահաճախականային բաշխման կորի և խորությունների տվյալների (NorAtom, 2011), ՀՀ-ում 6.0 մագնիտուդից ավելի երկրաշարժերի թիվը կտրուկ նվազում է, ինչը համընդհանուր օրինաչափություն է: 7.0 մագնիտուդից ավել երկրաշարժերը հազվադեպ են, իսկ երկրաշարժերի ճնշող մեծամասնության խորությունները չեն գերազանցում 10կմ-ը: Վերջինս համընկնում է Բալասանյան և ուրիշների (Balassanian et al., 1993) այն կարծիքին, որ տարածաշրջանում երկրակեղևի սեյսմաձին միջակայքում ամենից հաճախ հանդիպող հիպոկենտրոնները գտնվում են 10-15կմ խորություններում: Ավերիչ սեյսմիկ ակտիվության ժամանակակից իրադարձությունները՝ 1976թ. Չալդրանի (Mw 7.1), 1983թ. Նորմանի (Mw 6.8), 1988թ. Սպիտակի (Mw 6.9), 1990թ. Ռուտբար-Մանջիլի (Mw 7.3), 1991թ. Ռաչայի (Mw 7.0) և 2011թ. Վանի (Mw 7.2), վկայում են ՀՀ և հարակից տարածքների բարձր սեյսմիկ վտանգի և ռիսկերի մասին (Մկրտչյան, 2014; Karakhanyan et al., 2016):

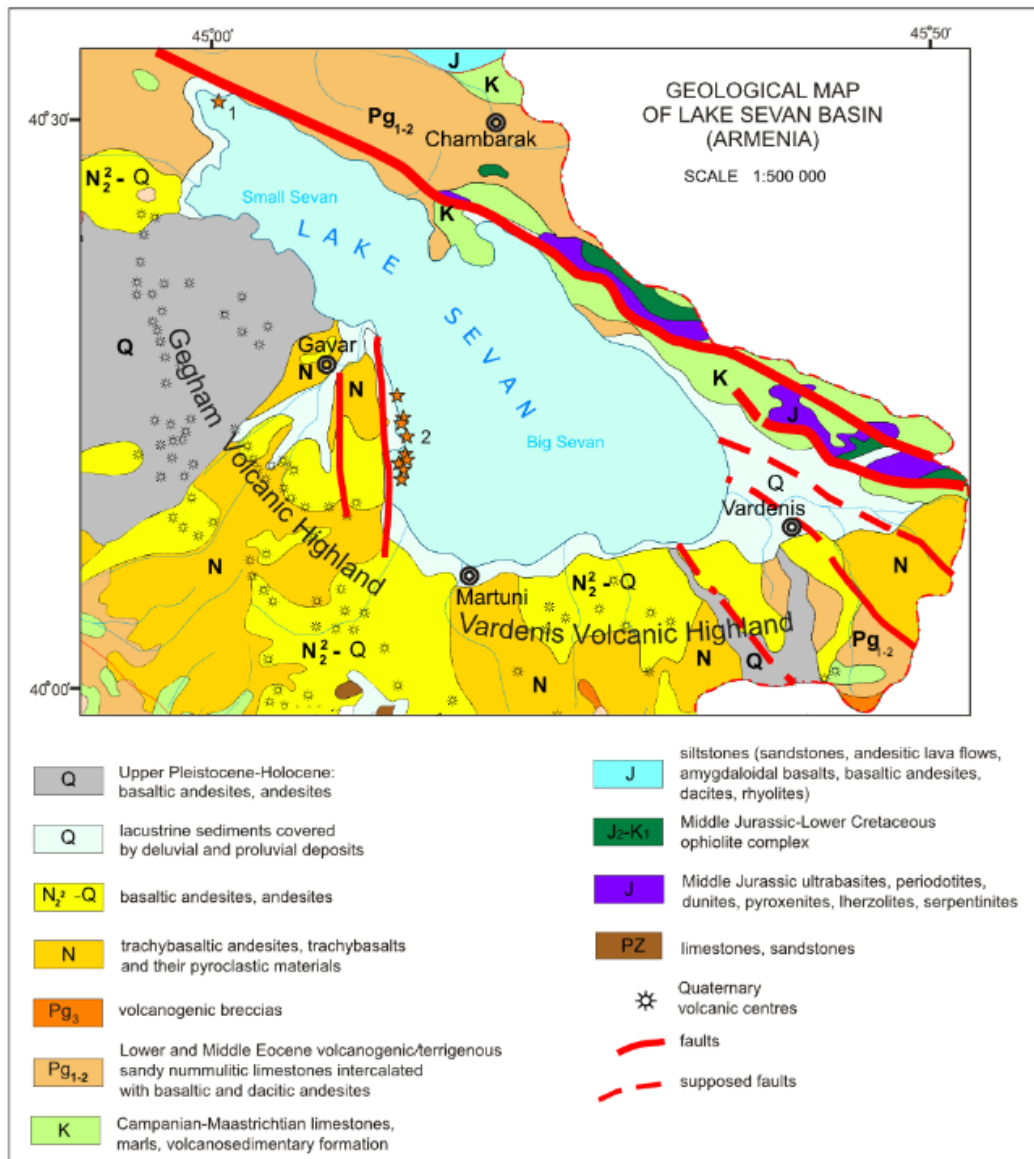


Նկար 6. 2012-2021թթ. ժամանակահատվածի երկրաշարժերի էպիկենտրոնները ՀՀ և հարակից տարածքներում (ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Գեոարխեոլոգիայի և գեոմոնիթորինգի լաբորատորիա, 2021)

1.6. Ուսումնասիրվող տարածքի երկրաբանական կառուցվածքն ու շերտագրությունը

Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական կառուցվածքը ներկայացված է վերին յուրայի, կավճի, պալեոգենի, նեոգենի և չորրորդական հասակի նստվածքային, հրաբխածին, ինտրուզիվ, հրաբխային առաջացումներով (նկ. 7): Սույն շերտագրական սյունյակը (նկ. 8) կազմված է Հ.Պ. Գույումջանի կողմից՝ Վ.Պ. Ռենգարտենի, Կ.Ն. Պաֆֆենհոյցի, Ա.Ա. Գաբրիելյանի, Ա.Տ. Ասլանյանի, Ա.Գ. Ղազարյանի, Ս.Բ. Աբովյանի, Լ.Ս. Մելիքյանի, Գ.Ա. Սարգսյանի, Կ.Ի. Կարապետյանի, Մ.Ա. Սաթյանի, Ս.Ա. Փալանջյանի և այլոց տվյալների հիման վրա (Капланян и др., 1997): Սևանա լճի ավազանի շերտագրական կտրվածքը սկսվում է վերին յուրա-վերին կավճից՝ ներկայացված հրաբխածին-նստվածքային հաստվածքով՝ մոտ 1000մ տեսանելի հզորությամբ և կազմված դիաբազներից, բազալտներից, անդեզիտային պորֆիրներից, ապիլիտներից, տուֆերից, տուֆակոնգլոմերատներից,

տուֆաբրեկչիաներից, կոպտաբեկոր ավազաքարային հասախսային ապարներից, ալերոլիտներից, մարմարացված կրաքարերից՝ հիմնականում Արբունք գյուղում:



Նկար 7. Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական քարտեզ (փոփոխված՝ Խարազյան, 2005-ից)

Ստորին սենոնյան տերրիգեն-կարբոնատային հաստվածքի ընդհանուր հզորությունը մոտ 1100մ է: Կտրվածքի ստորին մասում այն ներկայացված է կրաքարերով (կոնյակ-սանտոն՝ վերին մասում անցնելով տերրիգեն ֆացիայի՝ կոնգլոմերատ, մերգել, ավազային կրաքար, ալերոլիտ, կրաքարակայծքարային թերթաքարեր): Դրանք տարածված են ողջ հյուսիսարևելյան ափով:

Նենգեն	Ստորին-միջին պլիոցեն	19	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	80		
		18	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	100		
		17	-----	80		
		16	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	500		
		15	○ ○ ○ ○ ○	300		
		14	-----	100		
		13	-----	100		
		12	() () () ()	500		
		Պալեոցեն	Միջին էոցեն	11	> > > > >	400
				10	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	1100
				9	-----	1300
				8	-----	100
				7	-----	100
6	-----			1000		
Կավիճ	Մասաթրիխտ	5	-----	500		
		4	○ ○ ○ ○ ○	1100		
		3	-----	1100		
		2	-----	>1000		
Ցուրա - Կավիճ?		1	✓ ○ ✓			

Նկար 8. Սևանա լճի ավազանի երկրաբանական առաջացումների շերտագրական սյունյակ (կազմված՝ ըստ Капелян и др., 1997): 1. վերին յուրա-վերին կավիճ. կոնգլոմերատային, տուֆային և ավազաքարային ենթաշերտով անդեզիտային պորֆիրիտների հրաբխածին-նստվածքային հաստվածք (ստորին հատվածը), դիաբազներ, բազալտներ, պորֆիրիտներ, ռիֆային կրաքարեր (վերին հատվածը), 2. վերին կավիճ, կոնյակ. անդեզիտներ, բազալտային անդեզիտներ, դիաբազներ, տուֆեր, տուֆաբեկչիաներ, տերրիգեն և կարբոնատային նստվածքներ (կոնգլոմերատներ, կարբոնատային ապարների, ռիֆային կրաքարերի, ավազաքարերի, ալրոլիտների, ռադիոլարիտների և հասպիսի ոսպնյակներ), 3. ստորին սենոն. կոնգլոմերատներ, մերգելներ, տարբեր ավազաքարային և բիոգեն կրաքարեր, ավազաքարեր, ալրոլիտներ, կրաքարակայծքարային թերթաքարեր (տերրիգեն-կարբոնատային հաստվածք), 4. հիմնային, ուլտրահիմնային կազմի ինտրուզիվ ապարներ, 5. կամպան. պելիտոմորֆ, մերգելային կրաքարեր, տուֆազեն ավազաքարեր, բազալտային կոնգլոմերատներ (կարբոնատային հաստվածք), 6. մասսոթրիխտ. օրգանոգեն և կավային կրաքարեր (կարբոնատային հաստվածք), 7. ստորին էոցեն. տերրիգեն կավեր (Լուսադբյուրի շերտախումբ), 8. միջին էոցեն. կրաքարեր (Սևանի շերտախումբ), 9. միջին էոցեն. տերրիգեն և կարբոնատային ապարները նստած են Սևանի շերտախմբի վրա (հրաբխածին-բեկորային հաստվածք), վերին մասը տուֆազեն ֆիշ է (ավազաքարեր, կոնգլոմերատներ, տուֆաալրոլիտներ), 10. վերին էոցեն. անդեզիտներ, բազալտային անդեզիտներ, բազալտներ, տուֆազեն կոնգլոմերատներ (հրաբխածին և հրաբխածին-բեկորային հաստվածք), 11. օլիգոցեն. ռիոլիտներ, ռիոլիտային դացիտներ, հիմնականում տուֆազեն կոնգլոմերատներ (Դիլիջանի շերտախումբ), 12. ստորին-միջին պլիոցեն.

ավազաքարեր և կավային ապարներ՝ աղի ենթաշերտերով և գիպսի բնիկներով (աղաբեր-գիպսաբեր ենթաշերտ), 13. ստորին-միջին պլիոցեն. կրաքարեր, կավային ապարներ (Արծվաքարի

ենթաշերտ), 14. ստորին-միջին պլիոցեն. կրաքարեր, մերգելներ, կավային ապարներ, կոնգլոմերատներ, 15. ստորին-միջին պլիոցեն. տուֆաբրեկչիաներ, տուֆաավազաքարեր, տուֆեր, տուֆակոնգլոմերատներ, 16. ստորին-միջին պլիոցեն. ռիոլիտային դացիտներ, տուֆեր, անդեզիտներ, բազալտային անդեզիտներ (հրաբխածին-նստվածքային հաստվածք), 17. ստորին-միջին պլիոցեն. կավային ապարներ, կոնգլոմերատներ, դիատոմիտներ, դիատոմային կավեր, ռիոլիտային դացիտներ, դացիտներ, 18. վերին պլիոցեն-չորրորդական. բազալտային անդեզիտներ, անդեզիտներ, 19. չորրորդական. բազալտային անդեզիտներ, անդեզիտներ

Հարավարևելյան հատվածում ստորին սենոնյան ապարները ներկայացված են հրաբխածին և պիրոկլաստիկ առաջացումներով՝ անդեզիտներով, բազալտային անդեզիտներով, դիաբազներով, տուֆերով, տուֆաբրեկչիաներով, ինչպես նաև տերիգեն և կարբոնատային նստվածքներով՝ ներֆորմացիոն կոնգլոմերատներով, կարբոնատային ապարների ոսպնյակներով, ավազաքարերով, կրաքարերով, ալևրոլիտներով, ռադիոլյարիտներով: Վերին սենոնի նստվածքները ներկայացված են 1500-1600մ հզորությամբ կարբոնատային ապարներով: Կտրվածքի ստորին մասում՝ կամպան, նստած են պելիտոմորֆ և մերգելային կրաքարեր: Դրանք տարածված են Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափով: Այս հատվածի ստորին մասում առկա են տուֆագեն ավազաքարեր, իսկ Կովասարի հարավարևմտյան լանջին՝ հիմնականում մերգելային կրաքարերի վրա նստած են կոնգլոմերատներ և ավազաքարեր: Վերին՝ ավելի հզոր շերտը՝ մասստրիխտ, ներկայացված է օրգանոգեն և կավային կրաքարերով: Հենց այս ժամանակ են ներդրվել դայկերն ու շտոկները՝ քվարց-ռիոլիտ-դացիտային, քվարցային, ոչ քվարցային դիորիտ-պորֆիրային, դացիտ-պորֆիրային, սպեսարտիտային (Капеланян и др., 1997):

Սևանա լճի տարածքում ավելի լայն տարածում ունեն պալեոգենի առաջացումները: Դրանք տարածված են հյուսիսարևելյան, հյուսիսային և հյուսիսարևմտյան հատվածում, Արեգունու ողջ տարածքում և Սևանի լեռնաշղթայի զգալի հատվածում: Ներկայացված են գլխավորապես հրաբխածին-նստվածքային առաջացումներով՝ տերրիգեն-կարբոնատային բնույթի: Այս ապարների գումարային հզորությունը մինչև 3000մ է: Պալեոգենի նստվածքների կտրվածքը սկսվում է ստորին և միջին էոգենից: Հիմքում նստած է ստորին էոգենի Լուսաղբյուրի տերրիգեն շերտախումբը՝ մոտ 1000մ հզորությամբ: Դրանց վրա նստած են Սևանի միջին էոգենի

կրաքարերը՝ 100մ: Այնուհետև հրաբխածին-նստվածային առաջացումներն են՝ 1300մ հզորությամբ՝ Շողակաթից (Շորժա) մինչև Սուք: Այն տուֆագեն ֆլիշ է (Շորժայի շերտախումբ)՝ ներկայացված տուֆաավազաքարերով, հազվադեպ հանդիպող ենթաշերտերով և կրաքարային ոսպնյակներով ու անդեզիտային կազմի լավաներով (Капелян и др., 1997):

Կտրվածքով դեպի վեր նստած են վերին էոցենի առաջացումները՝ հրաբխածին, հրաբխածին-բեկորային հաստվածքով: Դրանք անդեզիտներ են, բազալտային անդեզիտներ, բազալտներ, տուֆագեն կոնգլոմերատներ՝ 1100մ: Տարածված են Արեգունու լեռնաշղթայի լանջերին՝ հիմնականում Ծափաթաղից դեպի արևմուտք և հյուսիսարևմուտք: Հզոր բազալտային, անդեզիտային ծածկոցները և նրանց պիրոկլաստները կազմում են մեծ տարածքներ՝ Արեգունու ջրբաժանի և Սևանի լեռնաշղթայի արևմտյան մասում: Վերոնշյալ ավազանի պալեոգենի նստվածքների կտրվածքն ավարտվում է օլիգոցենի առաջացումներով: Այս առաջացումները ներկայացված են հրաբխածին (Դիլիջանի) շերտախմբով: Դրանք ռիոլիտներ, ռիոլիտ-դացիտներ են՝ տուֆագեն կոնգլոմերատներով: Շերտախմբի հզորությունը չի գերազանցում 400մ-ը: Հասակը որոշված է միջին օլիգոցեն-ստորին միոցեն: Այս ապարներն ունեն լայն տարածում Արեգունու լեռնաշղթայում:

Սևանի ավազանում լայն տարածում ունեն նաև նեոգենի առաջացումները: Դրանք գլխավորապես տարածված են Վարդենիսի և Գեղամա լեռնաշղթաներում: Շերտագրական սյունյակի այդ հասակի ապարների ստորին հորիզոնները զբաղեցնում է աղաբեր-գիպսաբեր ենթաշերտը՝ 500մ, միջին-վերին միոցենի հասակի: Այն ծածկված է վերին միոցենի (սարմատ) կրաքարերով՝ ձևավորելով ոչ մեծ ելքեր Գավառագետի աջ ափին: Այդ կրաքարերի վրա նստած են կավային ապարներ, կոնգլոմերատներ և մերգելներ՝ նույն հասակի: Դրանց հզորությունը Արծվաքար գյուղից դեպի հարավ-արևելք կազմում է 100մ: Սարմատի նստվածքների վրա նստած են ստորին-միջին պլիոցենի առաջացումները, որոնք ներկայացված են տերրիգեն-կարբոնատային նստվածքներով՝ 300մ և հրաբխածին-նստվածքային 500մ հաստվածքով: Դրանք տուֆաավազաքարեր, մերգելային ավազաքարեր, տուֆաբրեկչիաներ, տուֆակոնգլոմերատներ, ռիոլիտ-դացիտներ, դացիտներ, տուֆեր,

անդեզիտներ, բազալտային անդեզիտներ են: Այս հաստվածքի ապարները ծածկված են լճային նստվածքներով՝ ներկայացված կավային ավազաքարերով, կոնգլոմերատներով, դիատոմիտներով, դիատոմային կավերով, ռիոլիտ-դացիտներով, դացիտներով: Նեոգենի շրջանն ավարտվում է անդեզիտային, բազալտաանդեզիտային լավային ծածկոցներով (Капелян и др., 1997):

Սևանա լճի արևմտյան, հարավարևմտյան և հարավային ափերին տարածված են վերին պլիոցեն-չորրորդական հասակի առաջաջացումները, որոնք ներկայացված են բազմակի հրաբխային ժայթքումային հոսքերով՝ տեղադրված Գեղամա և Վարդենիսի լեռնաշղթաների ջրբաժանային մասում: Լավային ծածկոցների ընդհանուր հզորությունը, ըստ հորատման տվյալների, հասնում է 150-200մ, իսկ հնահուններում՝ 300մ: Հատուկ տեղ են գրավում Մասրիկի հարթավայրի նստվածքները՝ տեղակայված լճի հարավարևելյան ափին: Հարթավայրը՝ 300կմ² մակերեսով, կազմված է չորրորդականի ավազախճային նստվածքներից: Բազմաբեկորային առաջացումների ընդհանուր հզորությունը հասնում է 260մ-ի: Որպես անալոգ ապարներ տարածված են խճաքարերը, մոտ 15-20մ հզորությամբ (Капелян и др., 1997):

**ԳԼՈՒԽ 2. ՍԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ
ԼՃԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՀՅՈՒՍԻՍ-ՀՅՈՒՍԻՍԱՐԵՎԵԼՅԱՆ ՀԱՏՎԱԾՈՒՄ:
ԼԱՆՋԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ 2D-ԵՐԿԶԱՓ
ԹՎԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ**

**2.1. Տեղանքի լանջային գործընթացների մոդելավորման
անհրաժեշտության համառոտ բնութագիր**

Երկրաբանական վտանգների և դրանց փոխկապակցվածության ուսումնասիրությունները համեմատաբար փոքր տարածք ունեցող Հայաստանի Հանրապետության համար, ուր առկա են մեծ խտությամբ ակտիվ երկրաբանական կառույցներ, ունեն հիմնարար նշանակություն: Մասնավորապես, արդիական է Սևանա լճի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային ակտիվ գործընթացների, դրանց հնարավոր զարգացումների ուսումնասիրությունը և վտանգի գնահատումը՝ հաշվի առնելով տեղանքի երկրադինամիկ պայմանները:

Քանի որ լեռնային շրջաններում ուժեղ երկրաշարժերը խոշոր սողանքների և փլուզումների առաջացման գլխավոր պատճառներից են, ապա կարևոր է սեյսմիկ ազդեցության դերի հաշվառումը դրանց ձևավորման մեջ, ինչն էլ իր հերթին տեսական և կիրառական նշանակության խնդիր է:

Ուստի, ելնելով լանջային վտանգավոր գործընթացների հնարավոր զարգացումներից, տարբեր երկրաբանական վտանգների միջև հնարավոր փոխազդեցություններից և առկա ռիսկերից, տարածքի հանրապետական նշանակության ճանապարհի և երկաթգծի առկայության պարագայում, Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան ամենազառիթափ հատվածում (Արեգունու լեռներ) կատարվել է լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում (մանրամասն՝ ավելի ուշ):

2.2. Տեղանքի մորֆոլոգիական և երկրաբանական առանձնահատկությունները

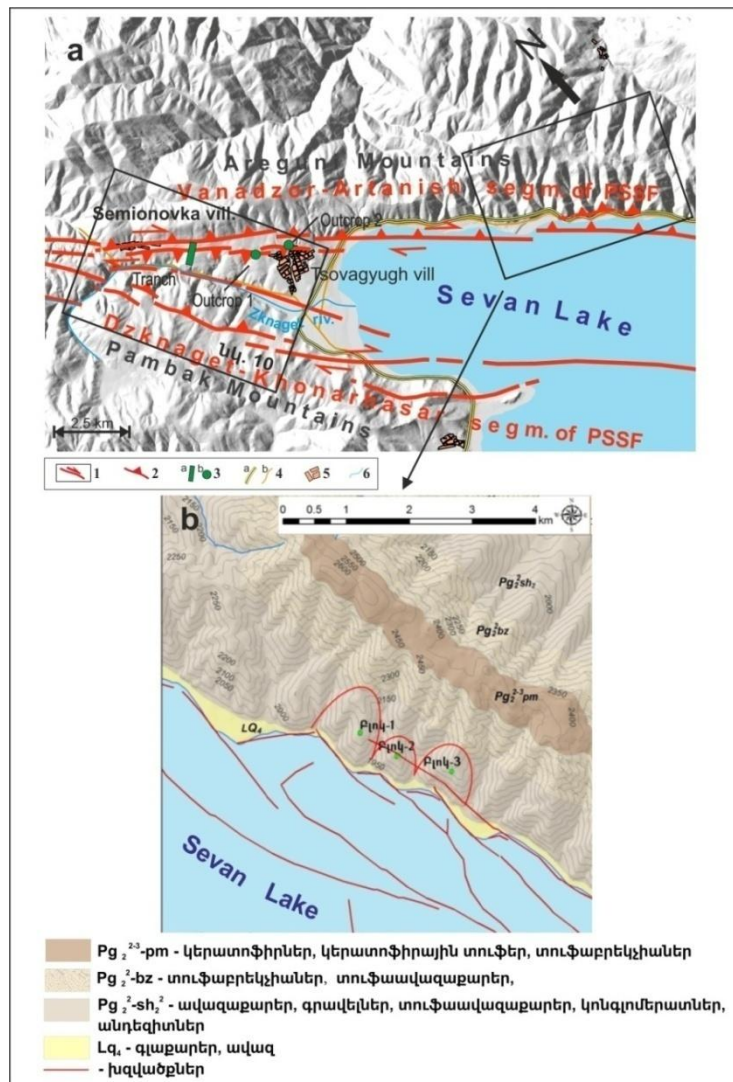
Ինչպես նախորդիվ նշվեց, Սևանա լճի տարածքում լայն տարածում ունեն պալեոգենի առաջացումները: Դրանք տարածված են ավազանի հյուսիսարևելյան, հյուսիսային և հյուսիսարևմտյան հատվածում, Արեգունու ողջ տարածքում և Սևանի լեռնաշղթայի զգալի հատվածում (նկ. 9): Արեգունու լեռների ամենազառիթափ տեղամասը, որպես ամենախոցելի լանջ, ընտրվել է լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման համար՝ ներկայացված, մասնավորապես, անդեզիտներով: Այս հզոր բազալտային ծածկոցները, անդեզիտները և դրանց պիրոկլաստները կազմում են մեծ տարածքներ՝ Արեգունու ջրբաժանի և Սևանի լեռնաշղթայի արևմտյան մասում (Каплањани др., 1997; Ավագյան, 2023):

Սևանա լճի ամբողջ հյուսիս-հյուսիսարևելյան ափագծի երկայնքով՝ մինչև Շողակաթ (Շորժա), իրականացվել են փաստագրման աշխատանքներ՝ շերտերի ու ճեղքագոյացումների չափագրման, ինչպես նաև խախտումների հայտնաբերման ուղղությամբ: Հավաքագրված նյութի հիման վրա կատարվել է մորֆոլոգիական և կառուցվածքային վերլուծություն՝ արդյունքում առանձնացնելով մորֆոտեկտոնական այնպիսի տեղամասեր, որոնք հիմք են տալիս պնդելու, որ տարածքը ենթարկվում է սեյսմատեկտոնական ժամանակակից ազդեցությունների և, որ տարածքում առկա է ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման անհրաժեշտություն:

Դրանք են.

1. Ձկնագետի իջվածքը (նկ. 10),
2. Ծովագյուղ-Սեմյոնովկա միջճանապարհային տեղամասը (նկ. 11),
3. Ծովագյուղի գերեզմանային բլուրի տեղամասը (նկ. 12, 13),
4. Արեգունու հարավային զառիթափ լանջերը, ուր լավ տեսանելի են գրաբենային տեղամասն ու եռանկյունաձև ֆասետները (նկ. 14, 15),
5. Դրախտիկ գյուղի մերձակայքը, դեռևս Կարախանյանի կողմից ենթադրվող պալեոսողանքի թիկունքային հատվածով՝ Փոքր Սևանի հյուսիսարևելյան լճափին (նկ. 19) (Karakhanyan et al., 2016):

Այսպիսով, ստորև ներկայացված են այն վերոնշյալ տեղամասերը, որտեղ տեկտոնական առանձնահատկությունները ցույց են տալիս շարունակական տեկտոնական վերելք և կրճատում:

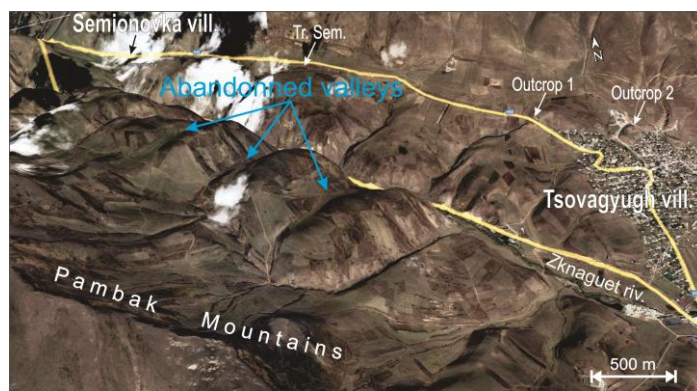


Նկար 9. a. Սևանի ավազանի հյուսիս-հյուսիսարևելյան հատվածի ակտիվ տեկտոնական քարտեզ. 1. կողաշարժեր, 2. վերնետքեր, 3 (a). խրամուղու տեղամաս, 3 (b). մերկացումների տեղամասեր, 4 (a). երկաթուղի, 4 (b). ճանապարհներ, 5. բնակավայրեր, 6. գետեր (Avagyan A. et al., in print): b. Արեգունու լեռների մի հատվածի երկրաբանական քարտեզը՝ ըստ Ավագյան և ուր.-ի (Авакян и др., 1976)

2.2.1. Ձկնագետի իջվածք

Ձկնագետի իջվածքում՝ ՓՍՄԽ-ի երկայնքով գեոմորֆոլոգիական և դաշտային ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս միջգետային բլուրներից կազմված

երկայնական լեռնաշղթա՝ մոտ 1.5կմ երկարությամբ և 0.6-1.0կմ լայնությամբ: Բլուրներն իրար ուղղահայաց են և կտրտված տեղանքի տեկտոնական իրադրությանը նախորդած դրենաժային հոսքերով: Մենք դա մեկնաբանում ենք որպես ակտիվ տեկտոնական վերելք, որը դարձել է երեք հովիտների լքվածության պատճառ (նկ. 10) (Avagyan A. et al., in print): Ընթացիկ N-S տեկտոնական կրճատման մասին այս ակնառու ապացույցը ենթադրում է մոտակա խզվածքների կինեմատիկայի ուժեղ վերնետքային բաղադրիչ: Այս պնդումը համահունչ է դեռևս Սեմյոնովկայի խրամուղում նախորդիվ հայտնաբերված մակերևութային խախտման կինեմատիկայի հետ (Philip et al., 2001; Avagyan, 2001):

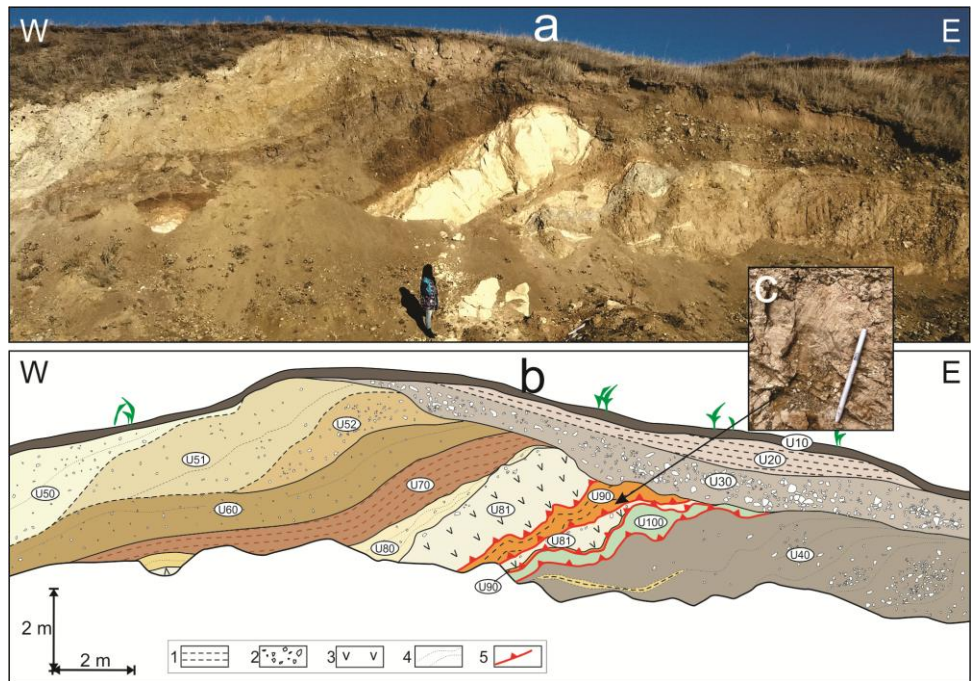


Նկար 10. Ձկնագետի իջվածքի Google Earth եռաչափ արբանյակային պատկերը՝ բարձրացած երկայնական բլրաշարով, ձևավորված տեկտոնական իրադրությանը նախորդած դրենաժային հոսքերով և լքված (մահվան) հովիտներով (տեղադրությունը տե՛ս նկ. 9a-ում): *Ուղղահայաց արժեքը չափազանցված է* (Avagyan A. et al., in print)

2.2.2. Ծովագյուղ-Սեմյոնովկա միջճանապարհային տեղամաս

Նմանօրինակ մեկ այլ խզվածքային առանձնահատկություն հայտնաբերվել է Ծովագյուղից արևմուտք (մերկացում 1, նկ. 9a), որը ներկայացված է նկար 11-ում: 1-ին մերկացման հատվածը բաղկացած է 10 հիմնական միավորից և մի քանի ենթամիավորից, որտեղ նստվածքային բոլոր շերտերը հարուստ են մանրահատիկ ավազով և կավով (նկ. 11) (Avagyan A. et al., in print): Ընդհանուր առմամբ, նստվածքներում կարբոնատների պարունակությունը ցածր է և կազմում է 4-10%: Ս10-

U30 միավորները, որոնք կազմված են ավազի հետ խառնված կավից, աններդաշնակ տեղադրված են ստորին մասերում:



Նկար 11. Ծովագյուղ գյուղից դեպի արևմուտք գտնվող 1-ին մերկացման a. դաշտային լուսանկարը և b. մերկացման մեկնաբանությունը՝ (տեղադրությունը տե՛ս նկ. 9a-ում, (Avagyan A. et al., in print)):
 1. կավավազ, 2. կոյուվի, 3. խարամ, 4. միջնաշերտ, 5. վերնետքներ՝ փոքր աջակողմյան բաղադրիչով: Շերտագրական միավորներ՝ U10. բնահող, U20. շագանակագույն կավ, U30-U60. հրաբխաբեկորային փոփոխական քանակի կոյուվի և բացից մինչև մուգ շագանակագույն ալևրիտ և ավազակավային նյութ, U70. մուգ շագանակագույն ավազակավային կավահող, U80. խարամ՝ ավազակավի և հրաբխային բրեկչիայի խառնուրդով, U81. խարամ, U90. շագանակագույն կավ՝ հրաբխային ապարների փոքր բեկորներով, U100. փոփոխված և հողմնահարված կանաչավուն կավային ավազ: c. մեխանիկական խզվածքավորում՝ U90-ում

U20-ը հողմնահարման արդյունքում կուտակված կավ է: U50-U100 միավորները վերադրված են U40-ի վրա՝ կազմված կավավազներից և հարուստ հրաբխային բեկորներից: U30-U60 միավորները տարբեր հրաբխային բեկորների և բացից մինչև մուգ շագանակագույն ալևրիտային և ավազային կավերի կոյուվի են: U90-ը (կավ) համապատասխանում է N 120° տարածմամբ և 68° անկմամբ խզվածքային գոտուն, որի խզվածքավորման գծերը ցույց են տալիս թեք տեղաշարժ՝ գերակշռող վերնետքային բաղադրիչով (61° W): Կտրման գոտու հարթությունները հիմնականում

անկում են դեպի հյուսիս՝ 68° անկյան տակ (Avagyan A. et al., in print): Խարամի (U81) կարևորագույն հիմնական էլեմենտներն ունեն հետևյալ պարունակությունը՝ 60.90% SiO₂, 18.10% Al₂O₃-ի, 1.38% Na₂O-ի և 2.67% K₂O-ի առկայությամբ (որոշված ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Քիմիական լաբորատորիայում): Այս հարաբերակցությունը TAS (ընդհանուր ալկալի-սիլիցիումային) դիագրամում այն վերագրում է անդեզիտային դաշտին: Ըստ ՀՀ չորրորդական հրաբուխների կատալոգի (Джрбашян и др., 2024), սա համապատասխանում է Գեղամա հրաբխային զանգվածի Մենակսար հրաբխի բաղադրությանը, որը գտնվում է Սևանա լճի արևմուտքում՝ 1-ին մերկացումից մոտավորապես 25 կմ հարավ-հարավարևմուտք (նկ. 9a) (Avagyan A. et al., in print):

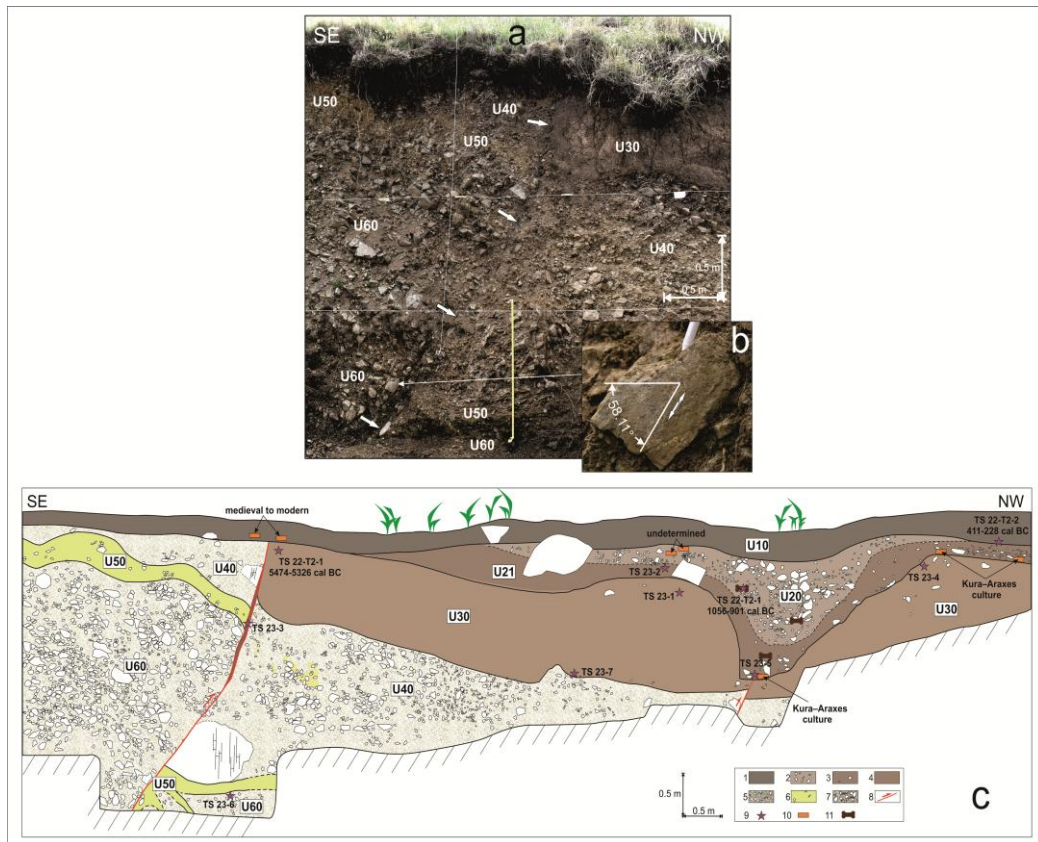
Դիտարկված վերնետքային խզվածքը կինեմատիկորեն համապատասխանում է Արեգունու լեռնաշղթայի բարձրացմանը նպաստող հիմնական խզվածքի անկմանը (նկ. 9a): Խզվածքի տարիքը ենթադրվում է չորրորդական՝ ելնելով U40 կոլուվիի տարասեռ բնույթից և Մենակսար հրաբխի վաղ չորրորդական հասակից՝ ըստ U81-ի հրաբխային նյութի տվյալների (Джрбашян и др., 2024; Avagyan A. et al., in print):

2.2.3. Ծովագյուղի գերեզմանային բլուրի տեղամաս

Մեկ այլ դեֆորմացիա է հայտնաբերվել 2-րդ մերկացման հատվածում (նկ. 9a, նկ. 12): U10 միավորի բնահողը ծածկում է կավային նյութով կոլուվին և U21 ենթամիավորի մանրահատիկ ավազակավը: U20 և U21 միավորները չունեն որոշակի կայուն կառուցվածք, գուցե հավանական նախկին արհեստական իջույթի պատճառով, որը գտնվում է մերկացման հյուսիսարևմտյան մասում: Այս միավորները հարուստ են խեցեղենի կտորներով և ոսկրային նյութով: Շականակագույն կավի U30 միավորի շերտայնությունը վկայում է լճային պայմաններում նրա նստվածքակուտակման մասին: Նույն ձևակառուցվածքը մենք հայտնաբերել ենք 1-ին մերկացման դեպքում (U20, նկ. 11), որը գտնվում է 1կմ արևմուտք (Avagyan A. et al., in print):

U30 շերտի տակ U40 և 60 կոլուվիի շերտերն են, որոնք առանձնացված են U50 կոլուվիի դեղնավուն ավազային զանգվածից և ունեն նմանատիպ բաղադրություն՝

հրաբխանստվածքային ծագման բեկորների առատությամբ: Միակ տարբերությունը U40 ավազային շերտի տեղ-տեղ թույլ դեղնավուն երանգավորումն է:



Նկար. 12. a. 2-րդ մերկացման դաշտային լուսանկարը՝ խզվածքով, որը նշված է սպիտակ սլաքներով, b. կտրման գոտու բեկորային տարրեր՝ խզվածքավորման հետքերով (Avagyan A. et al., in print): c. 2-րդ մերկացման մեկնաբանությունը. շերտագրական միավորներ՝ 1. բնահող, 2. կոյուվի՝ կավային նյութով, 3. մանրահատիկ ավազակավ, 4. շագանակագույն կավ, 5. կոյուվի՝ առատ բեկորային և մոխրադեղնավուն ավազով, 6. կոյուվի՝ դեղնավուն ավազով, 7. կոյուվի՝ առատ բեկորային և մոխրավուն ավազով, 8. խզվածք, 9. ռադիոածխածնային թվագրման նմուշներ, 10. խեցեղեն, 11. ոսկորներ

Իսզման հարթությունն ունի N 125° և 85° SW անկման ուղղություն: Կտրման գոտու բեկորային միավորի վրա 61° SE խզվածքավորումը ցույց է տալիս գերիշխող վերնետքային շարժում՝ աջակողմյան հորիզոնական բաղադրիչով: Վերնետքային բաղադրիչը հաստատվում է U30-ի և U50-ի հիմքային հատվածների ծալքավորմամբ՝ անմիջապես խզվածքի հարթությանը հարող հատվածում: Այստեղ, ինչպես Սեմյոնովկայի խրամուղու դեպքում, խզվածքն ունի հարավային անկում (նկ. 12) (Avagyan A. et al., in print):

U50-ի ուղղահայաց տեղաշարժը 2մ է, իսկ թեք տեղաշարժը (հիմք ընդունելով դիտարկված հատվածը)՝ 2.2մ, որը թեք տեղաշարժի միջին արժեքի դեպքում համապատասխանում է Mw 7.2-ի՝ Wells and Coppersmith-ի (1994) էմպիրիկ օրենքի համաձայն: Սա համահունչ է Սեմյոնովկայի խրամուղու համար նախորդիվ ստացված $M_w > 7.17$ արժեքին (Philip et al., 2001):

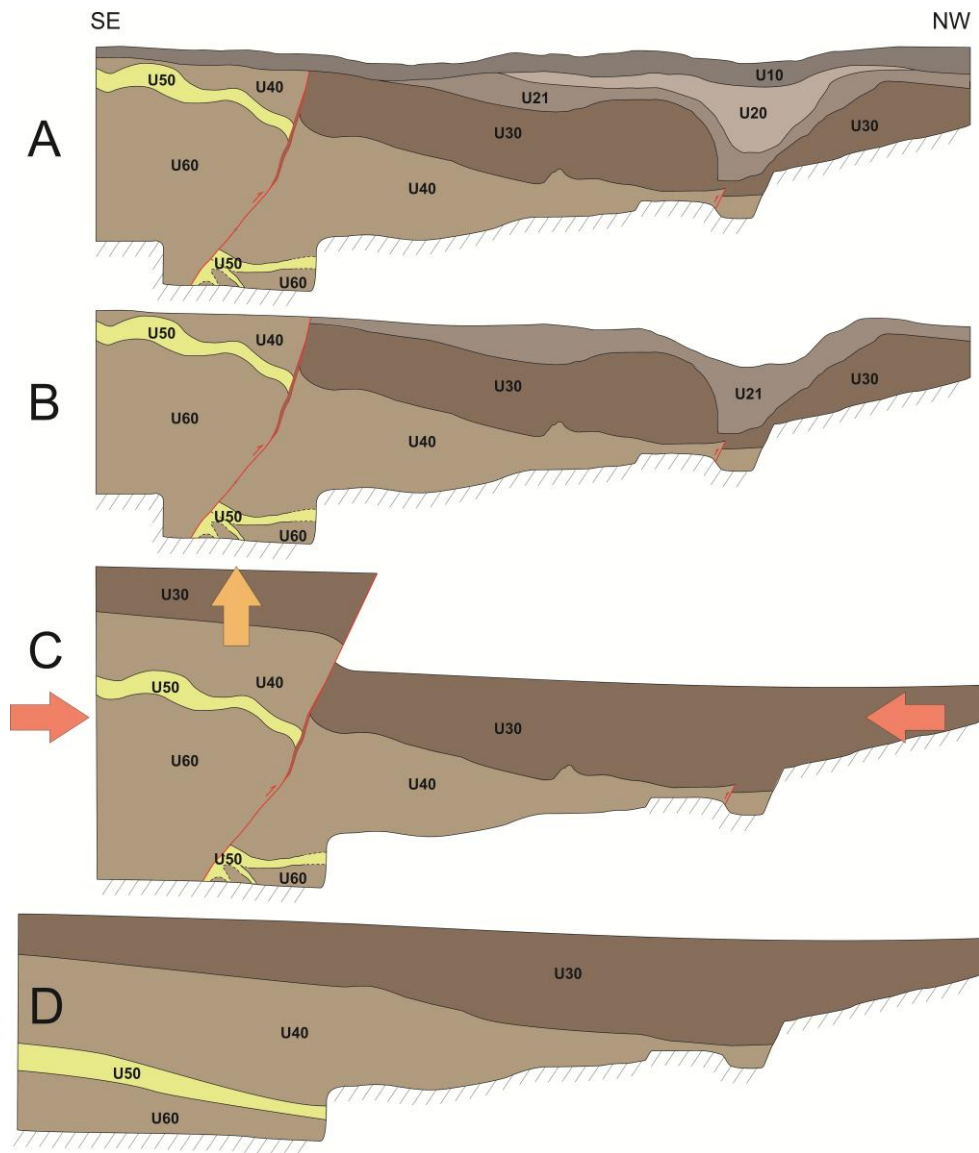
Հետադարձ վերլուծություն և իրադարձության հասակագրում

Հետադարձ վերլուծությունը (նկ. 13) ցույց է տալիս մեկ իրադարձության սցենար: Մակերևութային խզումը ազդել է U40, U50 և U60 միավորների վրա: Հետևաբար, նրանք նախորդում են իրադարձությանը: Պարզ չէ, արդյոք U20-ի վրա խզումն ազդել է, թե ոչ: U20-ում հայտնաբերված խեցեղենի կտորների մի մասն անորոշ է՝ նրանց փոքր չափերի և բնորոշ զարդանախշերի բացակայության պատճառով, սակայն U21 միավորում հայտնաբերված կտորը, որը հիմնված է գույնի և պատրաստման տեխնիկայի վրա, ակնհայտորեն պատկանում է վաղ Բրոնզի դարի Կուր-արաքսյան մշակութային շերտին (թվագրված Ռ. Բադալյանի կողմից՝ ՀՀ ԳԱԱ Հայաստանի Հնագիտության և Ազգագրության ինստիտուտ): Մշակույթը Հայաստանում՝ հիմնված խեցեղենի տիպաբանության, աշխարհագրական տարածվածության, շերտագրական դասավորությունների և համալիրների բացարձակ հասակի վրա, պատկանում է մ.թ.ա. 3500–2500 թվականներին (Badalyan, 2014, 2021; Avagyan A. et al., in print):

Խրամուղում հայտնաբերված նյութերի ավելի ճշգրիտ թվագրումը հնարավոր չէ խեցեղենի կտորների փոքր քանակության և անորոշության պատճառով: Միայն հետագա դաշտային հետազոտությունները մեզ թույլ կտան պարզաբանել դրանց թվագրումը և որոշել՝ գործ ունենք նյութերի պատահական կուտակման, թե նոր հնագիտական վայրի հետ: Վերջին դեպքում Ծովագյուղը հաջողությամբ կլրացներ Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևմտյան մասի հնագիտական քարտեզը, որը հարուստ է Կուր-արաքսյան մշակույթի համաժամանակյա վայրերով:

Հարկ է նշել, որ այս հիպոթետիկ տեղանքի դիրքը թույլ է տալիս վերահսկել հաղորդակցությունները ինչպես Սևանա լճի ափի երկայնքով, այնպես էլ Սեմյոնովկայով անցնող ճանապարհի երկայնքով՝ դեպի հանքաբեր գոտիներ՝

Մարգահովիտ և Ֆիոլետովո՝ Կուր-արաքսյան բնակավայրերի մոտ (Avagyan A. et al., in print):



Նկար 13. Մակերեսային խախտման հակադարձ վերլուծություն 2-րդ կտրվածքի համար (տե՛ս նկ. 12c) (retrospective analysis), որը ցույց է տալիս մեկ իրադարձություն (Avagyan A. et al., in print)

Երեք C^{14} բացարձակ հասակային տվյալ ձեռք է բերվել և իրականացվել Ֆրանսիայի LNC14, Gif-sur-Yvette լաբորատորիայում: Բոլորը չափորոշված են OxCal 4.4 ծրագրային փաթեթով: Մ.թ.ա. 411-228թթ. և 1056-901թթ. տվյալներ են ստացվել, համապատասխանաբար, U10 և U20 միավորների համար: U30 միավորի վերին մասի համար ստացվել է մ.թ.ա. 5474-5326թթ. հասակ: Շատ կոնսերվատիվ վերլուծության դեպքում կարող ենք ենթադրել, որ վերջին մակերեսային խախտումը տեղի է ունեցել մ.թ.ա 1056-901թթ. և մ.թ.ա 5474-5326թթ. միջև: Հետևաբար, եթե հաշվի առնենք, որ

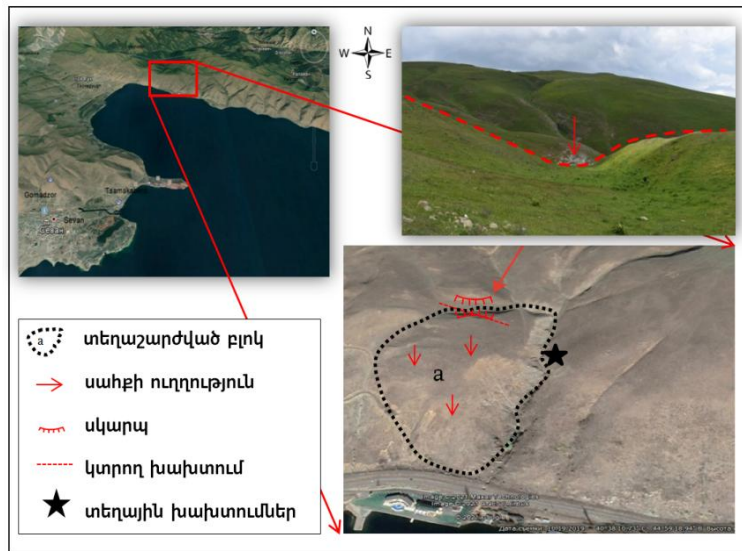
U21 միավորը նախորդել է իրադարձությանը, որն ունի Կուր-արաքսյան մ.թ.ա. 3500-2500թթ. հասակ, ապա վերջին մակերեսային խախտումը տեղի է ունեցել մ.թ.ա. 1056-901թթ. և մ.թ.ա. 3500թ. միջակայքում (Կուր-արաքսյան մշակույթի ստորին սահման) (Avagyan A. et al., in print):

Հաշվի առնելով Սեմյոնովկայի և Ֆիոլետովոյի խրամուղիների համար ձեռք բերված նախկին պալեոսեյսմաբանական տվյալները (Philip et al., 2001), նոր տվյալների հիման վրա մեկ անգամ ևս ընդգծում ենք վերջին սեյսմիկ իրադարձության սահմանները, որը ՓՍՍԽ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի երկայնքով առաջացրել է մակերեսային խախտում: Դա տեղի է ունեցել մ.թ.ա. 1056-901թթ. և 2333-2139թթ. միջակայքերում (Avagyan A. et al., in print):

2.2.4. Արեգունու հարավային զառիթափ լանջերին բլուկների՝ դեպի Սևանի ավազան շարժման վկայություններ, գրաբենային տեղամաս

Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան հատվածում՝ Ծովագյուղից մոտ 2.6կմ դեպի հյուսիս-արևելք, ($44^{\circ}59'18.09''$, $40^{\circ}38'11.14''$) նկատվում է փոքր տեղաշարժված բլուկ՝ գրաբենային կառույցով: Ամենայն հավանականությամբ, տեկտոնական իրադրության պայմաններում այս բլուկը պոկվել ու տեղաշարժվել է դեպի լիճ: Տեղանքի օդալուսանկարում հստակ երևում է սկարպի գագաթնագիծը և տեղաշարժված «a» բլուկը (նկ. 14) (Ավագյան, 2023): Տեղաշարժված բլուկի վրա առկա է երկրորդային կտրող խախտում (նկ. 14, կարմիր կետագծերով)՝ $45-60^{\circ}$ դեպի հյուսիս-արևելք տարածմամբ: Խախտման հյուսիսարևելյան կողմում դիտվում է հրաբխաբեկորային լանջի մերկացում՝ լավ արտահայտված անջատումներով, որոնց անկման հիմնական ուղղությունը հարավարևելք է՝ $N 50^{\circ} SE 90^{\circ}$, այսինքն՝ դեպի Սևանա լիճ, ինչն էլ համընկնում է «a» բլուկի տեղաշարժման, հետևապես, խախտման անկման ուղղության հետ (Ավագյան, 2023): Վերոհիշյալ սկարպից լանջնիվար՝ ձորակի երկայնքով մինչև ճանապարհային հատված (նկ. 14), ակնադիտական զննման արդյունքում լանջային

ակնհայտ առանձնացումներ և դեզինտեգրված բլուկներ չեն հայտնաբերվել, ինչը խոսում է բլուկի հարաբերական կայունության և ներկա ստատիկ վիճակի մասին:



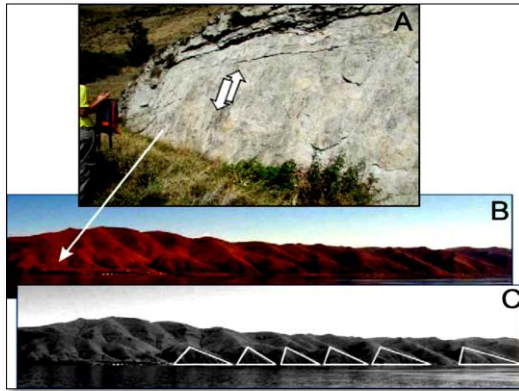
Նկար 14. Գրաբեն կառույց՝ Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափերին (Ավագյան, 2023)

Ուշադրության արժանի են միայն նկ. 14-ում տեղաշարժված «a» բլուկի հյուսիսարևելյան հատվածում փոքրիկ լրկալ խախտումները՝ պատկերված աստղանիշով: Այս դեպքում, չափազրական տվյալների համաձայն, շերտերի անջատումները նպաստավոր չեն լանջային գործընթացների համար և կրում են տեղային բնույթ (Ավագյան, 2023):

Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափերին լավ տեսանելի են խզվածքի ակտիվությամբ պայմանավորված դեֆորմացիաներ, որոնց հետևանքով ձևավորվել են եռանկյունաձև ֆասետները/ճակատները (նկ. 15B, C): Մերկացումներից մեկում լավ տեսանելի է խզվածքի հարթությունը՝ արտահայտված վարնետքային, երկրորդային խախտման խզվածքավորմամբ (նկ. 15A): Իջած բլուկը սահել է դեպի Սևանա լճի իջույթը (Ավագյան, 2019):

Նույն մորֆոստրուկտուրան դիտվում է նաև Հյուսիսային Թաիլանդի Լամպանգի ավազանում դիտարկված ռելիեֆի մորֆոտեկտոնական ձևերում, որոնք նույնպես ներառում են խզվածքների սկարպեր, եռանկյուն ֆասետներ/ճակատներ, գինու գավաթի ձորեր/wineglass canyons և գծային լեռնային կատարներ (Wiwegwin et al., 2011):

Ըստ Համբլինի (Hamblin, 1976), ուղղահայաց շարժման զուգակցումը սահմանափակ տիրույթով նորմալ խզվածքների և հովիտներում գետային հոսքի էրոզիոն գործունեությամբ՝ հանգեցնում է եռանկյունաձև ֆասետների ձևավորմանը:

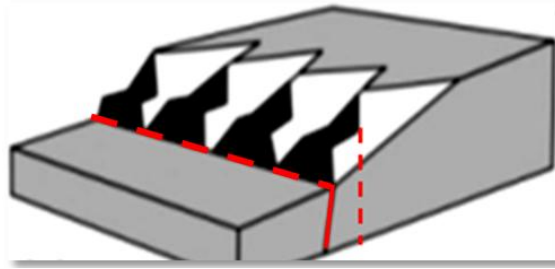


Նկար 15. Արեգունու լեռների հարավային լանջերին դիտարկված A-վարնետրային խզվածքի հարթություն, B և C-եռանկյունաձև ֆասետներ (Ավագյան, 2019)

Վերջիններս գրեթե հարթ մակերեսներ են՝ լայն հիմքերով և դեպի վեր ուղղված գագաթներով, որոնք տեղակայված են հովիտների միջև (Keller and Pinter, 1996; Wiwegwin et al., 2011): Վարնետրի երկայնքով տեղաշարժերի հաջորդականությունը կստեղծի մի շարք եռանկյուն ֆասետներ (Hamblin, 1976; Fenton et al., 2003; Wiwegwin et al., 2011): Այդպիսի առանձնահատկությունները խզվածքների էպիզոդիկ շարժման արդյունք են, որի ընթացքում ձևավորվում են ֆասետները, իսկ դարավանդները՝ աստիճանային հորիզոնական հատվածները, ձևավորվում են սեյսմիկ կայունության միջանկյալ ժամանակահատվածներում (նկ. 16):

Ըստ նկ. 16-ում ներկայացված մոդելի, եռանկյունաձև ֆասետները նախ ձևավորվում են խզվածքի սկարպով և գետային հոսքի կտրվածքով՝ առաջացնելով եռանկյուն ֆասետների առաջին զարգացող շարքը: Հաջորդ ժամանակահատվածում, սեյսմիկ անդորրի ընթացքում, զարգանում է նեղ ճակատը: Այնուհետև, նորմալ խզվածքի վրա նոր տեղաշարժը հանգեցնում է նոր խզվածքի սկարպի ձևավորմանը և գետային հոսքերը զարգանում են այս նոր սկարպի վրա: Դրանից հետո զարգանում է եռանկյուն ֆասետների երկրորդ շարքը: Նմանատիպ իրադարձությունների հաջորդականությունը հանգեցնում է եռանկյուն ֆասետների մի քանի խմբերի

ձևավորմանը (նկ. 16), ինչն էլ դիտվում է Արեգունու լեռների հարավային լանջերին դիտարկված վարնետոքային հարթության երկայնքով (նկ. 15):

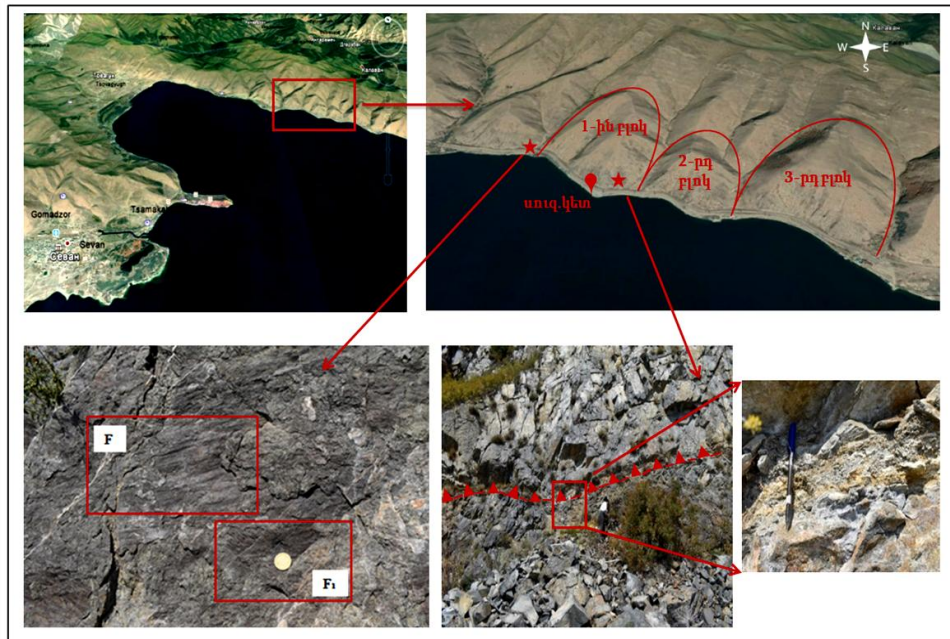


Նկար 16. Ուղղահայաց տեկտոնական շարժման արդյունքում ձևավորված մի շարք եռանկյուն ֆասետների/ճակատների զարգացում, կարմիր կետագծերով նշված են խզվածքները (փոփոխված՝ ըստ Hamblin, 1976; Wiwegwin et al., 2011)

Եռանկյուն ֆասետների ձևավորմանը նպաստող պայմաններից կարող է լինել կողային կամ դիֆերենցիալ էրոզիան, որն ազդում է կայուն և անկայուն ապարների լիթոլոգիական սահմանի վրա: Wineglass/Գինու գավաթի ձորերի առկայությունը ցույց է տալիս սկարպի հիմքում գտնվող ֆասետի կտրուկությունը, որն էլ իր հերթին ենթադրում է, որ տարածքն այժմ ենթարկվում է նորացված կամ աճող ուղղահայաց տեղաշարժի: Իսկ բլրկի արագ իջեցումը հանգեցնում է գինու գավաթի ձորում նեղ անցքի ձևավորմանը (Wiwegwin et al., 2011): Այս համատեքստում, սուզորդական կայանի մոտ՝ որտեղ բաթիմետրիկ տվյալներն ամենախորն են, առավել մանրակրկիտ ուսումնասիրության համար առանձնացրել ենք 30-45° զգալի լանջային թեքություն ունեցող երեք բլրկ՝ բլրկ 1, 2, 3 (նկ. 17):

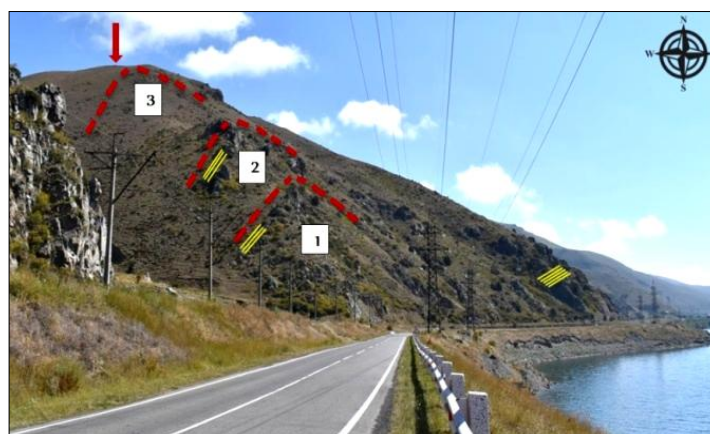
Ակնադիտական զննման ընթացքում 1-ին բլրկի հիմքի աջ և ձախ մասերում՝ ճանապարհի եզրին, արձանագրել ենք խախտումներ: Բլրկի ձախ մասում առկա է աջակողմյան կողաշարժ (նկ. 17)՝ նորմալ բաղադրիչով, առաջնային և երկրորդային խզվածքավորումներով՝ F_1 N 50° 76° SE 20° SE, ինչը նպաստում է ուղղահայաց տեկտոնական շարժման արդյունքում ձևավորված մի շարք եռանկյուն ֆասետների զարգացմանը: Բլրկի աջ հատվածում (GPS 40.6061, 45.0663) հայտնաբերել ենք երկրորդային վերնետոքային խախտում, N 120° NE 34-40° հարթությամբ (նկ. 17): Առանձնացված 2-րդ բլրկի տեղամասում (նկ. 18) դիտվում են 1, 2, 3 ենթադրյալ պոկված բլրկներ, որտեղ տեսնում ենք տարբեր անկումներով շերտայնություն,

մասնավորապես, բլրկի աջ հատվածում, որը կտրուկ տարբերվում է 1-ին և 2-րդ բլրկների շերտայնությունից:



Նկար 17. Առանձնացված երեք բլրկները Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափին, աստղանիշերով պատկերված են հիմնական խախտումը և երկրորդային վերնետքը (Ավագյան, 2023)

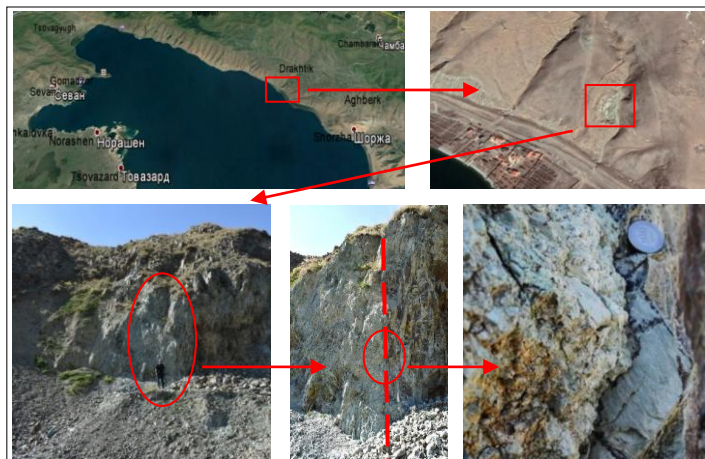
Հետևաբար, եթե նույն լանջում ունենք տարբեր անկումներով շերտայնություն, ապա դա արդեն վկայում է տեղաշարժի մասին, հատկապես, եթե 1-ին և 2-րդ ենթաբլրկների թիկունքում նկատելի են տեղաշարժված փոսորակ հատվածներ:



Նկար 18. 2-րդ բլրկի մորֆոստրուկտուրան: 1-ը, 2-ը և 3-ը ենթադրյալ պոկված բլրկներն են, շերտայնությունը պատկերված է դեղին գծանշումներով, թիկունքի կարը ցույց է տրված կարմիր սլաքով (Ավագյան, 2023)

2.2.5. Դրախտիկ գյուղի մերձակայք

Այս տեղամասը գտնվում է դեռևս Կարախանյանի կողմից ենթադրվող պալեոսողանքի թիկունքային մասում (Karakhanyan et al., 2016): Սողանքային գլխավոր սկարպի լայնությունը հասնում է 5կմ-ի, որը, որպես մեծածավալ իրադարձություն, հնարավոր է հարուցված լինի երկրաշարժով: Վերոհիշյալ պալեոսողանքից մոտ 50մ ավելի հյուսիս արձանագրել ենք շերտայնության ու անջատումների բավական հետաքրքիր մի տեղամաս, որտեղ թեև շերտայնությունը նպաստավոր չէ սողանքառաջացման համար, սակայն անջատումների անկումները գրեթե ուղղահայաց են շերտերին և ուղղված են դեպի արևմուտք՝ $S_0 (2) N 30^\circ$: Այստեղ դիտարկված խախտման գոտին գրեթե ուղղաձիգ է՝ $N 118^\circ 88^\circ SW$, որտեղ արձանագրել ենք նաև կոյուվիալ սեպ, ինչն էլ խոսում է խախտման մասին՝ այս դեպքում գրեթե ուղղաձիգ (նկ. 19): Սովորաբար, կոյուվիան անկյունային ապարների բեկորների և մանրահատիկ նյութի չամրացված, տարասեռ, վատ տեսակավորված խառնուրդ է, որոնք տեղակայվում են անձրևաջրերից լվացման, կամ լանջնիվար դանդաղ շարունակական անկման արդյունքում, սովորաբար հավաքվելով լանջերի հիմքում:



Նկար 19. Պալեոսողանքի թիկունքային հատվածում հայտնաբերված խախտում (Ավագյան, 2023)

2.3. 2D-երկչափ թվային մոդելավորման աշխատանքի մեթոդիկան

Լանջերի կայունության որոշման, երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության բացահայտման և տարասեռ նյութերի մեխանիկական վարքագիծը

ճշգրիտ բնութագրելու համար կիրառվել է ժամանակակից UDEC 6 (The Universal Distinct Element Code 2019) Դիսկրետ Տարրերի Մեթոդը (DEM-Distinct Element Method)՝ ինտեգրված Itasca UDEC մոդելավորման ծրագրաշարում: Այս ծրագիրը 2D-երկչափ տարբերակիչ տարրերի ծրագիր է, որը հնարավորություն է տալիս աշխարհագրական, երկրաբանական, ֆիզիկամեխանիկական տվյալների հիման վրա ստեղծել և վերլուծել տեղանքի բարդ և բազմապրոֆիլ մոդելներ: Ուսումնասիրությունը կենտրոնացել է Սևանա լճի ավազանի ամենազառիթափ լանջային տեղմասի վրա: Արեգունու լեռների հարավային հատվածում մեր կողմից առանձնացված 3-րդ բլոկի տեղամասում (նկ. 17) իրականացվել է ստատիկ (գրավիտացիոն) և դինամիկ (սեյսմիկ) մոդելավորում:

Դիսկրետ Տարրերի Մեթոդը, որն իսկզբանե մշակվել է Քանդալի կողմից (Cundall, 1971) ժայռերի մեխանիկայի վերլուծության համար, արդյունավետ կերպով մշակում է դիսկրետ տարրեր կամ բլոկներ, որոնցից յուրաքանչյուրն ունի յուրահատուկ առաձգական հատկություններ և շերտերի հստակ սահմաններ:

Մեր ուսումնասիրության մեջ UDEC ծրագրակազմը, որը միավորում է DEM-ը և վերջավոր տարբերակիչ տարրերի (FD-finite difference) մեթոդը, վճռորոշ դեր է խաղացել 2D-երկչափ թվային փորձարկումների իրականացման գործում: Այս ինտեգրումը հատկապես արդյունավետ է, քանի որ թույլ է տալիս ճշգրիտ որոշել նյութի դեֆորմացիան դիսկրետ բլոկների ներսում՝ ավելացնելով մոդելավորման ճշգրտությունը՝ համեմատած այնպիսի մեթոդների հետ, ինչպիսիք են 3D-եռաչափ ինտերպոլացիայի ալգորիթմները: Չնայած, այս մեթոդը օգտակար է տարածական տվյալների ինտերպոլացիայի համար, այն միայն մասամբ է հաշվի առնում մեխանիկական վարքագծի և երկրաբանական նյութին բնորոշ տարասեռությունների բարդ փոխազդեցությունը (Hakimov et al., 2024): Սակայն, ըստ Բաթի և Ուիլսոնի (Bathe & Wilson, 1976), Ռեյլեյի (Rayleigh) մարման սխեմայի կիրառումը թույլ է տալիս կատարել էներգիայի ցրման մեխանիզմների ճշգրիտ հաշվարկ՝ մոդելի սահմանների երկայնքով պահպանելով ազատ դաշտի պայմանները: Այս մեթոդաբանական ընտրությունն ընդգծում է UDEC-ի բարձրակարգ վիզուալիզացիոն գործիքները և նրա նշանակությունը գրունտի սեյսմիկ շարժման կանխատեսումային վերլուծության մեջ, որոնք անփոխարինելի են բարդ երկրատեխնիկական տվյալներ ներկայացնելու և

մոդելավորված մեխանիկական փոխազդեցություններից խորքային եզրակացություններ անելու համար (Hakimov et al., 2024):

2.3.1. Ստատիկ մոդել

Նախքան դինամիկ մոդելավորման գործընթացին անցնելը, յուրաքանչյուր մոդել պետք է հասնի նախնական ստատիկ հավասարակշռության (Wolter et al., 1959): Ստատիկ մոդելավորումը ներառում է մոդելի ընդհանուր կառուցվածքի, պարամետրերի, հեղուկի հոսքի և սահմանային պայմանների որոշումը (ստատիկ և դինամիկ մոդելների համար գրունտային ջրերի մակարդակի արժեքները այս ուսումնասիրության մեջ հաշվի չեն առնվել, բացառությամբ հաջորդիվ քննարկվող պարամետրիկ մոդելների):

Մոդելի ընդհանուր կառուցվածքը բաղկացած է եռանկյունաձև գոտիներից՝ 2D-երկչափ հարթության վրա (Itasca Consulting Group, 2006): Ներմուծվել է մոդելավորվող երկրաբանական շերտը՝ համապատասխան ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերով (աղյ. 1): Շերտը հատող կառուցվածքային տարրերը՝ խզվածքներ, շերտային անջատումներ, նույնպես հաշվի են առնվել:

Ստատիկ մոդելը վերջնական տեսքի բերելու համար ֆիքսվել են սահմանային պայմանները: Տեղաշարժի սահմանները որոշվել են x և y առանցքների երկայնքով՝ դեֆորմացված բլոկների արագությունները սահմանափակելով՝ կանխելով տեղաշարժը մոդելի հիմքում և կողային հատվածներում: Բացի այդ, ստեղծվել է մակերևութային դինամիկ ազատ դաշտ՝ սեյսմիկ ալիքների տարածումը մոդելի սահմանների երկայնքով ապահովելու համար, ինչը հեշտացնում է ուղղահայաց կտրող ալիքի ազդանշանի փոխանցումը: Հաշվարկման գոտում սահմանվել է նաև վերջավոր տարրերի հանգույցների քանակը:

Այսպիսով, ստատիկ մոդելները բնութագրվում են իրենց չափերով, հատկություններով և սահմանային պայմաններով: Մոդելի կայունացման համար կիրառվել է Ռեյլեյի (Rayleigh) մարման սխեմայի գործակիցը, որը կլանում է վիբրացիոն էներգիան: Մեխանիկական հաշվարկները շարունակվում են մինչև մոդելի ստատիկ

պայմանների ձեռք բերումը: Վերջիններս ցույց են տալիս անհավասարակշիռ և կիրառվող մեխանիկական ուժերի հարաբերակցությունը՝ համապատասխան սահմանված արժեքին հասնելու դեպքում (մեր դեպքում՝ 1×10^{-6}):

2.3.2. Դինամիկ մոդել

Մոդելի կայունացմանն ուղղված ստատիկ մոդելավորման ավարտից հետո հաջորդում է մոդելավորման դինամիկ փուլը: Այս փուլն իրականացվում է արհեստական ալիքային ազդանշան ուղարկելով մոդելի հիմքից: Մոդելի տարբեր տարրերի ծանրաբեռնվածության դինամիկ արձագանքը վերլուծվում է՝ ուսումնասիրելով ալիքների տարածման ուղիները և բլոկների առավելագույն տեղաշարժերը, մեր դեպքում մեկ՝ բազալտային անդեզիտի շերտում:

Սկզբում մոդելի տիրույթում սահմանվել են դինամիկ սահմանային պայմանները ալիքի օպտիմալ տարածումն ապահովելու համար: Դինամիկ սահմանային պայմանները հաստատելուց հետո մոդելը ենթարկվել է դինամիկ բեռնման՝ սեյսմիկ ազդանշանի կողմից: Մենք կիրառել ենք 1976թ.-ի Ֆրիուլիի Mw 6.5 երկրաշարժի ազդանշանը ($d=23$ կմ, $g=0.35$) և Ռիկերի 3.5<g ալիքաչափի ֆունկցիան (Ricker, 1953): Վերջինս սահմանվում է երկու հիմնական հաճախականությամբ՝ 1.4<g և 3.5<g: Այս կոնկրետ ալիքաչափի ֆունկցիան հաճախ օգտագործվում է ինժեներային սեյսմաբանության մեջ, քանի որ այն ճշգրտորեն արտահայտում է սեյսմիկ տվյալների սպեկտրային կազմը՝ ժամանակի տիրույթում (Gholamy and Krienovich, 2014):

Ռիկերի ալիքաչափի ֆունկցիան, որը ներկայացվել է Ռիկերի կողմից (Ricker, 1953), բնութագրվում է հետևյալ հավասարմամբ՝

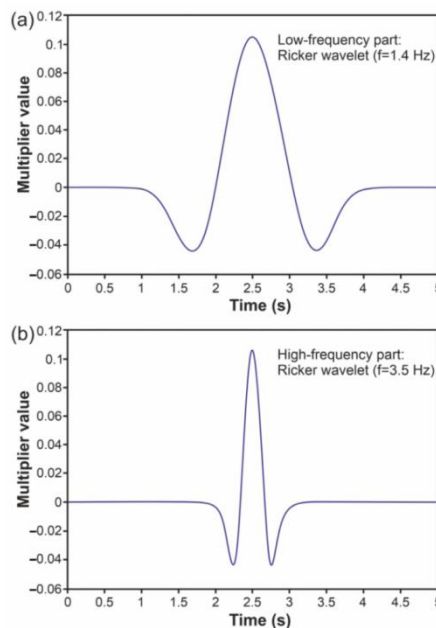
$$A=(1-2\pi^2f^2t^2)e^{-\pi^2f^2t^2} \quad (1)$$

որտեղ A-ն ամպլիտուդն է, f-ը՝ (<g) կենտրոնական հաճախականությունը (1.4 կամ 3.5<g), t-ն՝ (վրկ) դինամիկ ժամանակը: 20-րդ նկարը ցույց է տալիս Ռիկերի ալիքաչափի ձևերը (իրենց յուրահատուկ ձևի շնորհիվ հայտնի են նաև «Մեքսիկական

գլխարկ» անունով): Ալիքները տարածվում են մոդելի հիմքից՝ ամբողջությամբ անցնելով y -առանցքի երկայնքով:

Դինամիկ մոդելավորումը թույլ է տալիս ընդգրկել բոլոր երկրորդական սեյսմիկ իրադարձությունները: Սա հատկապես կարևոր է երկրաբանական պայմանների և տեղանքի համակցված ազդեցությունները մոդելավորելու համար, քանի որ այդ երկրորդական ազդեցությունները կարող են առաջանալ ժամանակի ընթացքում:

Մոդելավորման արդյունքները ստանալու համար մոդելի պարագծի երկայնքով տեղադրվել են 198 սինթետիկ ընդունիչներ՝ «history points»-ներ: Այս «history points»-ները ժամանակի ընթացքում հետևում են մի շարք պարամետրերի, ինչպիսիք են տեղաշարժը, արագությունն ու արագացումը՝ x և y ուղղություններով: Դրանք մոդելավորման գործընթացում շարունակաբար գրանցում են սինթետիկ ազդանշաններն ինչպես մոդելի հիմքում, այնպես էլ՝ դրա ներսում և մակերեսին:



Նկար 20. a. 1.4Հց և b. 3.5Հց կենտրոնական հաճախականությունների Ռիկերի ալիքաչափեր (Hakimov et al., 2024)

Մոդելի հանգուցային զոնաները դինամիկ սիմուլյացիաների առանցքային կետերն են, որտեղ դրանց չափերը ազդում են հաշվարկների արագության և բարձր հաճախականության սեյսմիկ ազդանշանների փոխանցման վրա: Խոշոր հանգուցային

զոնաները արագացնում են հաշվարկները, բայց ավելի քիչ արդյունավետ են բարձր հաճախականությունների փոխանցելու համար, ի տարբերություն փոքր զոնաների:

Հանգուցային գոտու իդեալական չափը՝ (Δl)-ը, որը հավասարակշռում է ազդանշանի արագությունն ու արդյունավետությունը, պետք է լինի մուտքային կտրող ալիքի ամենաբարձր հաճախականության ալիքաչափի (λ) մոտավորապես մեկ-տասներորդ մասը (Kuhlemeyer & Lysmer, 1973)՝ համաձայն հավասարման.

$$\Delta l \leq \lambda / 10 \quad (2)$$

Սովորաբար, մոդելի ստորին հատվածներում սեյսմիկ էներգիայի հաշվարկները արագացնելու համար օգտագործվում են ավելի մեծ հանգուցային զոնաներ: Հանգուցյան ճշգրիտ դասավորվածությունը հարակից զոնաների միջև կարևոր է արհեստական անդրադարձումներից խուսափելու համար, հատկապես տարբեր չափերի հանգուցային զոնաներ ունեցող մոդելների դեպքում (Hakimov et al., 2024):

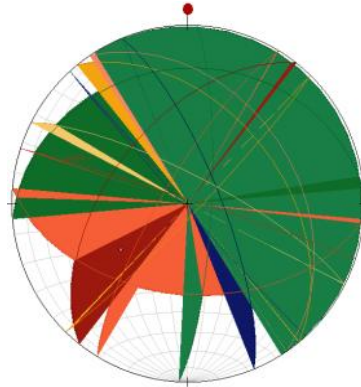
2.3.3. 2D-երկչափ թվային մոդելների մշակում

(աշխատանքի սույն հատվածի թվային մոդելավորումներն իրականացվել են Բելգիայի Լիեժի համալսարանի «Գեոդիսկ և շրջակա միջավայր» լաբորատորիայի դոկտոր՝ Հանս-Բալդեր Հավենիթի համադրականությամբ)

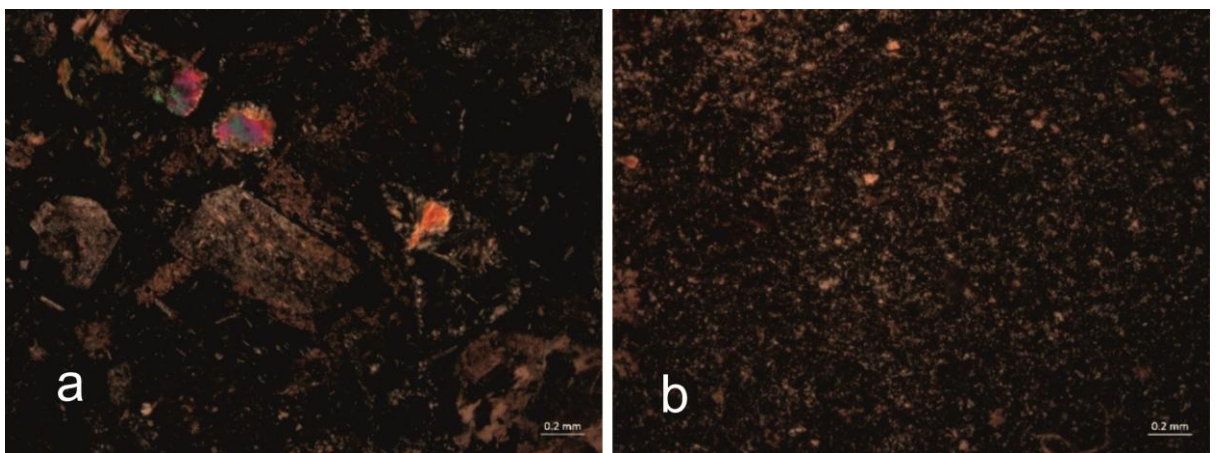
Տեղանքի պրոֆիլի ստացման համար (3-րդ բլոկ, նկ. 17) օգտագործվել է թվային բարձրությունների մոդել՝ 27մ լուծաչափով (DEM-Digital Elevation Model): Իրականացվել են կառուցվածքային տարրերի՝ խզվածքի, սեգմենտների և շերտերի անջատումների դաշտային փաստագրման (նկ. 21) ու քարտեզագրման աշխատանքներ, որի արդյունքում ընտրվել է ՓՍՍ խզվածքի ու սեգմենտների՝ F 80° NE, իսկ անջատումների համար 2 հիմնական ուղղություն՝ joint-1 88° SW, joint-2 42° NE: Դեպի Սևանա լիճ անկող անջատումների 88° SW բաշխվածությունը մոդելում հաշվարկվել է կրկնակի խտությամբ՝ դաշտային իրադրությանը հնարավորինս համապատասխան:

Իրականացվել է ապարների ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերի որոշում (մանրամասն տե՛ս «Ուսումնասիրության մեթոդները» բաժնում)։

1. դաշտում՝ կիրառվել է Շմիդտի մուրճ /Schmidt Rebound Value/՝ ապարների առաձգականության ետդարձի ուժի (R) որոշման համար,
2. լաբորատոր պայմաններում՝ կատարվել է նմուշների ֆիզիկամեխանիկական անանալիզ:



Նկար 21. Առանձնացված 3-րդ բլոկի հատվածում անջատումների անկման ուղղությունները Շմիդտի գնդի վրա (Ավագյան, 2023)

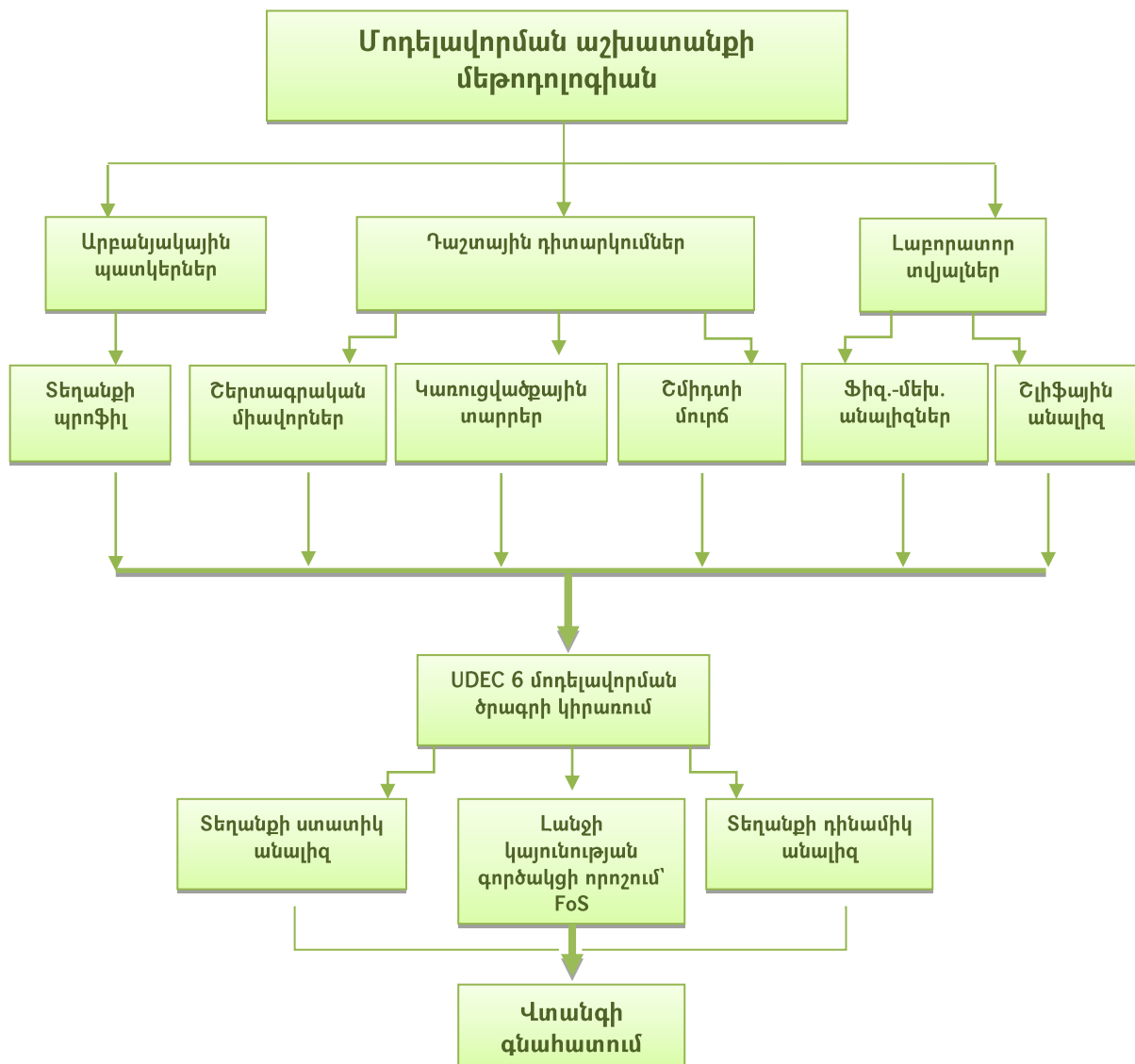


Նկար 22. a. Պորֆիրիտային տեքստուրայով անդեզիտային լավա, b. հիդրոթերմալ փոփոխության ենթարկված պլագիոկլազային դաշտային սպաթներ (<< ԳԱԱ ԵԳԻ, Լիթոլոգիայի և ռեգիոնալ երկրաբանության լաբորատորիա, նկարները տրամադրվել են Լ. Սահակյանի կողմից)

Տարածքը հիմնականում բնութագրվում է պալեոգենի անդեզիտային լավային հոսքերով, տեղ-տեղ դեղնավուն երանգավորմամբ, ինչը հուշում է տվյալ ապարի հողմնահարման ու փոփոխման մասին (Ավագյան, 2023): Պորֆիրիտային տեքստուրայով անդեզիտային լավաների ֆենոկրիստալները ներկայացված են

պլագիոկլազով և պիրոքսենով (նկ. 22): Պլագիոկլազը գերակշիռ ֆենոկրիստալն է: Մագնետիտի բյուրեղները առաջանում են որպես առաջնային միներալներ անդեզիտներում և հանդիպում են ինչպես ֆենոկրիստալների, այնպես էլ հիմնական զանգվածների մեջ (նկ. 22a): Ապարն ունի ապակե հոլոհիալինային տեքստուրա: Առկա են մի քանի մանր բյուրեղներ (միկրոլիտներ): Ապարի վրա սերիցիտացումը տեսանելի է: Պլագիոկլազային դաշտային սպաթները, ամենայն հավանականությամբ, ենթարկվել են հիդրոթերմալ փոփոխության (Ավագյան, 2023):

Սխեմա 1. Մոդելավորման աշխատանքի սխեման (Ավագյան, 2023)



Այսպիսով, հավաքագրված դաշտային տվյալների, իրականացված լաբորատոր վերլուծությունների և ֆիզիկամեխանիկական հաշվարկների հիման վրա կատարվել է

Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում՝ մեր կողմից առանձնացված 3-րդ բլոկի հատվածում: Մոդելավորման աշխատանքի սխեման պատկերված է սխեմա 1-ում: Մոդելում օգտագործվել են երկրաբանական նյութի և անջատումների հատկությունները բնութագրող գեոտեխնիկական/ֆիզիկամեխանիկական պարամետրեր, ներառյալ նյութի չոր խտությունը (γ), միառանցք սեղմման դիմադրության (σ_{ci}), Պաուսոնի գործակցի (ν), Յունգի մոդուլի (E), ծավալի մոդուլի (K), կտրման կամ կոշտության մոդուլի (G), երկրաբանական ուժի ինդեքսի (GSI), անջատումների նորմալ և կտրման կոշտությունների (k_n , k_s), նյութի և անջատումների համակցվածության/կոհեզիոն (c , $j-c$) ուժերը (աղյ. 1):

Աղյուսակ 1. Մոդելավորման մեջ օգտագործված գեոտեխնիկական տվյալներ (Ավագյան, 2023)

Rockmass parameters	Values	Rockmass-soil interface (joint) parameters	Values
¹ Density, γ (kg/m ³)	2700	⁴ Normal Stiffness, j_{kn} (MPa/m)	1E4
¹ Uniaxial Compressive Strength, σ_{ci} (MPa)	167.75	Shear Stiffness, j_{ks} (kn/10)	1E3
² Poisson's Ratio (ν)	0.32	⁵ Cohesion, c (MPa)	66.2
² Young's Modulus, E (MPa)	3.49E4	^{5j} -Cohesion, c (MPa)	0.1
² Bulk Modulus, K (MPa)	3.231E4	⁶ Friction angle, \emptyset	31
² Shear Modulus, G (MPa)	1.322E4	^{6j} -Friction angle, \emptyset	35
³ GSI	58	⁷ Schmidt Hammer Rebound (SHR) values	5.2
m_b	1.8594	¹ Laboratory based ² Based on UDEC v.6 (2019). ³ Based on Hoek and Brown (1997) and field observation. ⁴ It was inferred from from the empirical equations of Barton (1972), Hoek and Diederichs (2006), Empirical equation of Barton and Bandis, (1982). ⁵ Based on UDEC v.6 (2019). ⁶ Based on Barton and Choubey (1977). ⁷ Based on fieldobservation	
s	2.08E-3		
a	0.5042		
³ D	0.7		

2.4. 2D-երկչափ ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման արդյունքներ

Այսպիսով, Սևանա լճի ավազանում Արեգունու լեռների հարավային ամենագառիթափ լանջերի համար ստատիկ պայմաններում որոշվել է լանջի կայունության գործակիցը, մինչդեռ դինամիկ պայմաններում գնահատվել է լանջի պոտենցիալ տեղաշարժը և որոշվել արագացման արժեքները: Էլաստո-պլաստիկ պայմաններում ապարազանգվածի համար համապատասխանաբար օգտագործվել են Հուկ-Բրաունի փոփոխված (Hoek et al., 2002) և Մոր-Կուլոնի պլաստիկության չափանիշները (Coulomb, 1776; Mohr, 1914), որոնցով ստացված արդյունքները ներկայացված են Աղյուսակ 1-ում (Հավելված 1-3-ում ներկայացված են այն բոլոր արտահայտություններն ու ծրագրային կոդը, որն օգտագործվել է սույն մոդելավորման աշխատանքների համար):

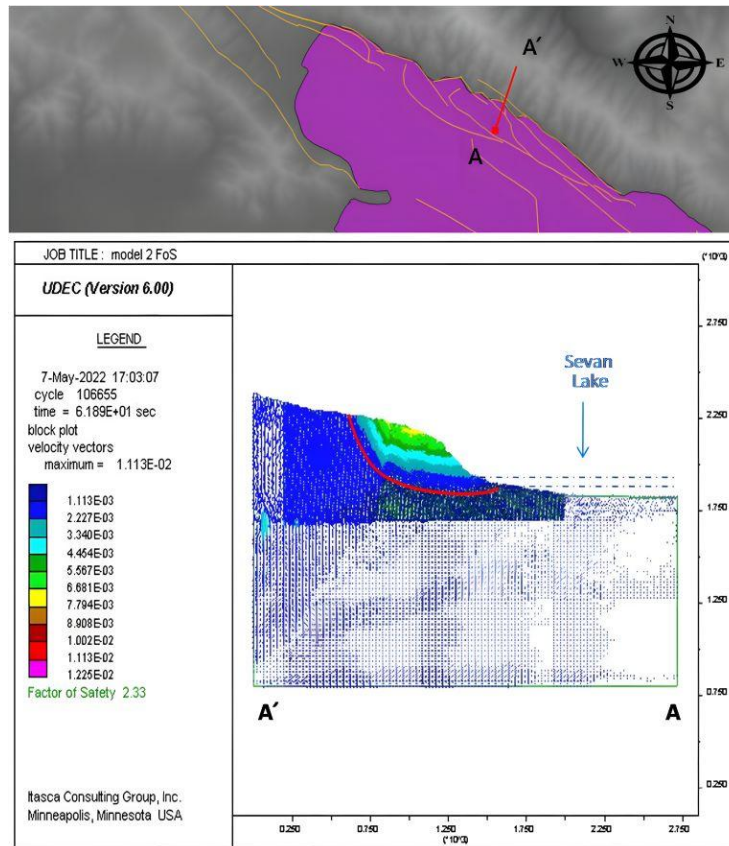
Առհասարակ, վերլուծական դետերմինիստական մեթոդներում մեծ նշանակություն ունի լանջի կայունության գործակցի որոշումը՝ FoS (Factor of Safety), որն արտահայտվում է որպես դիմադրող և խափանող ուժերի հարաբերակցություն (Kar and Roy, 2022): Ընդհանրապես, որպես կայուն լանջի նվազագույն գործակից ընդունված է $FoS=1$ արժեքը, որը որոշվում է լանջի ծանրաբեռնվածության փաստացի կրողունակության և այդ ծանրաբեռնվածության համար պահանջվող կրողունակության ուժերի հարաբերակցությամբ (3) (Kar and Roy, 2022; Ավագյան, 2023):

Համաձայն այս սահմանման, $FoS=1$ կայունության գործակից ունեցող կառույցը կդիմանա միայն նախագծային բեռին և ոչ ավելին: Հետևաբար, ցանկացած լրացուցիչ ծանրաբեռնվածություն կհանգեցնի կառույցի ձևախախտմանը (Ավագյան, 2023):

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{Actual Capacity}}{\text{Demand}} \quad (3)$$

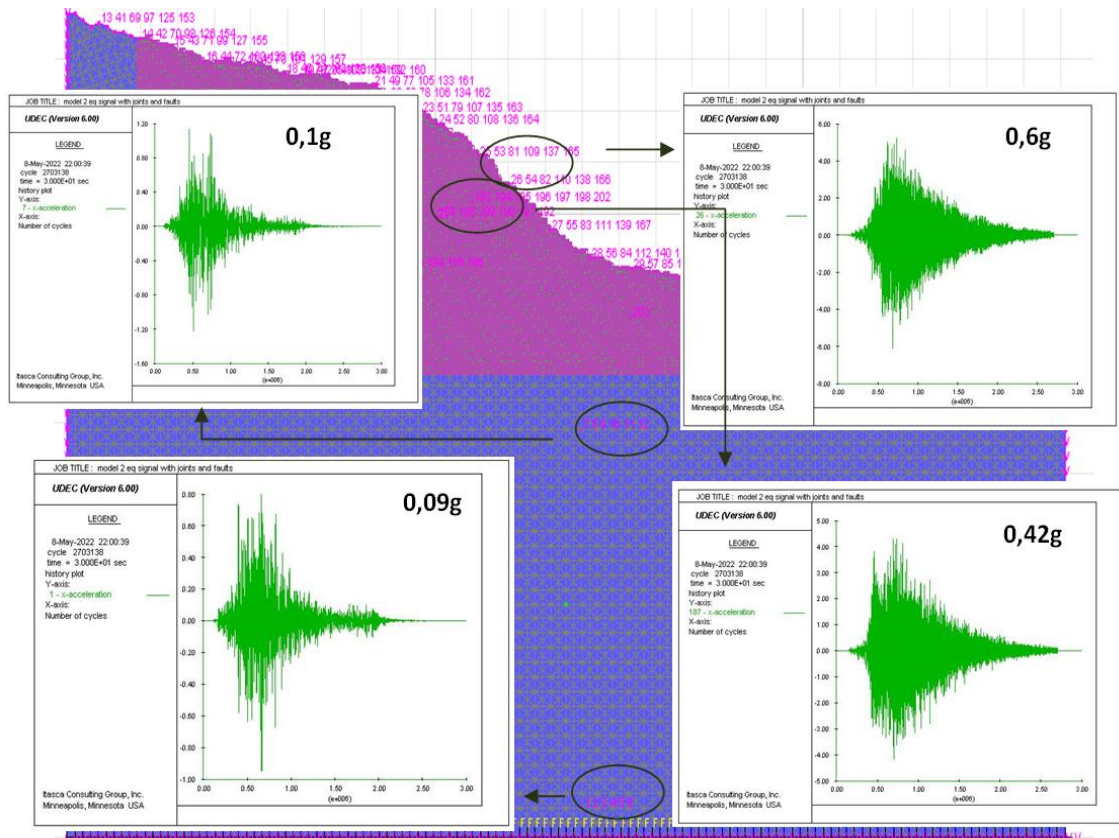
Այսպիսով, ստատիկ պայմաններում կատարել ենք Արեգունու լեռների հարավային լանջերին առանձնացված 3-րդ բլրկի կայունության գործակցի որոշում (նկ. 23, տեղադրությունը տե՛ս նկ. 17-ում), որտեղ լավ տեսանելի է նաև լանջի հնարավոր սահքի մակերեսը (Ավագյան, 2023): Կայունության գործակցի արժեքը (FoS) որոշվել է

որպես 2.33, ինչը նշանակում է, որ լանջը ստատիկ պայմաններում բավական կայուն է՝ $2.33 > 1$: Սա բացատրվում է, մասնավորապես, տեղանքը բնութագրող բազալտաանդեզիտային կազմի լավաների ֆիզիկամեխանիկական բարձր հատկություններով:



Նկար 23. Ստատիկ մոդելավորում Արեգունու հարավային լանջերին առանձնացված 3-րդ բլոկում՝ լանջի 2.33 կայունության գործակցով, հնարավոր սահքի մակերեսով՝ նշված հոծ կարմիր գծով: AA՝ -ով նշված է մոդելավորված լանջի պրոֆիլ կտրվածքը (Ավագյան, 2023)

Դինամիկ վերլուծության համար օգտագործվել է 1976 թվականի Ֆրիուլիի երկրաշարժի ազդանշանային գրառումը (1976թ. Ֆրիուլի, Իտալիա Mw 6.5), որի դեպքում ստացել ենք արագացման $\geq 0.8g$ արժեք՝ լանջի ամենազառիթափ հատվածներից մեկում (նկ. 24) և ~ 0.6 մ առավելագույն տեղաշարժ (նկ. 25a): Նկար 24-ում պատկերված են արագացման արժեքները չորս կետերում՝ հիմքում, բլոկի խորքում, խզվածքի սեգմենտի վրա՝ բլոկի ներսում և լանջի զառիթափ հատվածներից մեկում: Սեյսմիկ ազդանշանը տարածվում է բլոկի հիմքից՝ տարածվելով ամբողջ բլոկի ծավալով:

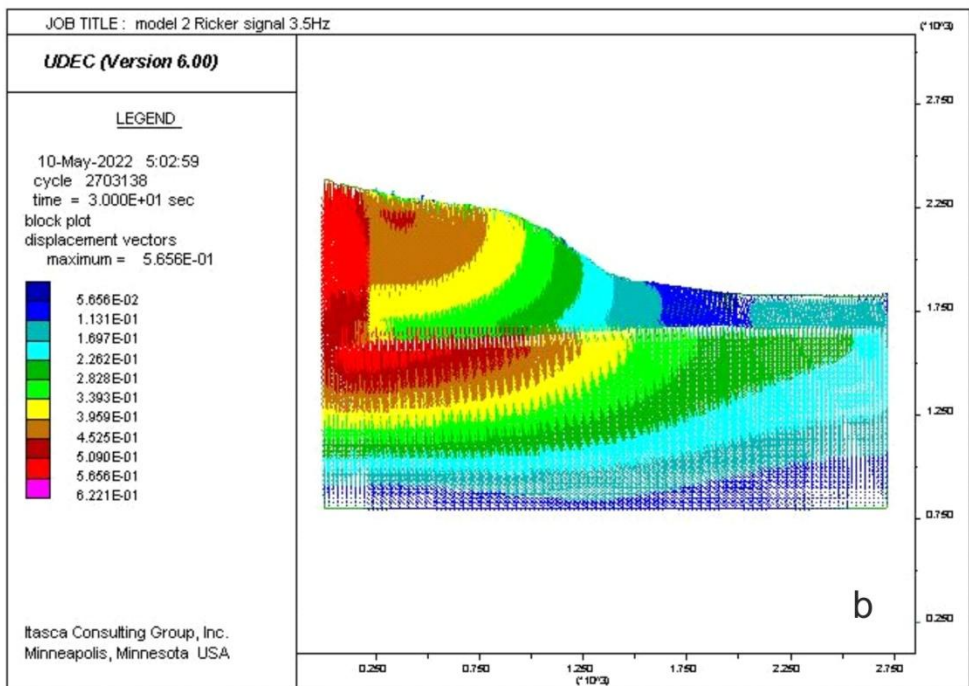
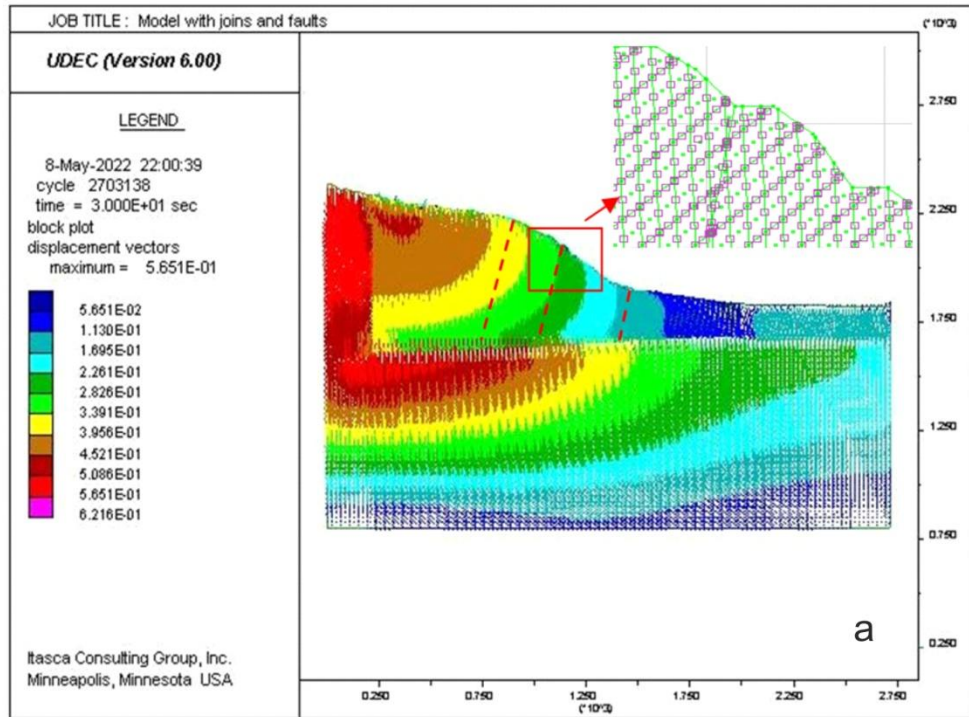


Նկար 24. Արագացման արժեքները Արեգունու հարավային լանջերին առանձնացված 3-րդ բլոկում՝ Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում (Ավագյան, 2023)

3.5<g հաճախականության Ռիկերի ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կիրառման արդյունքում ստացված բլոկի տեղաշարժը և արագացման արժեքները ներկայացված են, համապատասխանաբար, նկ. 25b-ում և նկ. 26-ում: Ստացված տեղաշարժը համընկնում է Ֆրիուլիի Mw 6.5 ազդանշանի կիրառման դեպքում ստացված արդյունքին՝ մինչդեռ արագացման արժեքները բլոկի համեմատական նույն կետերում ավելի ցածր են:

Կատարել ենք նաև պարամետրիկ երեք անալիզ (նկ. 27): Ընդհնաուր առմամբ, պարամետրիկ անալիզներն իրենցից ներկայացնում են սիմուլյացիոն փորձարարական մոտեցումներ՝ նոր կառուցվածքային տարրերի ներմուծմամբ, հեռացմամբ, պարամետրերի բարձր կամ ցածր արժեքների կիրառմամբ:

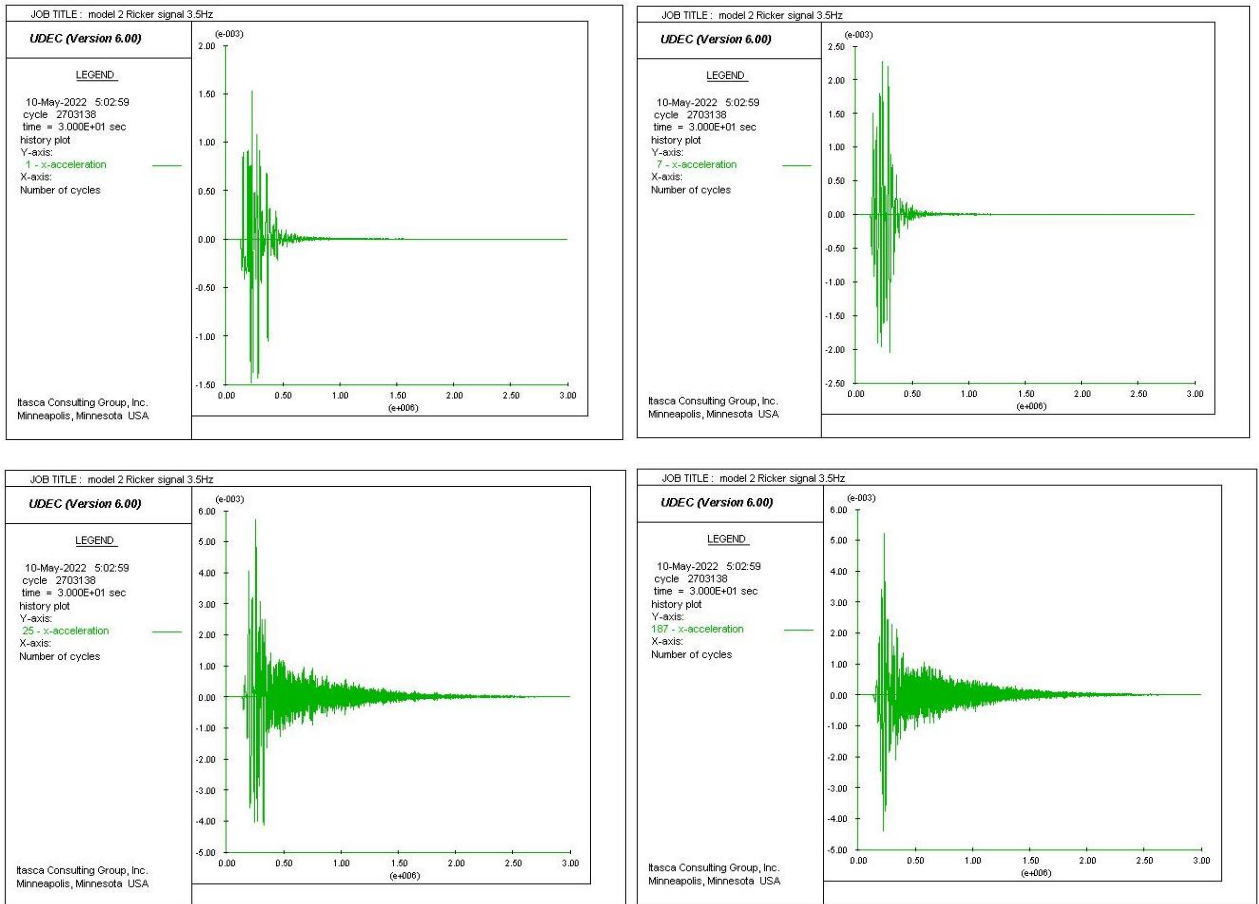
Առաջին պարամետրիկ անալիզը կատարվել է ստատիկ պայմաններում՝ լանջի կայունության գործակիցը նույն բլոկում՝ որոշ պարամետրերի թուլացման դեպքում ստուգելու համար (նկ. 27a): Վերջինիս համար հիմք է հանդիսացել առաջին մոդելում ստացված հնարավոր սահքի մակերեսը, պատկերված հոժ կարմիր գծով (տե՛ս նկ. 23):



Նկար 25. a. Տեղաշարժի վեկտորները Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում, կարմիր կետագծերով նշված են խզվածքն ու խզվածքի սեգմենտները, b. տեղաշարժի վեկտորները՝ Ռիկերի 3.5Հց հաճախականության ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կրառման դեպքում (Ավագյան, 2023)

Կիրառվել են 1-ին մոդելի նույն պարամետրիկ արժեքները (աղյ. 1), բացառությամբ անջատումների շփման անկյան (jfriction angle) և համակցվածության արժեքների (jcohesion): Օգտագործվել են jfriction=20, jcohesion=0.01 արժեքները նախորդ՝

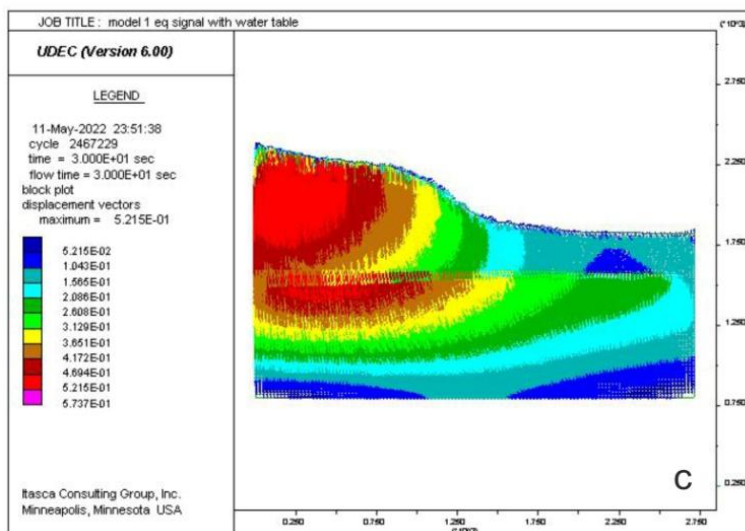
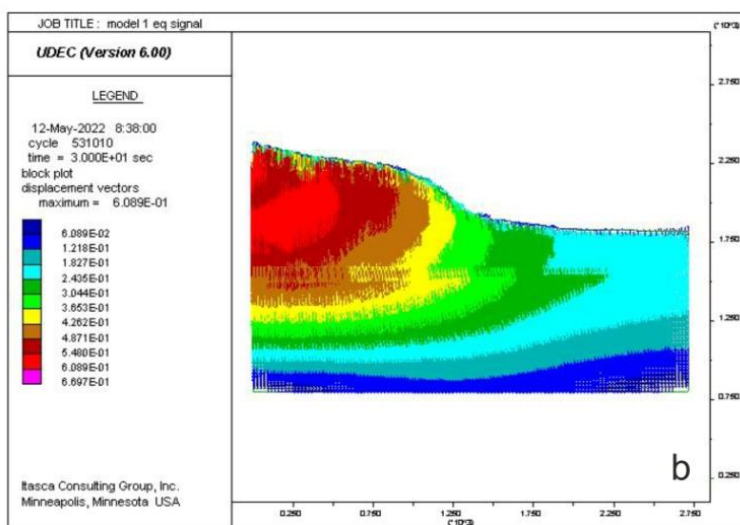
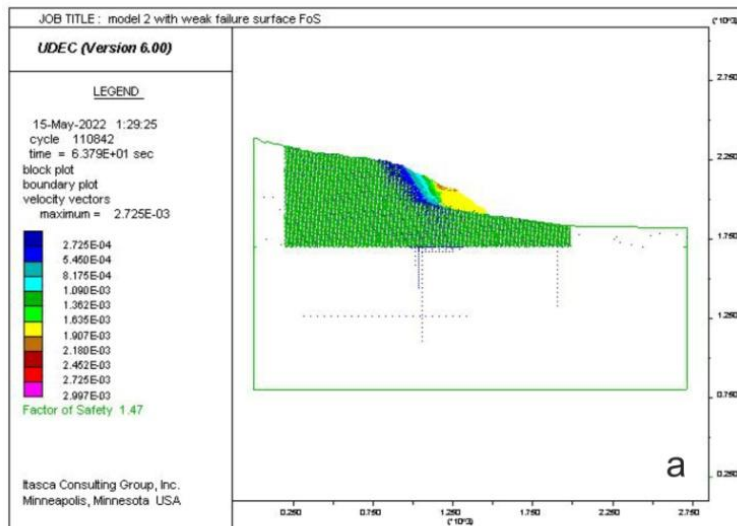
friction=35 և cohesion=0.1 արժեքների փոխարեն: Նկար 27a-ում պատկերված է սույն պարամետրիկ անալիզը՝ սահքի մակերեսի 10 անգամ թույլ համակցվածության (cohesion) արժեքով, որի դեպքում, նույնպես, լանջը ցուցաբերել է կայունություն՝ 1-ից բարձր՝ 1.47 գործակցով:



Նկար 26. Արագացման արժեքները Ռիկերի 3.5Հց հաճախականության ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կիրառման դեպքում

Պարամետրիկ հաջորդ երկու անալիզը կատարել ենք դինամիկ պայմաններում (Ֆրիուլի, Mw 6.5)՝ առանց կառուցվածքային տարրերի առկայության: Նույն բլոկը մոդելավորել ենք առանց խզվածքների ու անջատումների՝ հասկանալու համար, թե դրանց բացակայությունը դինամիկ պայմաններում ինչպես կարող է ազդել բլոկի տեղաշարժի վրա՝ մի դեպքում գրունտային ջրերի առկայության, մյուս դեպքում՝ բացակայության պայմաններում (նկ. 27b, c):

Հարկավոր է ընդգծել, որ բավական հետաքրքիր տվյալներ են գրանցվել գրունտային ջրերի առկայությամբ և բացակայությամբ պայմանավորված:



Նկար 27. Ստատիկ մոդելավորման պարամետրիկ անալիզներ (փոփոխված ըստ՝ Ավագյան, 2023):
 a. լանջի կայունության 1.47 գործակիցը՝ սահքի մակերեսի 10 անգամ թույլ համակցվածության (cohesion) արժեքի կիրառման դեպքում, b. լանջի տեղաշարժման չափը առանց գրունտային ջրերի և կառուցվածքային տարրերի, c. նույնը՝ գրունտային ջրերի առկայությամբ

Առաջին հայացքից կարող է տրամաբանական թվալ, որ գրունտային ջրերի առկայությունը պետք է ազդեր ապարների գեոտեխնիկական հատկությունների վրա՝ մեծացնելով բլրկի ծավալն ու թուլացնելով բլրկի հավասարակշռությունը և հանգեցնելով համեմատ ավելի մեծ տեղաշարժի, քան կլիներ դրանց բացակայության պարագայում: Սակայն պատկերը լրիվ այլ է, քանի որ գրունտային ջրերի առկայության պայմաններում տեղի է ունենում սեյսմիկ ալիքների մարում (նկ. 27c):

Այսպիսով, առաջին անգամ քննարկվել են Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման արդյունքները՝ հաշվի առնելով տեղանքի լեռնային ռելիեֆը, առկա երիտասարդ ակտիվ, սեյսմածին մեծ ներուժով խզվածքները:

Ստատիկ պայմաններում որոշվել է Արեգունու լեռների հարավային հատվածում մեր կողմից առանձնացված 3-րդ բլրկի լանջի կայունության գործակիցը՝ $FoS=2.33$, իսկ դինամիկ պայմաններում՝ 6.5 մագնիտուդ ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում (1976թ. Ֆրիուլի, Իտալիա $Mw 6.5$)՝ 0.6մ առավելագույն տեղաշարժն ու արագացման առավելագույն $\geq 0.8g$ արժեքը՝ լանջի ամենազառիթափ հատվածներից մեկում: Եվ, չնայած դեպի լիճ անկող անջատումների ավելի խիտ բաշխվածությանը ($88^\circ SW$), առկա հակառակ ուղղությամբ ($42^\circ NE$) անջատումները և ՓՍՍ խզվածքն իր սեգմենտներով ($80^\circ NE$) կարծես հակակշռի դեր են կատարում ու հավասարակշռում ապարների զգալի տեղաշարժը դեպի լիճ:

**ԳԼՈՒԽ 3. ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՀԱՐԱՎԱՐԵՎՄՏՅԱՆ ՀԱՏՎԱԾԻ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ, ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՓՈԽԿԱՊԱԿՑՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

3.1. Ներբլոկային ակտիվ կառույցներ

Սևանա լճի հարավարևմտյան հատվածը բնութագրվում է ներբլոկային ակտիվ կառույցներով, որոնց շարքում քննության արժանի են հատկապես Նորատու-Քանազեղի և Գավառազետի ակտիվ խզվածքները: Այս տարածքի գլխավոր առանձնահատկություններից է նեոգեն-չորրորդական հրաբխականության և երիտասարդ խզվածքների առկայությունը (Паффенгольц, 1948; Милановский, 1952, 1968; Габриелян, 1963; Karakhanian et al., 2001, 2016; Avagyan et al., 2001, 2010, 2020; Джрбашян и др., 2002; Караханян и др., 2004; Զրբաշյան, 2013), ինչով պայմանավորված է տարածքի երկրադինամիկ ակտիվությունը՝ արտահայտված նաև երկրաշարժերով: Հայտնի են 1322թ. Mw 6.6 և 1992թ. Mw 5.4 գործիքային ժամանակահատվածի երկրաշարժերը (NorAtom, 2011; Karakhanyan et al., 2011):

Արևմուտքից՝ Գավառազետի վարնետքային բաղադրիչով և դեպի արևմուտք անկող խզվածքի հարթությամբ և արևելքից՝ Նորատու-Քանազեղի վարնետքային և դեպի արևելք անկող խզվածքի հարթությամբ կառույցները սահմանափակում են մոտ 20-25կմ հյուսիս-հարավ ձգվածությամբ և 4-7կմ լայնությամբ Գավառի տեկտոնական հորստը (նկ. 28) (Милановский, 1968; Avagyan, 2001; Avagyan et al., 2020):

3.1.1. Նորատու-Քանազեղ ակտիվ խզվածքի գոտի

Նորատու-Քանազեղ ակտիվ խզվածքային գոտին գտնվում է Գեղամա լեռների կենտրոնական հատվածի արևելյան, մեղմաթեք 5-10° լանջերին (Avagyan et al., 2020):

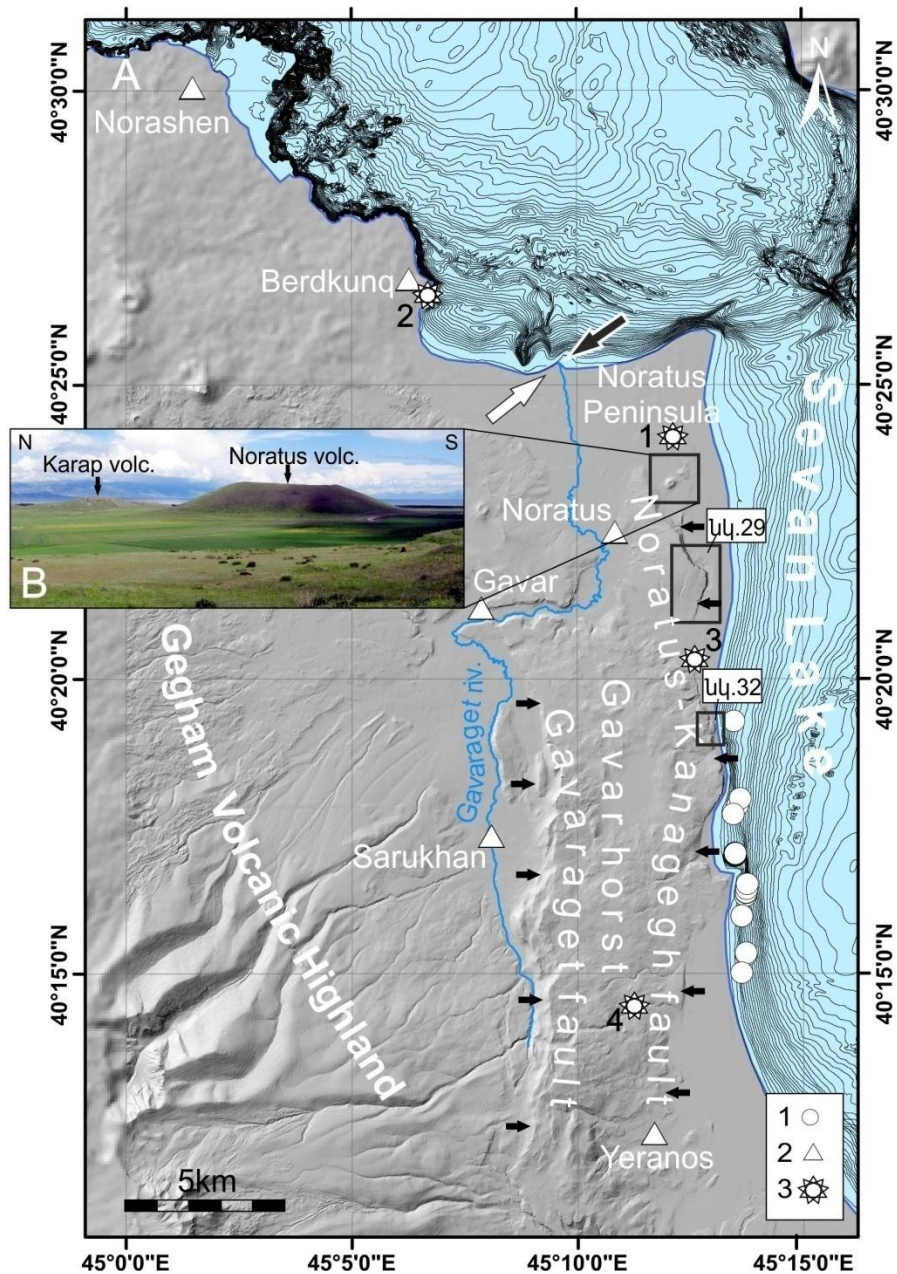
Խզվածքը հայտնի է Սարիկայա (Милановский, 1952, 1968) և Նորատու (Avagyan et al., 2010; Karakhanyan et al., 2016) անուններով:

Գավառի հորստի կինեմատիկ առանձնահատկությունները ամբողջությամբ համահունչ են Գեղամա լեռների և Սևանա լճի ավազանի հարավի համար գնահատված մոտ 2.4 ± 0.9 մ.տ⁻¹ (առանցքի ազիմուտը N 60° է) ընդարձակմանը (Davtyan, 2007; Avagyan et al., 2020):

Նորատու-Քանազեղ խզվածքի ակտիվությամբ է պայմանավորված մոտ 45 մ հզորությամբ Նորատուի (Սարիկայայի) հաստվածքի մերկացումը (նկ. 29): Այն հրաբխանստվածքային, նստվածքային, հրաբխային առաջացումների բարդ կոմպլեքս է, որի կուտակումը սկսվել է վերին միոցենից՝ հասնելով մինչև հոլոցեն (Милановский, 1953; Avagyan et al., 2020): Խզվածքի Նորատուի սեզմենտի երկայնքով պահպանվել է մոտ 650 մ երկարությամբ և 250 մ լայնությամբ տեղաշարժված բլոկ, որը նորմալ խախտմամբ տեղաշարժված է մոտ 20 մ ներքև (նկ. 29): Այդ տեղաշարժը երևում է կտրվածքի վերին մասում՝ զույգ սև խարամային շերտերի տեղաշարժմամբ (ցույց է տրված սպիտակ և սև սլաքներով), ինչը նկատել է նաև Միլանովսկին (Милановский, 1960): Ըստ Ավագյան և ուր.-ի (Avagyan et al., 2020), իջած բլոկի շերտերի անկումները ակնհայտորեն ավելի մեծ են. ստորին բլոկում նրանք մոտ են հորիզոնականին, մինչդեռ վերին բլոկում դրանք կազմում են 11-18° W: Այս հանգամանքը ցույց է տալիս, որ խզվածքն ունի լիստրիկ բնույթ (Ավագյան և ուր., 2017; Avagyan et al., 2020):

Նորատու-Քանազեղի խզվածքի ուղղաձիգ բաղադրիչը գնահատվել է ըստ հորատանցքի տվյալների, հորատված սկարպից 500 մ արևելք: 100 մ տեղաշարժ արձանագրվել է ըստ միևնույն ֆորմացիայի տեղաշարժի (Милановский, 1952): Այս խզվածքը ակտիվ է եղել պլեյստոցենի և, նույնիսկ, հոլոցենի ժամանակ (Милановский, 1952):

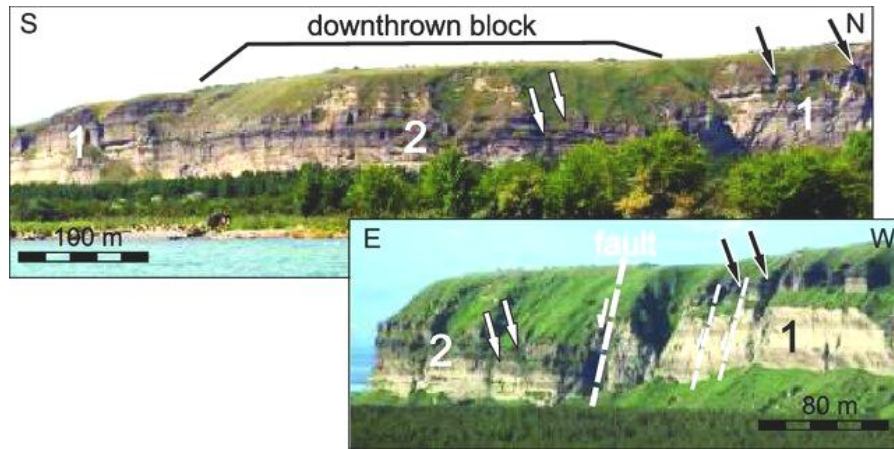
Հայ-ռուսական (Ռուսաստանի Գիտությունների Ակադեմիայի Երկրաբանական Գիտությունների Ինստիտուտ) համատեղ աշխատանքների արդյունքում, հնամագնիսական հետազոտություններով Նորատուի 80 մ հզորությամբ մերկացման ստորին 42 մետրանոց հատվածի համար ստացվել է 3.1-2.3 Ma հասակ:



Նկար 28. Բ-Ռեյլեֆի եռաչափ մոդելի և Սևանա լճի հորիզոնականների քարտեզ (Ավագյան և ուր., 2017), Շ-օրթոգոնալ տիեզերական նկար, Ն.հ.-Նորատուս հրաբուխ, Կ.հ.-Կարապ հրաբուխ, սլաքները ցույց են տալիս խզվածքների սկարպերը, 1. գազերի արտահոսման կետեր, 2. բնակավայրեր, 3. դիտակետեր

Այստեղ՝ չորրորդական լճային, այլուվյալ, լճագետային, հրաբխանստվածքային ապարներից զատ, մերկանում են նաև նեոգեն-չորրորդական նստվածքներ և հրաբխային գոյացություններ (բազալտային անդեզիտներ, բազալտներ և նրանց պիրոկլաստիկ նյութը) (Խարազյան, 2005): Խզվածքի վերին, կամ հետզելասյան ակտիվությունն ապացուցվել է հաստվածքի երկու խարամային վերին շերտերի

իզոտոպային $2.30 \pm 0.15 \text{Ma}$ K/Ar (կատարվել է Վ.Ա. Լեբեդևի կողմից) հասակով (Avagyan et al., 2020):

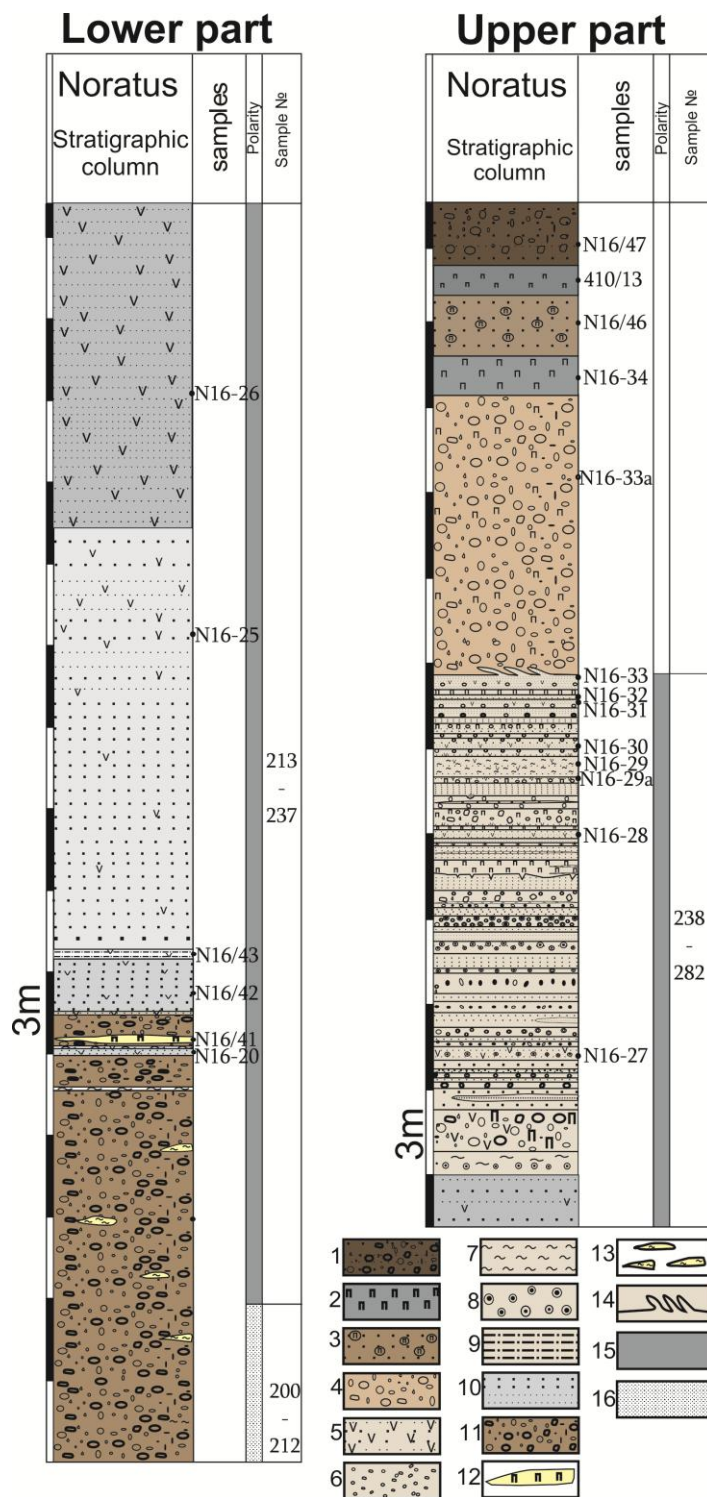


Նկար 29. Նորատուս-Քանազեղ խզվածքի Նորատուսի սեգմենտի հատվածը (Avagyan et al., 2020): 1. վարնետքի ստորին բլուկը, 2. վարնետքի վերին բլուկը: Սլաքներով ցույց են տրված տեղաշարժված խարամային զույգ հորիզոնները (սև սլաքներով ստորին բլուկի վրա): Օբյեկտի տեղադիրքը ցույց է տրված նկար 28-ում

Հիմնվելով գոյություն ունեցող երկրաբանական և կառուցվածքային հրատարակված նյութերի (Милановский, 1952, 1968; Karakhanian et al., 2001, 2016; Avagyan et al., 2001, 2010; Караханян и др., 2004 և այլն), հեռազննման (տարբեր տիեզերական և օդալուսանկարների վերլուծություն), տեղանքի եռաչափ մոդելների, տեղագրական քարտեզների, ինչպես նաև դաշտային ուսումնասիրությունների վրա ակնհայտ է, որ հյուսիս-հարավ տարածման 25 ± 3 կմ երկարությամբ Նորատուս-Քանազեղ խզվածքն ունի խիստ արտահայտված վարնետքային կինեմատիկա, սեգմենտավորված է առաջին կարգի 5-10 կմ երկարությամբ հատվածների (Ավագյան և ուր., 2017):

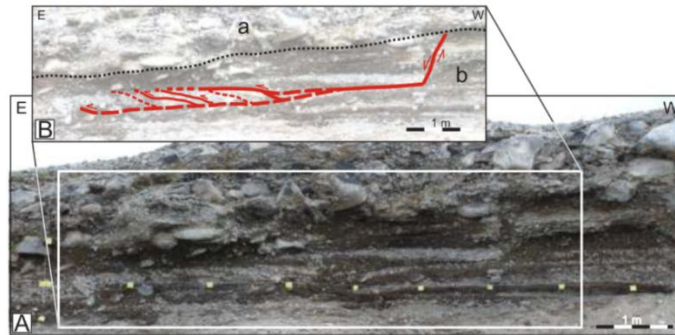
Նորատուս-Քանազեղ խզվածքի Նորատուսի սեգմենտի հատվածի շերտագրական ժամանակակից պատկերը ներկայացված է 30-րդ նկարում:

Միլանովսկին սակայն գտնում է, որ Սևանի ավազանի արևմտյան ափի լճային առաջացումների միասնական հաստվածք գոյություն չունի և որ այսպես կոչված Նորատուսի հաստվածքը բաժանվում է մի շարք ենթահաստվածքների՝ լճային, այլովիալ-պրոլուվիալ և հրաբխային (Милановский, 1952):

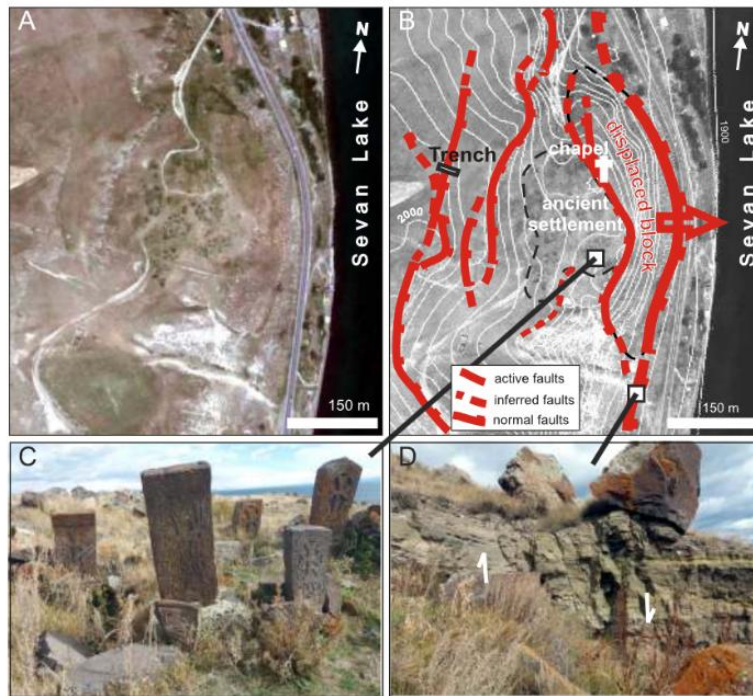


Նկար 30. Նորատուսի տարածքի շերտագրական սյունակ (Avagyan et al., 2020): 1. հողաշերտ ցեմենտով և խճաքարերով, 2. սև պեմզա, 3. ավազ՝ պեմզայի հատիկներով, 4. խոշոր կոնգլոմերատներ, 5. խառնուրդային հրաբխային նյութ, ավազաքար, 6. մանրախիճ, 7. կավ, 8. ավազաքար, օսլիտներ, 9. դիատոմային կավ, 10. ավազ/ալւրիտ, 11. խճաքարային կոնգլոմերատներ, 12. սպիտակ պեմզա, 13. ոսպնյակներ, 14. սեյսմիտներ, 15. նորմալ մագնիսական բևեռականություն, 16. հակառակ մագնիսական բևեռականություն

Նորատու-Քանազեղ խզվածքի հյուսիսային թևում՝ Սևանա լճի ժամանակակից նստվածքներում նկատվում է հոլոցենյան դեֆորմացիա (նկ. 31, տե՛ս նկ. 28. աստղանիշ 1):



Նկար 31. Սեյսմածին դեֆորմացիաները Սևանա լճի ժամանակակից նստվածքներում, աստղանիշ 1, տե՛ս նկ. 28-ում (Avagyan et al., 2020)



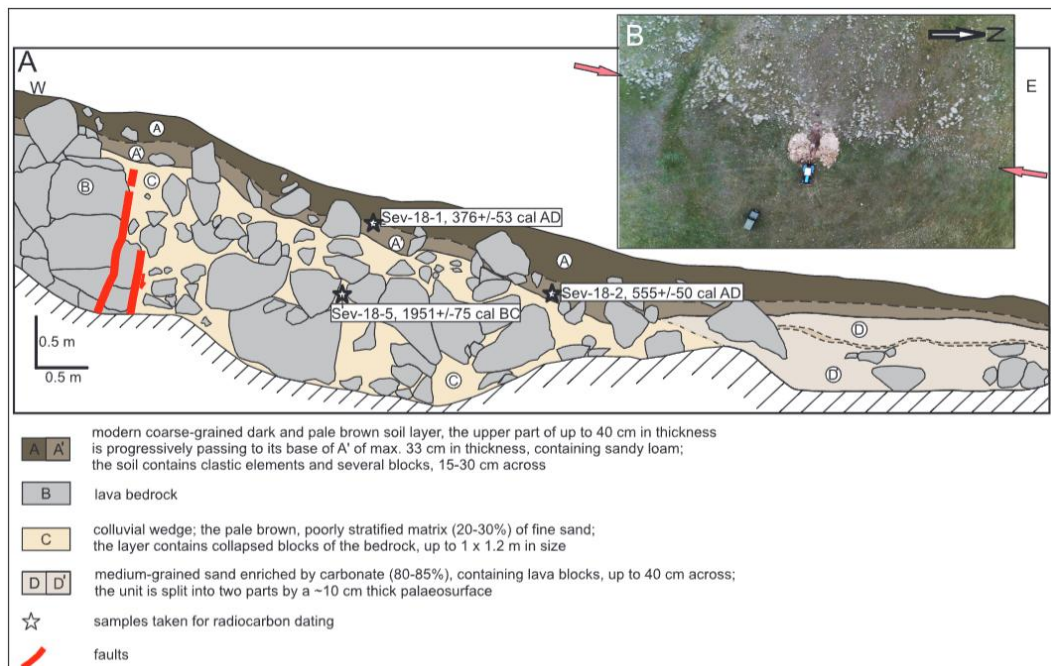
Նկար 32. A-Գրաբեն կառույցի տեղադիրքը արբանյակային պատկերի վրա Նորատու գյուղից ~7կմ դեպի հարավ, հարավ-արևելք (տեղադիրքը տե՛ս նկ. 28-ում (Avagyan et al., 2020)), B-կառույցների սխեմատիկ պատկերումը, C-սեյսմածին դեֆորմացիաների ապացույցներ, որոնք պայմանավորված են պատվանդանների տարբեր թեքություններով, D-նորմալ խզման հարթություններ՝ տեղաշարժված բլոկի հարավում, սլաքները ցույց են տալիս բլոկի շարժումը

Խզվածքի հարթությունը փակված է նստվածքային կուտակումներով (նկ. 31), որը, ամենայն հավանականությամբ, ձևավորվել է 1933թ.-ից ի վեր՝ լճի մակարդակի

արհեստական նվազման ժամանակ: Մերկացումը հստակ ցույց է տալիս, որ դիտարկված նորմալ խզվածքի ծագումը տեկտոնական չէ, այլ ունի սեյսմագրավիտացիոն ծագում (Avagyan et al., 2020):

Նորատուս գյուղից մոտ 7կմ դեպի հարավ-արևմուտք, պահպանվել է մեկ այլ տեղաշարժված բլոկ՝ 400մ երկարությամբ և 100մ լայնությամբ (նկ. 32A): Խզվածքի կինեմատիկան լավ դրսևորվում է տեղաշարժված բլոկի հարավային թևի խզման հարթության վրա (նկ. 32D): Կարապետյանի և այլոց երկրաբանական քարտեզների համաձայն (Կարապետյան, 2011), խզվածքը կտրում է վերին պլիոցենի լավայի հոսքը: Գրաբեն կառույցում (նկ. 32B) հնագույն բնակավայրի մնացորդները ցույց են տալիս սեյսմածին դեֆորմացիաներ: Դրանք հատկապես լավ երևում են պատվանդանների տարբեր թեքություններից (նկ. 32C):

Նորատուս-Քանազեղ խզվածքային գոտում առկա է մակերեսային խախտում, որի բնույթը հասկանալու համար անցակցվել է խզմանն ուղղաձիգ խրամուղի (նկ. 32B, 33): Խզման տարածումը խրամուղու արևմտյան մասում կազմել է հյուսիս 00° - 178° , գրեթե հյուսիս-հարավ: Խրամուղում երևացող խզման հարթության անկումը կազմում է 82° դեպի արևմուտք: Խրամուղում նկատվում է առնվազն 1.5մ տեղաշարժ:



Նկար 33. Պալեոսեյսմաբանական խրամուղու պրոֆիլ կտրվածքը (տե՛ս նկ. 32B-ում), B-խրամուղու օդալուսանկարը (Avagyan et al., 2020)

Իրադարձությունը տեղի է ունեցել մ.թ.ա. 1951±75 cal և 376±53 cal AD (թվագրվել և չափորոշվել են Poznań Radiocarbon լաբորատորիայում): Իրականում խզվածքի գոտում ունենք իջած արևելյան բլուկ (Avagyan et al., 2020):

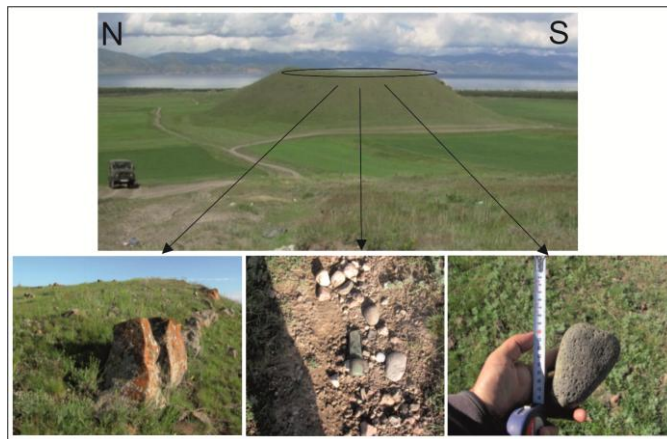
3.1.2. Հրաբխականություն

Նորատու-Քանազեղ խզվածքի հյուսիսային վերջավորությունում, խզվածքի սկարպից 0.5-1.5կմ դեպի արևելք գտնվում են Նորատու և Կարապ հրաբուխները (նկ. 28): Հաշվի առնելով խզվածքի վարնետքային կինեմատիկան, խզվածքի հարթության դեպի արևելք անկումը, սկարպի ռեգրեսիվ էրոզիան, ինչպես նաև սկարպի նշանակալից բարձրությունը, վստահաբար կարող ենք պնդել, որ երկու հրաբուխներն էլ գտնվում են խզվածքի գոտում և գենետիկորեն կապակցված են վերջինիս հետ (Avagyan et al., 2020): Ըստ Ավագյանի (Avagyan et al., 2020), Գեղամա լեռների չորրորդական հրաբխականությունը վերահսկող կառույցների մի մասը ժառանգվել են պալեոգեն-նեոգեն ժամանակներից և այնուհետև ազդել հետագա լարվածային դաշտի և տարածքի երկրաբանական կառուցվածքի ձևավորման վրա: Այսինքն, Նորատուի խզվածքն ավելի երիտասարդ կառույց է և համահունչ վերոհիշյալ ուշ չորրորդական (Кочарян, Ширинян, 1978) հասակի հրաբուխների հետ (Avagyan et al., 2020): Հրաբխականության և խզումնային ակտիվության տարածաժամանակային կապն ակնհայտ է: Ժամանակային կապի մասին է խոսում այն հանգամանքը, որ Գավառազետի խզվածքի հյուսիսում ձևավորված ժամանակավոր ամբարտակային, տեկտոնական ծագման լճային նստվածքներում առկա են հնարավոր երիտասարդ ժայթքման հրաբխալճային նստվածքներ՝ սինգենետիկ խզվածքահրաբխային ակտիվություն (Avagyan et al., 2010, 2020):

Ինչը վերաբերում է Նորատու հրաբխի լանջերին և խառնարանային հատվածում հայտնաբերված 10-15սմ տրամագծով գլաքարերին, ապա վերջինս բավական գիտական վեճերի տեղիք է տվել: Անցյալի բազում կարծիքներ այն կապել են հրաբխագոյացման հետ (Паффенгольц, 1946; Милановский, 1953), մինչդեռ Կարապետյանը (Карапетян, 1965) հերքելով նախորդներին ենթադրել է, որ երկու

հրաբուխներն էլ ձևավորվելուց հետո ծածկվել են Սևանա լճի ջրերով: Այս վարկածը պաշտպանվել է Քոչարյանի ու Շիրինյանի կողմից (Кочарян, Ширинян, 1978): Կարախանյանը գտնում էր, որ Սևանա լճում, հատկապես Մեծ Սևանում, հնարավոր են խզվածքային և սողանքային ակտիվությամբ պայմանավորված բարձր ալիքներ՝ սեյշեր (high seiche), որոնք ավիամերձ գոտում կարող են կուտակել լճային նստվածքներ (Karakhanyan et al., 2016; Avagyan et al., 2020):

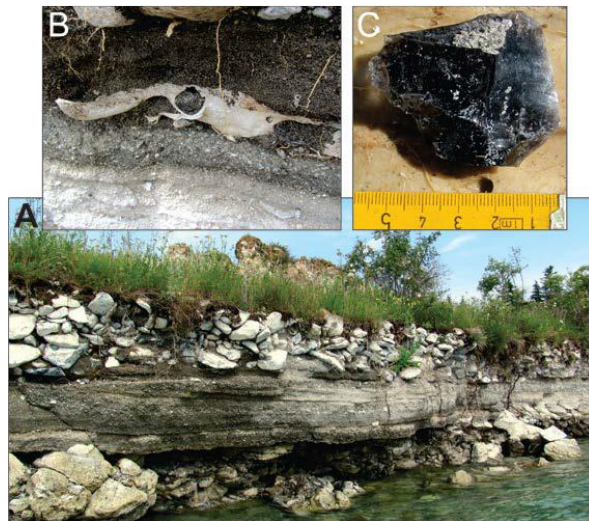
Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ գլաքարերը բացակայում են Կարաա հրաբխի բարձրադիր լավաների վրա, մինչդեռ այն գտնվում է Նորատուս խարամային կոնի և Սևանա լճի ավազների միջև և ունի հիպոսմետրիկ՝ մոտ 30 մետրով ավելի ցածր դիրք: Խառնարանի լանջերի խարամային մերկացումներում որևէ գլաքար չի հայտնաբերվել, ինչի մասին վկայում է նաև Կարապետյանը (Карапетян, 1965): Նորատուսի խառնարանի ամբողջ տրամագծով կառուցված է պարիսպ, որի լայնությունը հասնում է 3 մետրի: Կարապետյանը գրում է խառնարանի լանջերին կառույցների մասին (Карапетян, 1965): Ակնհայտ է, որ խառնարանի հատակում գոյություն են ունեցել այլ կառույցներ (Avagyan et al., 2020):



Նկար 34. Նորատուս հրաբխի գագաթին հայտնաբերված պարիսպն ու գլաքարերը (Ավագյան և ուր., 2017)

Հետաքրքիր է, որ դեպի խառնարան տանող ճանապարհի երկայնքով նկատվում է գլաքարերի ավելի մեծ խտություն: Այս ամենից հետևում է, որ գլաքարերը հայտնվել են խառնարանում մարդու գործունեության արդյունքում (նկ. 34) (Ավագյան և ուր., 2017):

Հետաքրքիր շերտագրական իրավիճակ է դիտարկվել Բերդկունք գյուղից արևելք ընկած ափամերձ գոտում, որի վերին շերտերում լավային բլոկներ են՝ 0.5-0.8մ հզորությամբ, որոնց տակ տեղադրված են Սևանի լճային նստվածքները (0.8-1.0մ հզորությամբ, մանրահատիկ, վերևում մուգ մոխրագույնից մինչև սև, իսկ ներքևում բաց մոխրագույն շերտավորված ավազ, որոնք ամբողջ հզորությամբ պարունակում են խխունջների մնացորդներ (Lymnaeidae, Planorbidae, Pisidiidae (Arutunova et al., 2011; Avagyan et al., 2020)) տարբեր խտությամբ: Շերտը վերին մասում պարունակում է կարբոնատային կեղև, իսկ հիմքում դարձյալ տեղ-տեղ մերկանում են լավային բլոկներ (նկ. 35) (Ավագյան և ուր., 2017):



Նկար 35. A-Բերդկունքի մերկացումը, ուր հայտնաբերվել է խոշոր եղջերավոր կաթնասունի ոսկորներն ու ամբողջական գանգը (B), նույն տեղում հայտնաբերվել է օբսիդիանից հատիչ (C), աստղանիշ 2, տե՛ս նկ. 28 (Avagyan et al., 2020)

Սևանի նստվածքների վերին սահմանից մոտ 10-15սմ ներքև հայտնաբերվել են խոշոր եղջերավոր կաթնասունի ոսկորներ, այդ թվում գանգն ամբողջությամբ (ըստ ԵԳԻ ավազ գիտաշխատող Հայկ Մելիք-Ադամյանի, գտնված *Bos* sp. տեսակի գանգը հավանաբար ընտանի կենդանու է պատկանում) (նկ. 35B): Ոսկորների հետ հայտնաբերվել է նաև օբսիդիանից հատիչ (նկ. 35C), որն ուսումնասիրվել է LA-ICP-MS մեթոդով (CNRS "IRAMAT" d'Orlean, France): Օբսիդիանը, մոտ 30կմ հեռավորության վրա գտնվող Գեղասար հրաբխի հետ է կապված: Ոսկրային նյութի ռադիոածխածնային C^{14} հասակագրման համաձայն (Laboratoire Beta Analytic

Radiocarbon Dating (Florida, USA)) ստացվել է 3460 ± 40 BP տարիք, որը չափորոշվել է 1890 և 1680 BC հասակային սահմաններում (2 sigma) (Ավագյան և ուր., 2017; Avagyan et al., 2020):

3.1.3. Սեյսմիտներ և հողերի ջրիկացում

Չնայած ՀՀ տարածքում սեյսմիտների, այդ թվում հողերի ջրիկացման ուղղությամբ սակավաթիվ ուսումնասիրություններին, այնուամենայնիվ, դրանց առկայությունը հնարավոր է երիտասարդ ավազակավային ջրհագեցած նստվածքներում, ինչպես օրինակ՝ Արարատյան, Շիրակի, Սևանի ավազաններում և այլուր: Սևանի ավազանում (Փոքր Սևանի հյուսիսարևմտյան հատվածում) որոշ նախնական դիտարկումներ իրականացրել է Կորժենկովը (Корженков и др., 2014):

Նորատուս-Քանազեղ խզվածքային գոտում նույնպես դիտարկվում են սեյսմիտներ, որոնց շերտագրական դիրքը թույլ է տալիս այն վերագրել ավելի վաղ ծագման, քան խզվածքի ակտիվացման սկիզբն է (նկ. 36) (Ավագյան և ուր., 2017): Նորատուս թերակղզուց հարավ՝ ճանապարհի հարևանությամբ, շատ հետաքրքիր դիտարկումներ է կատարել Միլանովսկին (նկ. 28, աստղանիշ 3): Նա նկարագրել է միկրոդիսլոկացիաներ, «դիապիրային» ծալքեր, որոնք ունեն մինչև 1-1.5մ երկարություն և զարգանում են կավավազային միջավայրում (Милановский, 1953; Avagyan et al., 2020): Միլանովսկին ենթադրել է, որ դրանք առաջացել են երիտասարդ նստվածքներում, երբ այն դանդաղ սահել է լճի հատակով: Մինչդեռ ըստ Ավագյան և ուր.-ի (Avagyan et al., 2020), միայն լճի հատակով դանդաղ հոսքով հնարավոր չէ բացատրել մերկացման ստորին մասի մինչև 6մ տեսանելի հզորությամբ ավազային շերտի՝ տարբեր հորիզոններում դիտարկվող դեֆորմացիաները (նկ. 36A): Նկարագրված ավազային շերտից ավելի վեր, առանձնանում են ևս երկու ավազային շերտեր: Ստորինը ավելի խոշորահատիկ է և ունի երկաթային հողմնահարման դեղնավուն գույն: Երկու շերտերում էլ նկատվում են ակնհայտ սեյսմիտներ՝ ավելի փոքր մասշտաբների, երբեմն հստակ սնկածն (նկ. 36B, C): Տեղանքի վերլուծությունը վկայում է երկու-երեք խոշոր $M_w > 5$ մագնիտուդով սեյսմիկ իրադարձությունների

մասին, որոնցից առաջինը առավել հզոր, կամ շատ մոտ էպիկենտրոնին (Ավագյան և ուր., 2017):

3.1.4. Ստորջրյա հետազոտություններ

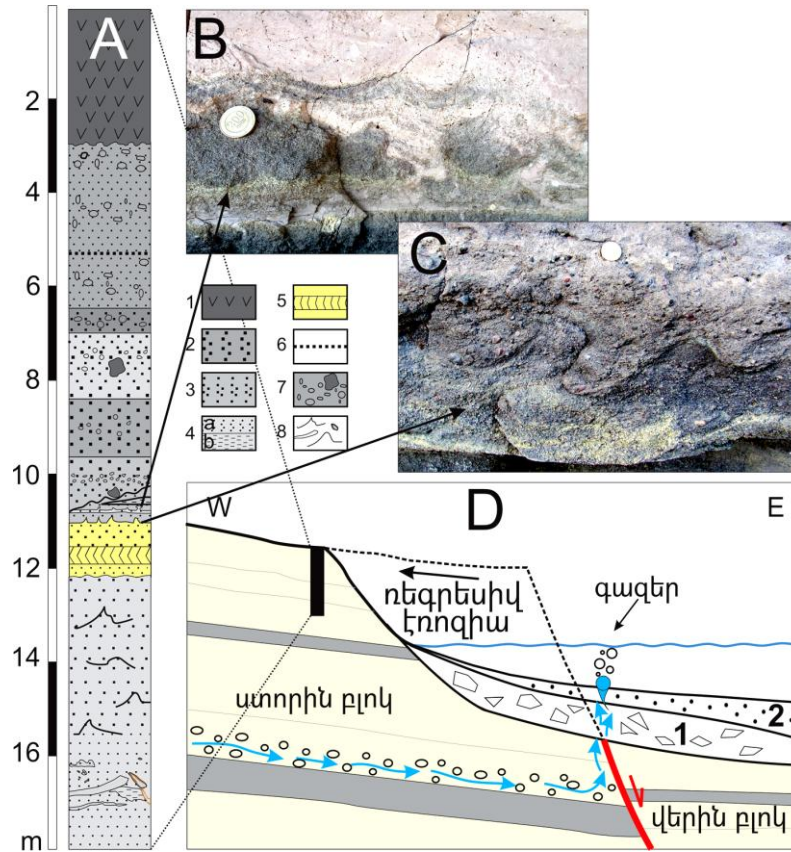
Հաշվի առնելով խզման հարթության դեպի լիճ անկումները և սկարպի ռեգրեսիվ հողմնահարումը, հասկանալի է դառնում, որ խզվածքի վերին և ստորին բլոկների վերին սահմանը տեղ-տեղ գտնվում է Սևանա լճի ափամերձ ջրածածկ մասում (նկ. 36D):

Դեռևս 2011 թվականին 2.3-2.6մ խորության վրա արձանագրվել էր ստորջրյա խոշոր երկու աղբյուր՝ N40° 15' 58.1", E45° 13' 19" կոորդինատներով:

Ըստ Բալյանի և Բոշնաղյանի (Балаян, Бошнагян, 1964), Նորատուս գյուղի հատվածում փորված հորատանցքի 84մ-ում խճակոնգլոմերատների հորիզոնը իր մեջ պարունակել է ջուր՝ լճի ջրին մոտ կազմությամբ: Խճակոնգլոմերատների հորիզոնը վերևից և ներքևից սահմանափակվում է անջրաթափանց կավային, հրաբխանստվածքային հզոր շերտերով: Ըստ Ավագյան և ուր.-ի (Avagyan et al., 2020), Գավառի հորստի ստորգետնյա ջրերը հոսելով ջրամերժ շերտի վրայով, հասնում են Նորատուս-Քանազեղ խզվածքի հարթություն, որը հանդիսանում է մասնակի ամբարտակ դրանց շրջանառության համար և խզվածքով դուրս գալիս գետնի մակերես (Ավագյան և ուր., 2017; Avagyan et al., 2020): Վերջինս ապացուցված է ստորջրյա սուզումներով:

Բացահայտվել են երեք տասնյակից ավելի կետեր, որտեղից բխում են աղբյուրներ և գազեր (աղյ. 2)՝ ավելի քան 8կմ հյուսիս-հարավ գծային ձգվածությամբ (նշված են սպիտակ շրջանակներով, տե՛ս նկ. 28): Ընդ որում, յուրաքանչյուր ներկայացված կոորդինատում կարող են լինել աղբյուրների և գազերի տասնյակ արտահոսման կետեր (նկ. 37C, D), որոշ դեպքերում՝ 3.5x2մ չափեր ունեցող մակերեսներից (նկ. 37D) այնպես, որ ջրագազային շիթի ուժգնության պատճառով հատակի ավազի մեջ գոյացել են խառնարաններ (նկ. 37B): Վերջիններիս չափերը կարող են հասնել 0.5-0.9մ: Այստեղ կարևոր է արձանագրել, որ եթե վերին և ստորին բլոկների սահմանից դուրս

Եկող աղբյուրի ջուրը կարող է նաև ուղղաձիգ դուրս չգալ լճային հատակի մակերես, ապա գազերի առկայությունն այստեղ որոշիչ դեր է խաղում դրանց ուղղաձիգ արտազատման համար (Ավագյան և ուր., 2017):



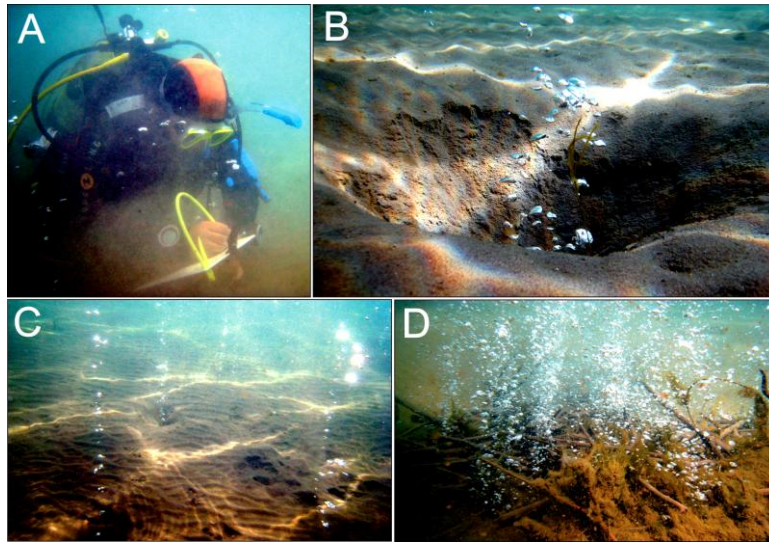
Նկար 36. A-նկար 28-ի, աստղանիշ 3-ի մերկացման լիթոլոգիական սյունյակը (Ավագյան և ուր., 2017): B, C-սեյսմիտներ, D-Քանազեղի հատվածի աղբյուրների և գազերի արտահոսքի սխեմատիկ կտրվածք, 1. կոլյուվի, 2. ավազներ: 1. տրախիտանդեզիտներ, 2. խոշորահատիկ ավազ, 3. միջահատիկ ավազ, 4. մանրահատիկ ավազ (a), կավ (b), 5. թեք շերտայնություն, 6. Մո-ային շերտ, 7. գլաքարեր, 8. սեյսմիտներ

Ստորջրյա հետազոտություններն իրականացվել են «Ստորջրյա սուզումների և հետազոտությունների հայկական կենտրոն»-ի (ՍՍՀՀԿ) հետ համատեղ:

Հետաքրքիր տվյալներ կան Գավառագետի ստորին ավազանում, ուր ներկայիս գետաբերանը չի գտնվում ջրի տակ դիտարկվող էրոզիոն հովտի շարունակության վրա (ցույց են տրված սլաքներով, տե՛ս նկ. 28): Այժմյան գետաբերանի ցամաքային հատվածը հանդիսանում է կուտակումային ափամերձ գոտի, ուր արտահայտված չէ էրոզիոն ձորակ: Սուզումները հաստատեցին ձորակի գոյությունը:

Աղյուսակ 2. Աղբյուրների և գազերի արտահոսման կետեր (Ավագյան և ուր., 2017)

N	N	E
1	40°17'2,1"0	45°13'10,3"
2	40°16'59,7"	45°13'9,9"
3	40°16'59,9"	45°13'9,3"
4	40°17'2,2"	45°13'9,9"
5	40°17'2,2"	45°13'9,8"
6	40°16'59,9"	45°13'9,8"
7	40°17'0"	45°13'10,2"
8	40°17'0,3"	45°13'10"
9	40°17'0,5"	45°13'9,8"
10	40°17'0,8"	45°13'10,3"
11	40°17'1,2"	45°13'10,1"
12	40°17'1,6"	45°13'10,2"
13	40°17'1,6"	45°13'10,4"
14	40°17'1,7"	45°13'10,2"
15	40°17'1,9"	45°13'10,1"
16	40°17'1,9"	45°13'10,1"
17	40°17'2,1"	45°13'10,3"
18	40°19'17"	45°13'8,9"
19	40°16'18,3"	45°13'24,4"
20	40°15'20,5"	45°13'24,6"
21	40°16'21,2"	45°13'24,8"
22	40°16'21,7"	45°13'25,1"
23	40°16'25,7"	45°13'25,5"
24	40°16'30,7"	45°13'26,5"
25	40°15'0,3"	45°13'18,9"
26	40°15'57,9"	45°44'58,9"
27	40°17'50,7"	45°13'13,9"
28	40°17'57,9"	45°13'17,4"
29	40°17'41,8"	45°13'8,2"
30	40°15'58,1"	45°13'19"
31	40°15'58,1"	45°13'19,3"



Նկար 37. Ստորջրյա լուսանկարներ (Avagyan et al., 2020): A-սուզորդ-երկրաբանը հատուկ տեսքում արձանագրում է դիտարկումը, B, C, D-տարբեր ծավալների գազերի արտազատումը

Այն շարունակվում է մինչև առնվազն 35մ խորությունները: Կարող ենք ենթադրել, որ Սևանա լճի մակարդակը էրոզիայի ակտիվության ընթացքում եղել է մոտ 35մ ավելի ներքև և, հավանաբար, հրաբխային ակտիվությամբ պայմանավորված Հրազդան գետի հովտի ամբարտակմամբ տեղի է ունեցել ջրի մակարդակի արագ բարձրացում: Այսինքն, էրոզիայի ակտիվության ժամանակ Մեծ Սևանը գոյություն չի ունեցել և ներկայիս տեսքով Սևանա լիճը ձևավորվել է չորրորդականի, առավելագույնը՝ վերին նեոգեն-չորրորդականի ընթացքում:

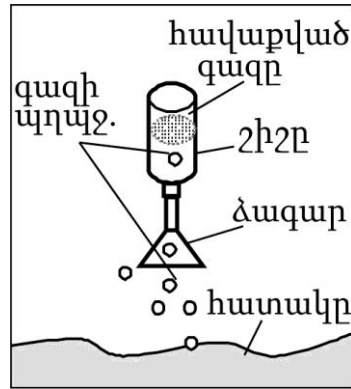
3.1.5. Լճի հատակից արտանետվող գազերի գեոքիմիական հետազոտություններ

Լճի հատակից արտանետվող գազերի հետազոտումը կարևոր է, քանի որ թույլ է տալիս պատկերացում կազմել ընդերքի երկրաքիմիական կառուցվածքի, ինչպես նաև լճում ընթացող էկոլոգիական փոխազդեցությունների մասին:

Այսպես, գազերի նմուշառումը իրականացվել է հետևյալ պարզ ու արդյունավետ եղանակով (նկ. 38): Այս եղանակը հնարավորություն է տալիս հեշտությամբ բացառել մթնոլորտի ազդեցությունը արդյունքների վրա: Գազը հավաքվել է պոլիմերային շշի

մեջ, այնուհետև ջրի տակ հերմետիկ փակվել է խցանով: Նմուշը պահվել է բերանով ներքև այնպես, որ գազի նմուշը մեկուսացված լինի արտաքին միջավայրից, բացի խցանից նաև ջրային շերտով:

Գազի արտանետումը տեղայնացվել է Humminbird 898c SI Combo SONAR-ով, որը հազեցած է GPS-ով (Global Positioning System):



Նկար 38. Գազերի նմուշառման սխեման (Ավագյան և ուր., 2017)

Գազի նմուշների նախնական սահմանաչափումները կատարվել են Biogas 5000 գազային անալիզատորով (Geo-technical Instruments (UK) Limited)), որը հնարավորություն է տալիս ուղղակիորեն չափել մեթանի, թթվածնի, ածխաթթու գազի, և անուղղակիորեն՝ ազոտի պարունակությունը գազի խառնուրդում (Avagyan et al., 2020): Գազերի քիմիական բաղադրությունը որոշվել է Ռուսաստանի Գիտությունների Ակադեմիայի Երկրաբանական Գիտությունների Ինստիտուտում՝ օգտագործելով Crystal 5000 գազային քրոմատոգրաֆը՝ բացարձակ չափորոշման/կալիբրացիայի միջոցով: Ածխածնի իզոտոպային կազմը (CO_2 և CH_4) որոշելու համար օգտագործվել է Thermoelectron Corporation-ի գործիքակազմ, ներառյալ մասս-սպեկտրոմետր Delta V Advantage և GC գազաքրոմատոգրաֆ: Նմուշները և ստանդարտները քայքայվել են 100% ֆոսֆորական թթվով, 50°C ջերմաստիճանում՝ հելիումային միջավայրում: Ածխածնի իզոտոպային ուսումնասիրություններն իրականացվել են Ռուսաստանի Գիտությունների Ակադեմիայի Երկրաբանական Գիտությունների Ինստիտուտում:

Արդյունքները ցույց են տվել, որ վերցված նմուշում 99%-ը ածխաթթու գազ է: Մնացած 1% կարելի է վերագրել չափման և/կամ նմուշառման հետևանքով առաջացած

սխալին: Նմուշն իրենից ներկայացրել է անհոտ և անգույն գազի խառնուրդ (Avagyan et al., 2020):

Քրոմատագրաֆային ավելի նուրբ վերլուծությունը հետազոտված նմուշում չհայտնաբերեց մեթանի կամ այլ գազի պարունակություն: Ազոտի բացակայությունը նմուշում ցույց է տալիս, որ արտազատվող գազը իրենից օդ չի ներկայացնում: Այստեղ քննարկման առարկա կարող է լինել այն հանգամանքը, որ գազն արտազատվում է ստորգետնյա ջրերի հետ: *In situ* ջերմաստիճանի, էլեկտրահաղորդականության և pH (միջավայրի ջրածնային ցուցիչ) հետազոտումը նմուշառման կետում և նրա շրջակայքում նկատելի անոմալիա չի բացահայտել: Ջերմաստիճանը տատանվել է 13.6°C-ի, էլեկտրահաղորդականությունը՝ 480 մկՍիմենս/սմ-ի, իսկ pH-ը՝ 8.6-ի սահմաններում: Շեղումը չի գերազանցել 0.1%-ը: Սա նշանակում է, որ գազի հետ միասին լիճ արտազատվող ջուրը զգալիորեն չի տարբերվում լճի ջրից (Ավագյան և ուր., 2017):

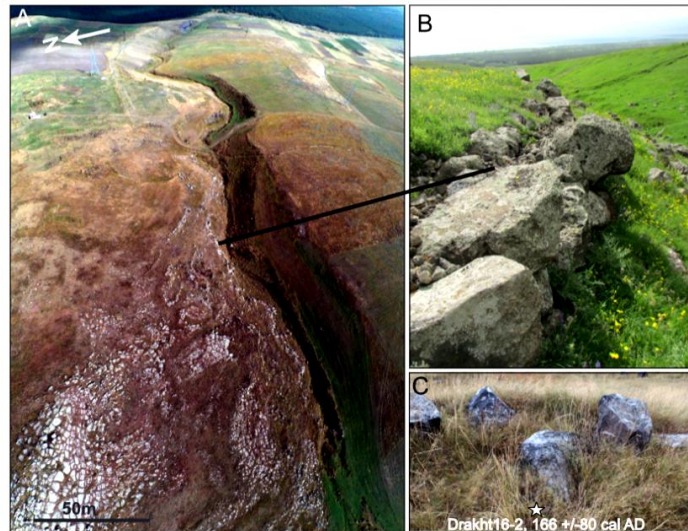
3.2. Գավառագետի խզվածքային գոտի

Գավառի հորստային բլրկի վրա տեղադրված են մի քանի լքված հովիտներ: Այս երևույթը բացատրվում է Գավառագետի խզվածքի՝ ուղղաձիգ բարձրությամբ մինչև 250մ հասնող սկարպի ձևավորմամբ: Գավառագետի խզվածքի սկարպը ամբարտակել է և շեղել Գեղամա լեռների արևելյան լանջերից իջնող ջրային հոսքերը: Սկզբնական շրջանում Գավառ քաղաքի և հարակից տարածքում ժամանակավորապես ձևավորվել է տեկտոնական ծագման լճակ: Գավառ քաղաքին մոտ, դեպի հյուսիս, Գավառագետի խզվածքը կտրուկ փոխում է իր ուղղությունը հյուսիս-հարավից՝ N 110° և կինեմատիկան դառնում է հիմնականում աջակողմյան կողաշարժ (Avagyan, 2001; Karakhanyan et al., 2016; Ավագյան և ուր., 2017; Avagyan et al., 2020):

Գավառի հորստի հովիտներից մեկի երկայնքով, Երանոս գյուղից 3.5կմ հյուսիս և խրամուղուց ~8կմ հարավ-արևմուտք, գտնվում է հնագիտական համալիր (նկ. 39, աստղանիշ 4, տե՛ս նկ. 28-ում): Համալիրը ներկայացված է հսկայաբեկոր պատերով, առանձին կառույցներով և ամենահետաքրքիրը՝ արհեստական ամբարտակով:

Ցած ընկած բլուկների ստորին նստվածքներից վերցված նմուշների ռադիոածխածնային տվյալների համաձայն (նկ. 39C), ստացվել են 166 ± 80 cal AD հասակային տվյալներ: Վերջինս համահունչ է խրամուղում բացահայտված սեյսմիկ իրադարձության ժամանակի հետ:

Ուստի, ենթադրելով, որ քննարկվող բլուկը ընկել է երկրաշարժի հետևանքով, կարող ենք համարել, որ խրամուղում նկատված խզվածքն ունի տեկտոնական ծագում:

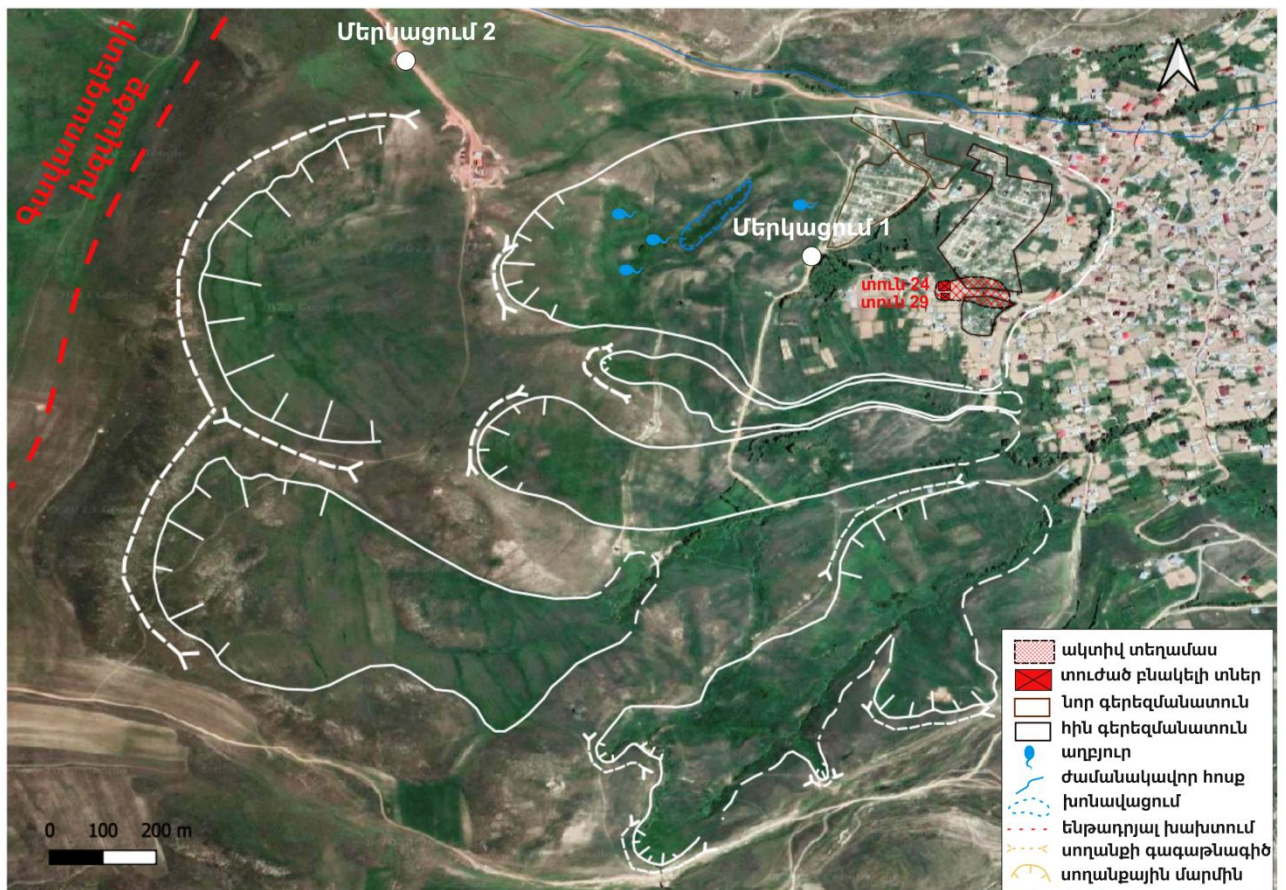


Նկար 39. A-Լքված տեկտոնական հովտի օդալուսանկար (դրոն), աստղանիշ 4, տե՛ս նկ. 28 (Avagyan et al., 2020): B-անթրոպոգեն կառույց, C, D-ընկած բլուկների ստորին նստվածքների ռադիոածխածնային հասակագրման տվյալներ

3.2.1. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Երանոս գյուղի սողանքային գործընթացների վրա: Տարածքի համառոտ ինժեներատեխնիկական բնութագիր

Երանոս գյուղը գտնվում է Գեղարքունիքի լեռնաշղթայի հարավարևելյան ստորոտին, մարզկենտրոն Գավառից 25կմ հարավ-արևելք: Բնակավայրը գտնվում է ծովի մակերևույթից 2050մ բարձրության վրա («ՀԱՅՆԱԽԱԳԻԾ» ԲԲԸ հաշվետվություն, 2020): Գեոմորֆոլոգիական տեսակետից տարածքը գտնվում է հրաբխային սարավանդի սահմանների հյուսիսարևելյան եզրամասում, Սևանա լճի պալեոհունից Գեղամա լեռնաշղթայի արևելյան էրոզիոն-հողմնահարման լանջերի

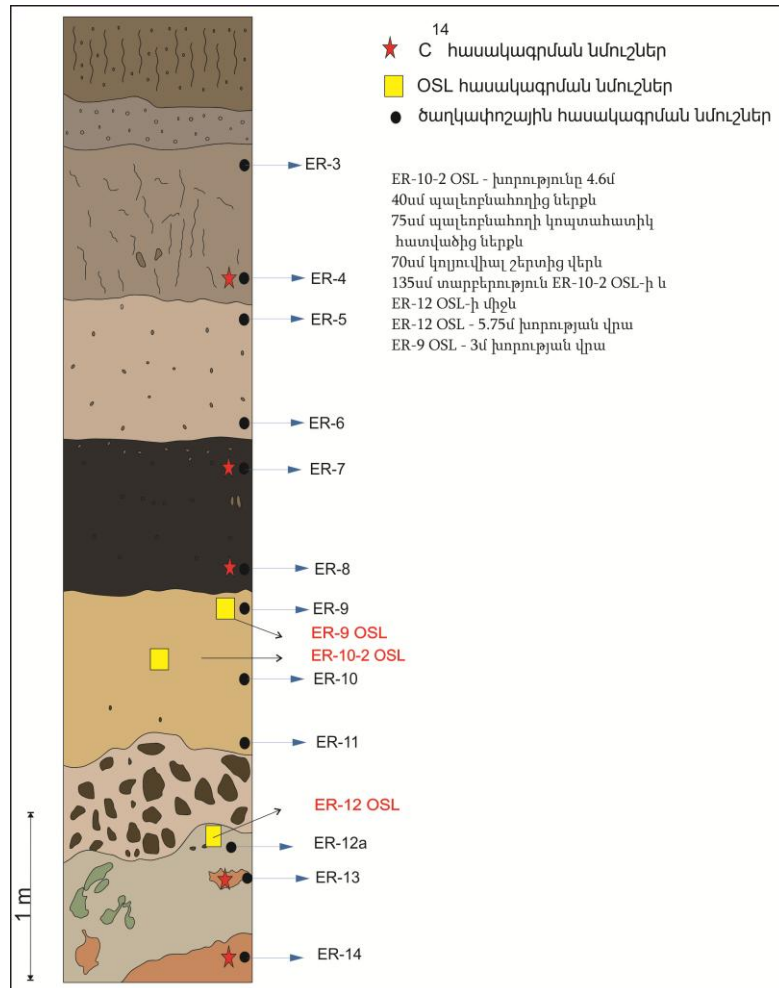
անցման գոտում: Ռելիեֆն անհարթ է, կտրտված գետակային ցանցով, մակերևույթի ընդհանուր թեքությամբ հարավարևմուտքից՝ հյուսիսարևելք: Երանոս գյուղի տարածքում գրունտային ջրերը տեղադրված են 2մ-ից խորը, սակայն սողանքային մարմնի վրա տեղ-տեղ դուրս են գալիս աղբյուրների ելքեր (նկ. 40) («ՀԱՅՆԱԽԱԳԻԾ» ԲԲԸ հաշվետվություն, 2020):



Նկար 40. Երանոս գյուղի սողանքային մարմնի սխեմատիկ քարտեզ, տեղադիրքը տե՛ս նկ. 43-ում

Տարածքի երկրաբանական կառուցվածքը ներկայացված է նեոգենի հասակի բազալտային անդեզիտներով, օլիվինային բազալտներով և դիոլիտային դացիտներով, որոնք ծածկված են ժամանակակից էլյուվիալ, դելյուվիալ, ալուվիալ-պրոլուվիալ խճային, կոպճային, ճալաքարակոպճային, ավազակավային և կավավազային գոյացումներով (ՀԱՅՆԱԽԱԳԻԾ ԲԲԸ հաշվետվություն, 2020): Ելնելով Երանոս գյուղի գերեզմանատան հատվածի շերտագրական սյունյակից (նկ. 41), ER-11 և ER-12a շերտերի միջև հստակ առնձնանում է կոպտաբեկոր ապարազանգված՝ կոլլովի, որի

գոյացումը հնարավոր է կապված է սողանքային ակտիվացմամբ հարուցված երկրաշարժով: Ցավոք, նախաձեռնված OSL հասակագրումները արդյունք չտվեցին՝ պարզելու գոյացման տարիքը:



Նկար 41. Երանոս գյուղի նոր գերեզմանատան հատվածի 1-ին մերկացման շերտագրական սյունյակը, տեղադիրքը տե՛ս նկ. 40-ում

ՀՀՇՆ II-6.02-2006-ի համաձայն, Երանոս գյուղը գտնվում է 2-րդ սեյսմիկ գոտում ($\sigma=0.3g$) («ԱՅՆԱԽԱԳԻԾ» ԲԲԸ հաշվետվություն, 2020): Իսկ ըստ Բրյունի (Brune, 1996) ոչ բավարար հավասարակշռված բլրկներում 0.2-0.3g-ն բավարար է սողանք առաջացնելու համար: Այստեղ տեղին է նշել նաև 2024թ.-ի օգոստոսի 12-ի Մարտունի քաղաքից 9կմ հյուսիս-արևմուտք, օջախի 10կմ խորությամբ և Mw 4.2 երկրաշարժը, որի հետևանքով վնասվել է շուրջ 82 շենք-շինություն (ըստ՝ ՀՀ Ներքին գործերի նախարարության մամլո հաղորդագրության):

Սա ևս մեկ ապացույցն է այն բանի, որ հարակից խախտումների ակտիվացումն ազդել է սողանքի ակտիվության վրա:

Վտանգավոր ֆիզիկաերկրաբանական պրոցեսներն ու երևույթները Երանոս գյուղի տարածքում ներկայացված են.

- քարաթափումներով, որոնց գոտին ձգվում է բնակելի տարածքի արևմտյան սահմանի եզրային մասով,
- սողանքային երևույթներով, որոնք դիտվում են գյուղի բնակելի տարածքում, հին և նոր գերեզմանատների հատվածում՝ սողանքի հարավային սահմանի հարակից գոտում:

Վնասված են, մասնավորապես, 2-րդ փողոցի 24-րդ, 29-րդ տները: 24-րդ տան արևելյան մասը նաստած է, որի հետևանքով տան կենտրոնական հատվածով գոյացել է խոշոր ճեղք (նկ. 42a): Ներքևում պատի ճաքը նեղ է՝ վերևում լայնանում է՝ մոտ 5սմ: Տան դիմացի ջրատարի պատը ճաքճքվել է, անկումը՝ հյուսիս 75° N: Ավտոտնակի դռները դեֆորմացված են (նկ. 42b): Ընդհանուր շենքն իջած է լանջնիվար, նստած է նաև շենքի արևմտյան ծայրամասը: 2-րդ հարկի պատուհանի մոտ նույնպես առկա են ճաքեր: Փողոցով դեպի վեր, տների պատերը ճաքճքվել են 2013թ.-ին, այժմ վերանորոգված են:

2-րդ փողոցի 29-րդ տունը, թերևս, ավելի վնասված է: Սենյակներից մեկի՝ NE սենյակի արևելյան պատը և՛ իջել է, և՛ տեխսափոխվել դեպի հարավ, մոտ 11սմ (նկ. 42c): Այդ պատի հակառակ կողմում հատակը բացվել է մոտ 10սմ (նկ. 42d) և այդ նույն եռանկյուն հատվածով տեղաշարժվել հարավ-արևելք և իջել: Պատուհանները դժվար են բացվում-փակվում՝ ամբողջությամբ դեֆորմացվել են: Տան արևելյան պատի ներքևի մասը տեղաշարժվել է (նկ. 42e): 29-րդ տնից ներքև սկսվում է հին գերեզմանատունը: Փողոցի արգելապատը ձգվում է արևմուտք-արևելք, որը մոտ 10-15մ-ի վրա ընդարձակվել է գրեթե 15սմ-ով: Թեպետ 2018թ.-ին իրականացվել են վերականգնման աշխատանքներ՝ քանդել ու բետոնապատել են, սակայն այժմ կրկին դեֆորմացվել է և սկսել ճաքճքվել: Հին գերեզմանատան արգելապատն ու աստիճանները նույնպես ճաքճքված են (նկ. 42f): Մերկացումից 30մ արևելք անցել է ջրագիծ՝ 1984թ. և 2004թ.-ին: Սողանքը 2013թ.-ին ակտիվացել ու կտրել է պողպատյա ջրագիծը, որի պատճառը,

ըստ տեղի բնակիչներից ստացված տվյալների, 2013թ.-ի հորդառատ տեղումներն էին, ուստի այս դեպքում սողանքի հիդրոմետերի լողիական հրահրման վարկածն այստեղ ևս մեծ դեր է ունեցել:



Նկար 42. Սողանքի ակտիվության ազդեցությունը Երանոս գյուղի տարածքում

3.2.2. Սողանքի ծագումնաբանությունը

Քանի որ սեյսմիկ իրադարձությունների ժամանակ էներգիայի հանկարծակի լիցքաթափումը կարող է առաջացնել ինտենսիվ ցնցումներ և լարվածային փոփոխություններ ընդերքում, ապա ցնցումները կարող են ապակայունացնել լանջերը և սողանքների առաջացման պատճառ դառնալ: Բացի այդ, տուժած տարածքի երկրաբանական և գեոտեխնիկական բնութագրերը, ներառյալ առկա ապարների և

հողերի տեսակները, կարող են ազդել այդ սողանքների հավանականության և վարքի դրսևորման վրա:

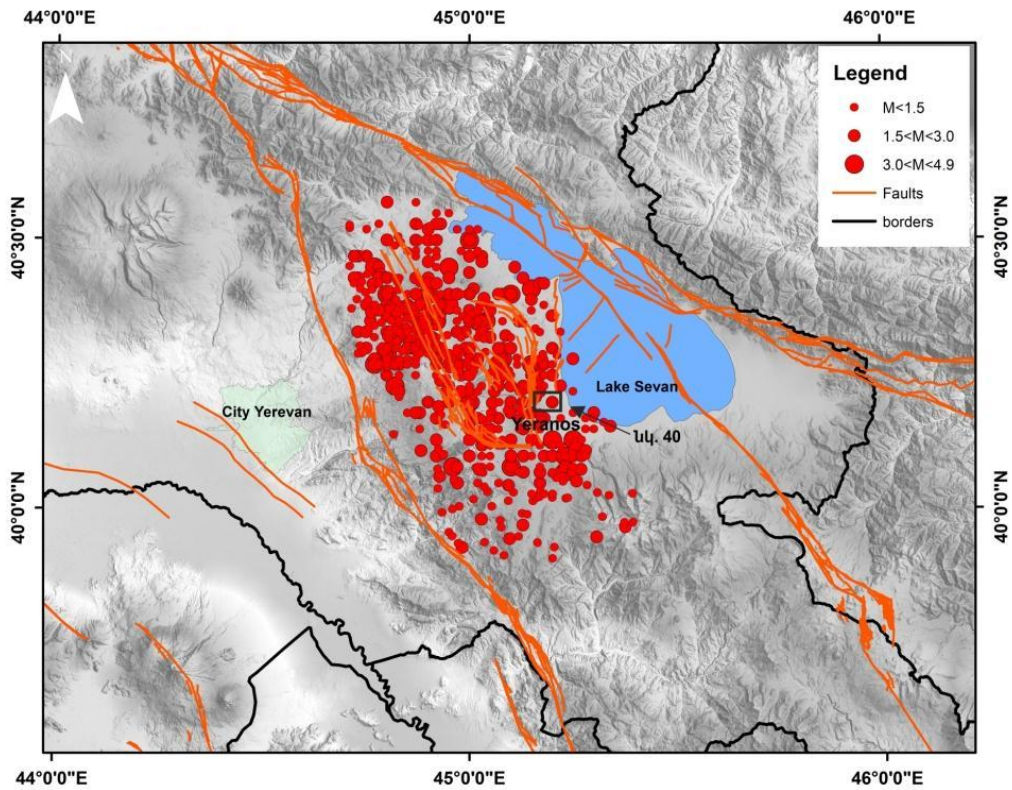
Ըստ Քրոզերի (Crozier, 1992), սեյսմածին սողանքների որոշման ցուցիչներից են՝

- տարածքում սեյսմիկ ակտիվության առկայությունը,
- տարածական համընկնումը ակտիվ խզվածքի կամ սեյսմիկ ակտիվության գոտուն, ինչն այս դեպքում ակնհայտ է՝ պայմանավորված, մասնավորապես, Գավառագետի խզվածքի հարևանությամբ, որը գտնվում է սողանքի հիմնական սկարպից մոտ 0.5կմ հեռավորության վրա: Բացի այդ, սողանքի գլխամասային հատվածում դիտարկվում են ընդգծված սկարպերով առանձնացած խոշոր բլուկային կառույցներ (նկ. 40),
- սողանքի հարաբերական մեծ չափերը,
- սողանքի սահքի մակերեսի փոքր անկյունը,
- սողանքի տեղադիրքը, որը հնարավոր չէ բացատրել միայն երկրաբանական կամ գեոմորֆոլոգիական հատկանիշներով:

Սոլոնենկոն (Solonenko, 1977) իրավացիորեն գտնում է, որ կարելի է խոսել սողանքի սեյսմածին լինելու մասին, եթե նրա առաջացման տարիքը համընկնում է ոչ հեռու մակերեսային խախտման տարիքի հետ և նրա սողանքային տիպը համընկնում է երկրաշարժով հարուցված այլ սողանքի հետ: Բնականաբար, նրանց առաջացման ժամանակների որոշման համար անհրաժեշտ են լրացուցիչ աշխատանքներ և հասակագրումներ, սակայն այս համագումարում կարևոր է ցույց տալ երիտասարդ մակերեսային խախտումների գոյությունը, այսինքն՝ սողանքի հարևանությամբ միջին կամ ուժեղ երկրաշարժի կամ երկրաշարժերի էպիկենտրոնների հարևանությունը, ինչն էլ մեր դեպքում հստակ զուգահեռվում է 1322թ. (Mw 6.6), 1992թ. (Mw 5.4) և 2024թ. (Mw 4.2) սեյսմիկ իրադարձությունների հետ (նկ. 43) (Ավագյան և ուր., 2022):

Այսպիսով, ելնելով վերը նշված սեյսմիկ իրադարձությունների տվյալներից, կարող ենք եզրահանգել, որ Երանոսի սողանքի սեյսմածին ծագումնաբանությունն ամենայն հավանականությամբ կապված է հարակից ակտիվ խզվածքների ակտիվության հետ և պնդել, որ Երանոսի սողանքը կրել է սեյսմիկ ազդեցություն: Դա ապացուցում են նաև սողանքի հյուսիսային թևում բացահայտված վարնետքային կինեմատիկայով

խախտումները (նկ. 44, տեղադիրքը տե՛ս նկ. 40-ում, մերկացում 2), ինչպես նաև 2024թ. երկրաշարժից արձանագրված տեղային ակտիվացումները:



Նկար 43. Սևանի ավազանի արևմտյան հատվածի սեյսմիկությունը 1962-2021թթ.-ի համար (ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Գեոարխեոլոգիայի և գեոմոնիթորինգի լաբորատորիա, 2021)



Նկար 44. Երանոս գյուղի նոր գերեզմանատան հարակից հատվածի 2-րդ մերկացումը՝ վարնետքներով, տեղադիրքը տե՛ս նկ. 40-ում

ԳԼՈՒԽ 4. ՍԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՋՐԱՅԻՆ ԱՎԱԶԱՆՈՒՄ: ԹՎԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ

4.1. Տեղանքի համառոտ բնութագիրը

Ուսումնասիրության տարածքը գտնվում է բարդ երկրադինամիկ հանգույցում, որտեղ առկա են տարբեր ակտիվ տեկտոնական, հրաբխային, գրավիտացիոն ազդեցություններ և այլ ծագման երկրաբանական գործընթացներ:

Շուրջ 300.000 բնակչություն ունեցող Սևանա լճի ավազանը Եվրասիայի ամենամեծ բարձրադիր (ալպյան) քաղցրահամ լճերից է և գտնվում է ծովի մակարդակից 1900մ բարձրության վրա: Լճի ջրային մակերեսը 1241կմ² է (Karakhanyan et al., 2016), որը կազմում է ՀՀ ամբողջ տարածքի 4.2%-ը: Նեոգեն-չորրորդական հասակ և տեկտոնահրաբխային ծագում ունեցող Սևանա լիճը (Karakhanyan et al., 2016; Avagyan et al., 2020) բաղկացած է երկու մասից՝ հյուսիսային Փոքր Սևանից (ավելի խորը) և հարավային Մեծ Սևանից: Ընդ որում, հարավային Մեծ Սևանը երկու անգամ մեծ է Փոքր Սևանից (Karakhanyan et al., 2016): Ամբողջ լճի երկարությունը գրեթե 75կմ է, առավելագույն խորությունը՝ ≈80մ:

Ուժեղ երկրաշարժերը խոշոր փլուզումների և նույնիսկ լճային ցունամիների ամենակարևոր պատճառներից են (Ichinose and Anderson, 2000): Թեև Սևանա լճում պալեոցունամիի որևէ ապացուցված դեպք հայտնի չէ, այնուամենայնիվ, ենթադրվել են երկրաշարժից առաջացած սեյշ-ալիքներ (Karakhanyan et al., 2016) և լճային ցունամի (Avagyan, 2019; Avagyan et al., 2020, Avagyan et al., 2024):

Կարևոր է հաշվի առնել այն հանգամանքը, որ միայն սեյսմատեկտոնական ակտիվությունը չի կարող լինել լճային ցունամիի առաջացման միակ նախապայման: Այլ գործոններ, ինչպիսիք են երկրաշարժի ուժգնությունը և գտնվելու վայրը, մակերեսային խզումն և կինեմատիկան, ինչպես նաև լճի ավազանի երկրաչափությունն և հիդրոդինամիկ բնութագրերը, նույնպես կարող են ազդել ցունամիի ալիքների առաջացման և տարածման վրա (Ioualalen et al., 2017; Colon et al., 2023):

4.2. Լճային ցունամիների համառոտ նկարագիրը

Լճերում ցունամիները կարող են առաջանալ լճային համակարգերի մեջ կամ շուրջ՝ նաև խզվածքի ակտիվության արդյունքում (Ichinose and Anderson, 2000): Խզվածքը ուղղահայաց շարժումով տեղաշարժում է երկրակեղևը վերնետքային, վարնետքային կամ կողաշարժային խզումներով՝ տեղաշարժելով ջրային ավազանը և առաջացնելով ցունամի: Փակ ավազանում, ինչպիսին լին է, ցունամիներն իրենցից ներկայացնում են որպես երկրաշարժից կո-սեյսմիկ տեղաշարժի արդյունքում առաջացած սկզբնական ալիք, իսկ սեյշը՝ որպես ներդաշնակ ռեզոնանս լճի ներսում (Ichinose and Anderson, 2000):

Թեև լճային ցունամիների մեծ մասն առաջանում է սողանքների հետևանքով, կարևոր է նաև հաշվի առնել սեյսմիկ ազդեցությունների և հարակից մակերևութային խզումների դերը ցունամիի առաջացման մեջ: Համաձայն «Հնդկական ցունամիի վաղ նախազգուշացման կենտրոնի (ITEWC-"Indian Tsunami Early Warning Centre", 2024), ցանկացած երկրաշարժի ժամանակ իրական ժամանակում հասանելի են միայն հիպոկենտրոնային պարամետրերն և ուժգնությունը: Քանի որ խզվածքի երկրաչափության մասին տեղեկատվությունը հասանելի է դառնում շատ ավելի ուշ, ապա ցունամիի մոդելավորումը, հատկապես ավիամերձ հեղեղման կանխատեսումը, չի կարող իրականացվել իրական ժամանակում գործառնական ցունամիի մասին ծանուցումներ ստեղծելու համար, քանի որ մոդելային գործարկումը զգալի հաշվարկային ժամանակ է պահանջում՝ համաձայն ITEWC-ի (2024):

Գործառնական ցունամիի քանակական կանխատեսման համար պետք է լինի մեթոդ՝ արագորեն գնահատելու տարածման ժամանակը և հեղեղման առավելագույն բարձրությունը (run-up)՝ հիմնված երկրաշարժի արագ հասանելի պարամետրերի վրա (երկրաշարժի ուժգնություն և հիպոկենտրոնի խորություն):

Վերոնշյալ պատճառներով ցունամիի հնարավոր վտանգի ըմբռնման և գնահատման լավագույն միջոցը երկրաշարժերի նախնական կամ հիպոթետիկ սցենարների ստեղծումն է, ինչպես օրինակ՝ ITEWC-ը (2024):

Միջլեռնային Թաիո լճի համար երկրաշարժի մի քանի հիպոթետիկ սցենարներ նույնպես քննարկվել և հաշվարկվել են (Ichinose and Anderson, 2000)՝ ավամերձ ալիքների բարձրությունների բաշխումը ավելի մանրամասն գնահատելու համար, չնայած Դյուի և Դիզեի նախորդ ուսումնասիրություններին (Dewey and Dize, 1987):

Նույն մոտեցումը կիրառվել է 1707թ.-ի Հոեի երկրաշարժի ցունամիի աղբյուրի վերանայված մոդելի և Ճապոնիայի Կյուսյու քաղաքում գտնվող Ռյուջին լճի ցունամիի ջրհեղեղի մոդելավորման համար (Furumura et al., 2011):

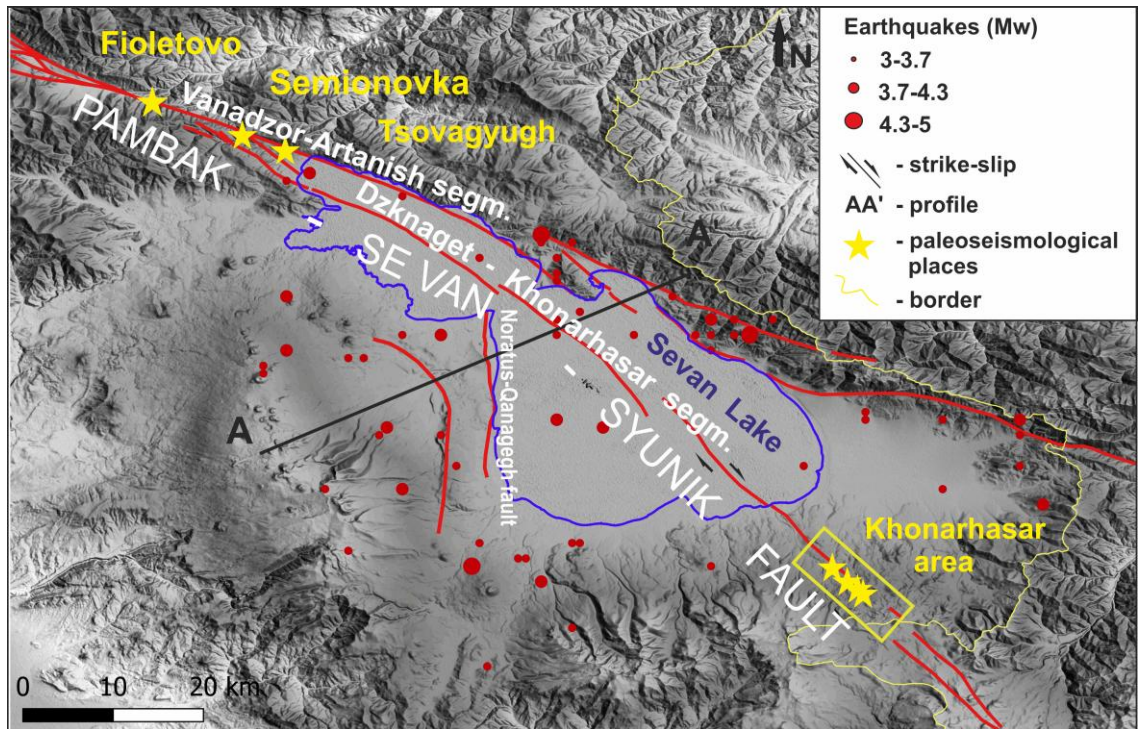
Այսպիսով, լճային ցունամիի ցանկացած համապարփակ գնահատում պահանջում է նորարարական մոտեցումների կիրառում՝ տարբեր երկրաբանական վտանգների և ռիսկերի փոխազդեցությունները բացահայտելու համար, հատկապես բնակեցված տարածքների, երկաթուղիների և ազգային նշանակության ճանապարհների առկայության պարագայում:

4.3. Տարածքի կառուցվածքային պատկերը

4.3.1. Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտ

Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտը, որն ունի մոտ 120° N և 89° անկման անկյուն, բնութագրվում է 82կմ երկարությամբ և 39կմ լայնությամբ խզվածքի հարթությամբ: Այս ուսումնասիրության համար հաջորդիվ ներկայացվող ցունամիի մոդելավորման նպատակով մենք ընտրել ենք սեզմենտի հարավային հատվածը, որն ունի մոտ 35կմ երկարություն և 22կմ լայնություն (աղյ. 3)՝ ըստ 2մ ուղղահայաց տեղաշարժի (հայտնաբերված պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրություններով՝ Ծովագյուղ գյուղի մոտ (Avagyan A. et al., in print): Սեզմենտի այս հատվածն ամբողջությամբ գտնվում է Սևանա լճի ավազանում՝ սահմանակից լինելով լճի ամենախոր հյուսիսարևելյան հատվածին՝ ≈ 80 մ առավելագույն խորությամբ: ՓՍՍ խզվածքի Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի վերնետքային բաղադրիչը լավ արտահայտված է ռելիեֆում (նկ. 45, 46a, c) և ներկայացված է ճնշման կատարներով (pressure ridge), ինչպես նկատվում է Ֆիոլետովո և Սեմյոնովկա տեղամասերում (Philip et al., 2001; Avagyan, 2001, 2019):

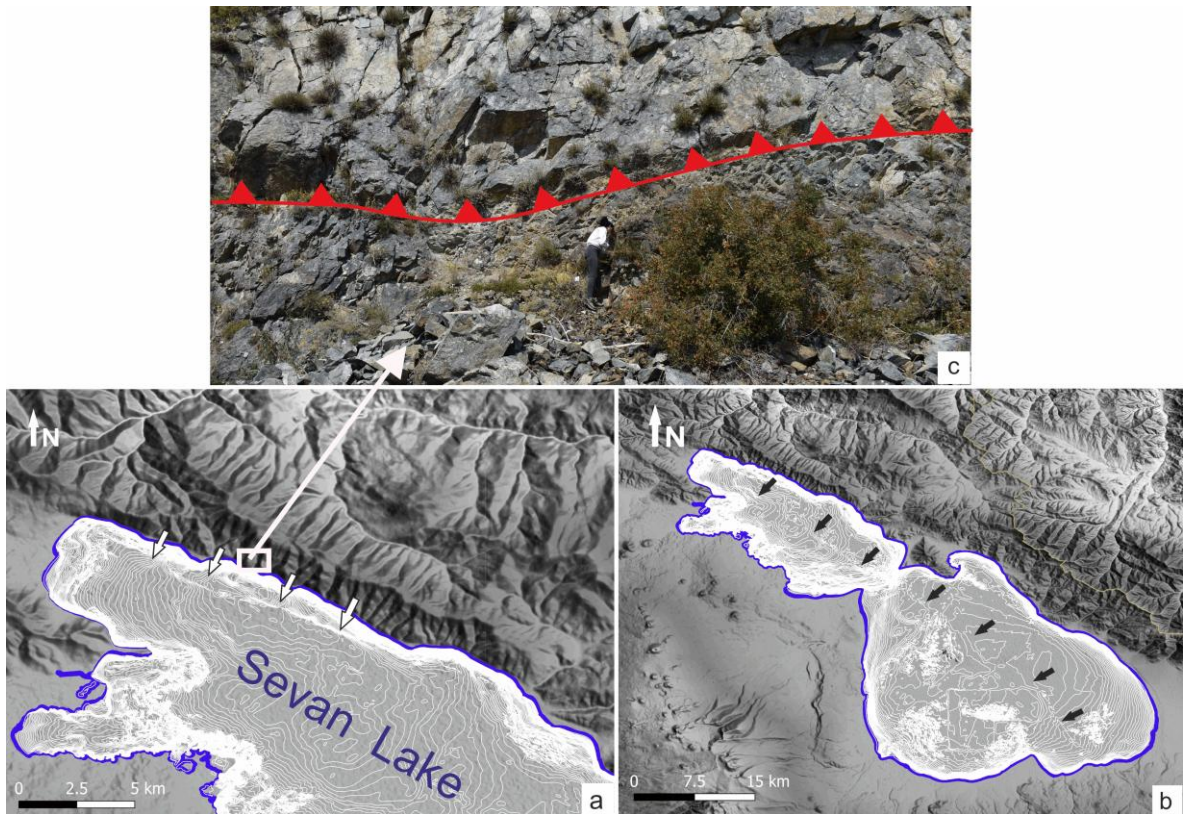
Մոտավորապես Ֆիոլետովոյի հատվածում, ՓՍՍ խզվածքը բաժանվում է երկու ճյուղերի (նկ. 45), որոնք սահմանակից են Ձկնագետի իջվածքին:



Նկար 45. Սևանա լճի ավազանի ակտիվ խզվածքներն (Ավագյան, 2019) ու սեյսմիկությունը 1962-2021թթ.-ի համար (Հայկական սեյսմիկ կատալոգ, 2023) (Avagyan et al., 2024)

Ֆիոլետովոյի և Սեմյոնովկայի տարածքներում անցկացված ավելի վաղ պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրությունները՝ ըստ C^{14} հասակային տվյալների, հայտնաբերել են երեք սեյսմիկ իրադարձություն (նկ. 45), ներառյալ մեկ սեյսմիկ իրադարձություն՝ մ.թ.ա. 7539-563թթ.-ին, որին հաջորդել են մ.թ.ա. 3078-200թթ.-ի և մ.թ.ա. 2333-403թթ.-ի սեյսմիկ իրադարձությունները (Philip et al., 2001; Ավագյան, 2019): Վերջին երկու սեյսմիկ իրադարձությունների մագնիտուդները հաշվարկվել են ավելի վաղ՝ ըստ Wells and Coppersmith-ի (1994թ.)՝ մոտ Mw 7.3 և Mw 7.2 (Philip et al., 2001; Avagyan 2001; Մկրտչյան, 2014): 995թ.-ին (Mw 6.2), 1187թ.-ին (Mw 6.2) և 1853թ.-ին (Mw 6.0) տեղի ունեցած երեք պատմական իրադարձությունների էպիկենտրոնները գտնվել են նաև Փոքր Սևանի հյուսիսարևելյան ափին՝ Վանաձոր-Արտանիշ և Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտների հարակից հատվածում (Karakhanyan et al., 2016): Ինչպես նախորդիվ նշվեց, Ծովագյուղ գերեզմանատան տարածքում

հայտնաբերվել է մակերևութային վերնետք խախտում՝ կողաշարժային բաղադրիչով (նկ. 45), որը հուշում է $M \sim 7.0$ պալեոերկրաշարժի մասին (Avagyan A. et al., in print):



Նկար 46. Սևանա լճի բաթիմետրիկ քարտեզներ՝ վերադրված ավազանի բարձրության թվային մոդելի (DEM) վրա, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս լճի հատակով անցնող խզվածքի հատվածները (Avagyan et al., 2024): a. Սլաքները ցույց են տալիս Վանաձոր-Արտանիշ հատվածը, որտեղ գերակշռող վերնետքային բաղադրիչը դրսևորվում է ափամերձ հատվածում (a, c): b. Նույնը՝ Ձկնագետ-Խոնարհասար կողաշարժի դեպքում

Լճի հյուսիսարևելյան ափամերձ հատվածում դիտվում է վերնետքային խախտման կինեմատիկա՝ կողաշարժի բաղադրիչով (նկ. 46c): Այս դիտարկումները թույլ են տալիս մոդելավորել Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածը հիմնականում որպես վերնետքային խզվածք:

4.3.2. Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտ

Ինչը վերաբերում է Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտին (Ավագյան, 2019), ապա այն ունի հիմնականում աջակողմյան կողաշարժային կինեմատիկա՝ փոփոխական

ուղղահայաց բաղադրիչով, որը կտրում է լճի ամբողջ կենտրոնական մասը (նկ. 45, 46b) (Trifonov et al., 1994; Philip et al., 2001; Avagyan, 2001; Davtyan, 2007; Karakhanyan et al., 2016): 130° N տարածմամբ, ~ 146 կմ երկարությամբ և ~ 26 կմ լայնությամբ (խզվածքի հարթությունում) Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտը ընդհանուր առմամբ ուղղագիծ է, ինչը ենթադրում է խզվածքի գրեթե ուղղահայաց հարթություն, որն անկում է 88° N (նկ. 45): Համաձայն լայնածավալ պալեոստրատիգրաֆիկական ուսումնասիրությունների (Philip et al., 2001; Avagyan, 2001, 2019; Davtyan, 2007; Karakhanyan et al., 2016; Ավագյան, 2019), Մեծ Սևանա լճի հարավարևելյան ափագծից 10-12կմ հեռավորության վրա, ըստ C^{14} հասակային տվյալների, բացահայտվել են հետևյալ սեյսմիկ իրադարձությունները՝ մ.թ.ա. 5655-4992թթ., մ.թ.ա. 3498-1262թթ. և մ.թ.ա. 12-9-րդ դդ. (նկ. 45): Այդ երեք ուժեղ երկրաշարժերն ունեն M_w 7.0-7.5՝ ըստ Wells and Coppersmith-ի (1994) և ուղեկցվել են մակերեսային խախտումով (Philip et al., 2001; Davtyan, 2007; Karakhanyan et al., 2016; Ավագյան, 2019): Տարածքում սեյսմիկ կայանների տեղադրումից հետո լճի հատակում բազմաթիվ աննշան սեյսմիկ իրադարձություններ են գրանցվել, որոնք սերտորեն կապված են Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի հետ (նկ. 45) (Karakhanyan et al., 2016): Վերոնշյալ տվյալները վկայում են, որ Սևանա լճի հատակի խզվածքները ակտիվ են և ունակ են առաջացնել ուժեղ երկրաշարժեր: Ուստի, ցանկացած սեյսմատեկտոնական մոդելի և սեյսմիկ վտանգի գնահատականներում, թե՛ Փոքր Սևանում, և թե՛ Մեծ Սևանում, պետք է հաշվի առնել երկար և մակերեսային դրսևորման ունակ (քափաբլ) խզվածքների առկայությունը (Karakhanyan et al., 2016): Հաշվի առնելով և կարևորելով նախորդիվ կատարված բոլոր ուսումնասիրությունները, այս ուսումնասիրության համար մենք կիրառել ենք երկրաշարժերի աղբյուրների մասշտաբավորման առաջադեմ էմպիրիկ օրենքները (Aki, 1966; Tingbaijam et al., 2017)՝ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային ստորջրյա հատվածի և Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի սեյսմիկ սցենարների թարմացված $M_{w(max)}$ արժեքների ստացման և լճային ցունամիի մոդելավորումն իրականացնելու համար:

4.4. Մեթոդի նկարագիրը

Ելնելով պնդումից, որ փակ ավազանում ցունամիները կոչվում են երկրաշարժի կո-սեյսմիկ տեղաշարժի արդյունքում առաջացած սկզբնական ալիք (Ichinose and Anderson, 2000), մենք դիտարկել ենք երկրաշարժի երկու հիպոթետիկ սցենար՝ լճային ցունամիի մոդելավորման համար՝ համաձայն Օկադայի մոդելի (Okada, 1985): Այս մոդելն օգտագործվում է ամբողջ աշխարհում՝ ջրային ավազանի հատակի դեֆորմացիան որոշելու՝ ցունամիի տարածման համար անհրաժեշտ նախնական պայմանները հաշվարկելու համար: Այս մոդելների համար պահանջվող հիմնական պարամետրերը ներառում են խզվածքի հարթություններ (երկարություն և լայնություն), տարածման, անկման, սահքի անկյուններ, երկրաշարժի խորություն ու մագնիտուդ: Ստեղծված սեյսմիկ ալիքը տատանվում է տվյալ աղբյուրի պարամետրերով. հետևաբար, վերը նշված պարամետրերի վերաբերյալ տեղեկատվությունը կարևոր է:

Ըստ Օկադայի (Okada, 1985), փակ վերլուծական արտահայտությունների ամբողջական փաթեթը ներկայացված է մակերևույթի տեղաշարժերի, լարումների և թեքությունների համար, ինչպես կետային, այնպես էլ վերջավոր ուղղանկյուն աղբյուրների դեպքում: Ստացված արտահայտությունները հզոր գործիք են ոչ միայն երկրաշարժերի առաջացման հետ կապված ստատիկ դաշտի փոփոխությունների վերլուծության, այլ նաև հեղուկի դեֆորմացիայի մոդելավորման համար (Okada, 1985): Այս մոդելում, չնայած տեսական դաշտերի հաշվարկման նման առաջընթացին, փաստացի դիտարկումների վերլուծությունները հիմնականում հիմնված են իզոտրոպ միատարր կիսատարածության ամենապարզ ենթադրության և աղբյուրի ամենապարզ կառուցվածքի վրա, հիմնականում այն պատճառով, որ այն առավել հարմար և օգտակար է որպես առաջին մոտավոր մոդել (Okada, 1985):

Սեյսմիկ աղբյուրների բազմազանությունը անպայմանորեն տալիս է ցունամիի տարածման տարբեր ժամանակներ, ալիքների ուղղորդումներ և կողմնորոշումներ, վերահսկելով ուժեղացնող (կենտրոնացում, ռեզոնանսներ) կամ թուլացնող գործոնները (դիֆրակցիա, ապակենտրոնացում):

Բնակչության և կառույցների համար ցունամիի վտանգի պատրաստվածության ծախսերը նվազագույնի հասցնելու համար օգտակար է մշակել ցունամիի ճշգրիտ և համապարփակ քարտեզագրում՝ հիմնված սպասվող ալիքի առավելագույն բարձրությունների վրա (Colon et al., 2023):

Այս ուսումնասիրության մեջ մենք քարտեզագրել ենք մեկ բաղադրիչ՝ ալիքի առավելագույն բարձրություն (Zmax): Ընդհանուր և ճշգրիտ քարտեզագրումը, առհասարակ, թույլ է տալիս բացահայտել պոտենցիալ վտանգված տարածքները, որպեսզի նվազագույնի հասցվեն ցունամիի պատրաստվածության ծախսերը, ինչը, ի վերջո, լրացուցիչ կարևոր տեղեկատվություն է խոցելի համայնքների համար:

Հաշվի առնելով տեղական սեյսմիկության, մորֆոտեկտոնիկայի և մասշտաբային վերջին օրենքների առանձնահատկությունները (Aki, 1966; Tingbajam et al., 2017), մենք նախ առաջարկել ենք Mw 6.9 սեյսմիկ սցենար ՓՍՄԽ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի համար՝ որպես վերնետք խզվածք: Սա Հայաստանի համար ամենահավանական սցենարն է՝ ըստ Հայաստանի երկրաշարժերի կատալոգի (2023): Հաջորդիվ, Ձկնագետ-Խոնարհասար կողաշարժի համար դիտարկել ենք Mw 7.5 սեյսմիկ սցենար (մանրամասները տե՛ս ստորև):

Այնուամենայնիվ, կո-սեյսմիկ ցունամիի վտանգի քարտեզագրումը նախ պահանջում է ցունամիգեն երկրաշարժերի ներկայացուցչական սցենարների և, հնարավոր է, ծայրահեղ սցենարների նույնականացում (Colon et al., 2023): Այսպիսով, անհրաժեշտ է որոշակի աստիճանի իմացություն՝ ենթադրյալ սեյսմիկ տարածքների մորֆոտեկտոնիկայի վերաբերյալ: Ծայրահեղ սցենարը՝ ցունամիի ամենաբարձր սկզբնական ալիքի բարձրությամբ և հոսանքով, պարտադիր չէ, որ առաջացնի ցունամիի ամենաբարձր ափամերձ ազդեցություն (Colon et al., 2023): Ընդհանրապես, ալիքի ուղղորդվածությունը՝ ալիքի ուժեղացման կարևորագույն գործոնը, հաճախ (ոչ միշտ) նույնական է աղբյուրների տարբեր սցենարների համար, քանի որ դրանք նախատեսված են դիտարկվող տարածքի նույն մորֆոտեկտոնիկայի և սեյսմիկության համար: Այնուամենայնիվ, հնարավոր է, որ երկրաշարժի ցածր մագնիտուդով ցունամիի ալիքի հաճախականության կոնտենտը «պայթուցիկ» ռեզոնանս առաջացնի: Օրինակ, ըստ Իոուալալեն և ուր.-ի (Ioualalen et al., 2017), ռեզոնանսները (բաց ծովում)

կարող են հայտնվել երկրաշարժերի մագնիտուդների շատ հազվադեպ պատուհանների համար, որոնք ներկայացնում են ցունամիների ուժեղացման հիմնական գործընթացները (Colon et al., 2023):

Պետք է հաշվի առնել, որ այս ուսումնասիրության մեջ դիտարկվող օբյեկտը սահմանափակ տիրույթով և շատ ավելի փոքր խորություն ունեցող լիճ է:

Այսպիսով, քանի որ բնական ռիսկի վերլուծությունը ինքնին բաղկացած է վտանգի և բնակչության ու ենթակառուցվածքների խոցելիության բացահայտումից, Սևանա լճի ցունամիի քարտեզագրումը նպատակ ունի բացահայտել վտանգի ազդեցության տակ գտնվող տարածքները՝ համաձայն հեղեղման ռիսկի, որը կարող է առաջանալ:

Վերջապես, Սևանա լճում ցունամիի վտանգի հասկացությանը մոտենալու համար մենք իրականացրել ենք ցունամիի ամբողջական քարտեզագրում հիպոթետիկ երկու սեյսմիկ սցենարների համար՝ հաշվարկելով ալիքի առավելագույն բարձրությունը (Z_{max}) Սևանա լճի ողջ ավազծի երկայնքով՝ 77մ, 25մ և 5.14մ ճշգրտության լուծաչափերով (Avagyan et al., 2024):

4.4.1. Սեյսմիկ սցենարներ

Ցունամիի առաջացման սկզբնական փուլի մոդելավորումը սերտորեն կապված է երկրաշարժի մեխանիզմների ուսումնասիրությունների հետ: Հետևաբար, Սևանա լճի ավազանում գրանցված բարձր մագնիտուդով հայտնի երկրաշարժերի բացակայության պատճառով, դիտարկել ենք վերը նշված երկու հիպոթետիկ երկրաշարժերի սցենարները ՓՍՄԽ-ի երկու ստորջրյա հատվածների ակտիվացման դեպքում:

Այսպիսով, առավելագույն երկրաշարժերի գնահատում իրականացնելու համար մենք մշակել ենք սեյսմիկ սցենարներ՝ հիմնվելով տեղական սեյսմիկության, մորֆոտեկտոնիկայի և մասշտաբային վերջին օրենքների վրա՝ օգտագործելով հետևյալ մոտեցումները.

1. Վանաձոր-Արփանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի համար կիրառվող մոդելում՝

- հատկապես կարևոր է ընդգծել, որ նկատի ունենալով ~2մ ուղղահայաց տեղաշարժը (հայտնաբերված պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրություններով՝ Ծովագյուղ գյուղի մոտ (Avagyan A. et al., in print)) և ածանցված պարամետրերը, առաջին հերթին կատարվել է հետադարձ վերլուծություն. իրականացվել է հիպոթետիկ երկրաշարժի ճշգրիտ ուժգնության որոշում՝ օգտագործելով էմպիրիկ մասշտաբային օրենքները (Aki, 1966; Tingbaijam et al., 2017): Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային ստորջրյա հատվածի համար մենք ստացել ենք Mw 6.9՝ որպես վերնետք խզվածք, ինչն էլ Հայաստանի երկրաշարժերի կատալոգի (2023) համաձայն, համահունչ է ՀՀ տարածքում գրանցված ամենամեծ՝ 1988թ.-ի Սպիտակի Mw 6.9 ուժգնությամբ երկրաշարժին (Avagyan et al., 2024):

- Ավելի մեծ ուժգնությամբ պալեոերկրաշարժեր նախորդիվ գնահատվել են (Philip et al., 2001) Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի ողջ երկարության համար՝ Mw>7, ըստ Wells and Coppersmith-ի (1994), սակայն լճային ցունամիի մոդելավորման համար հիմք է ընդունվել Mw 6.9 հաշվարկված արժեքը, առավել ևս, որ այն ունի ավելի բարձր հավանականություն:

Դիտարկումների հիման վրա Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի այս հատվածի կինեմատիկան հիմնականում ներառում է վերնետքային խզվածքային կարևոր բաղադրիչ:

2. Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի համար կիրառվող մոդելում

- Նույն ածանցման սկզբունքները (Aki, 1966; Tingbaijam et al., 2017) կիրառվել են Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի դեպքում՝ որպես կողաշարժ խզվածք: Մենք ստացել ենք Mw 7.5, որը լիովին համահունչ է ավելի վաղ Ֆիլիպ և ուր.-ի (Philip et al., 2001) և Կարախանյան և ուր.-ի (Karakhanyan et al., 2016) կողմից ստացված արդյունքներին: Սեյսմիկ սցենարների համաձայն լավագույն համապատասխան լուծումները տրամաչափվել են որպես խզվածքից բխող պարամետրեր՝ ներկայացված Աղյուսակ 3-ում:

(1) Սցենար 1-ի համար ~2մ ուղղահայաց տեղաշարժը որպես վերնետք խզվածք (հայտնաբերված պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրություններով՝ Ծովագյուղ գյուղի մոտ (Avagyan A. et al., in print)), կիրառվել է Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի

հարավային հատվածի համար՝ 300° N տարածմամբ, 80° սահքի և 89° N անկման անկյուններով, ~ 35 կմ երկարությամբ և ~ 22 կմ լայնությամբ (խզման հարթությունում): Սա համապատասխանում է M_w 6.9 մագնիտուդի արժեքին՝ համաձայն երկրաշարժերի էմպիրիկ վերջին օրենքների (Tingbajjam et al., 2017), խզվածքի գոտում սեյսմիկ իրադարձության կենտրոնի համապատասխան տեղադիրքով: Վերջապես, ստացված առավելագույն սահքի արժեքը՝ 1.1մ, համապատասխանում է $\sim M_w$ 6.9 արժեքին (Aki, 1966): Այսպիսով, քանի որ խզվածքի երկարությունն և լայնությունը պետք է հնարավորինս տրամաչափվեն մասշտաբային օրենքներով, համեմատած սահքի արժեքի հետ, որն ունի անորոշության ավելի մեծ պատուհան (Colon et al., 2023), ապա հաշվի առնելով խզվածքի 22 կմ լայնությունն ու 89° N անկումը (գրեթե ուղղաձիգ), երկրաշարժի կենտրոնի խորության համար որոշվել է 10 կմ-ը (աղյ. 3):

Աղյուսակ 3. Ցունամիի սեյսմիկ սցենարներ (Avagyan et al., 2024)

M_w 6.9 և M_w 7.5 մագնիտուդների հիպոթետիկ սեյսմիկ սցենարներ՝ ցունամիի մոդելների գործարկման համար օգտագործված խզվածքի պարամետրերով: (x_0, y_0) երկրաշարժի կենտրոնի տեղադիրքը, d -ն երկրաշարժի խորությունը, L -ը և W -ն խզվածքի երկարությունն ու լայնությունը, Δ -ն առավելագույն սահքի չափը (կենտրոնում), M_w -ն ածանցված մագնիտուդը, δ -ն խզման անկման անկյունը, φ -ն խզվածքի տարածման անկյունը, որը հաշվվում է ժամսլաքի ուղղությամբ, λ -ն խզման անկյունը, որը հաշվվում է խզման տարածման անկյունից՝ ժամսլաքի ուղղությամբ, min -ը և max -ը տարածքի առավելագույն իջեցում և բարձրացումն են, որոնք ստացվել են Օկադայի մոդելին համապատասխան (Okada, 1985):

PPSF segments	Mechanism	d (km)	L (km)	W (km)	Δ (m)	M_w	δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	λ ($^\circ$)	x_0, y_0	min, max (m)
Scenario 1											
Vanadzor-Artanishsector	Reverse	10	35	22	1.1	6.9	N 89	N 300	80	40.568 45.128	-1.09, 1.11
Scenario 2											
Dzknaget-Khonarhasar	strike-slip	15	146	26	1.7	7.5	N 88	N 130	135	40.369 45.359	-0.46, 0.49

(2) Համապատասխանաբար, ածանցման նույն սկզբունքները (Tingbaijam et al., 2017) կիրառվել են Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի համար, որպես կողաշարժ, խզվածքի համապատասխան 130° N տարածման, 135° սահքի և 88° N անկման անկյուններով, ~ 146 կմ երկարությամբ, ~ 26 կմ լայնությամբ և 15 կմ երկրաշարժի կենտրոնի խորությամբ և դրանց համապատասխան ~ 1.7 մ առավելագույն սահքով, որն էլ իր հերթին համապատասխանում է $M_w 7.5$ արժեքին (Aki, 1966) (աղյ. 3) (Avagyan et al., 2024):

4.5. Ցունամիի թվային մոդելավորում

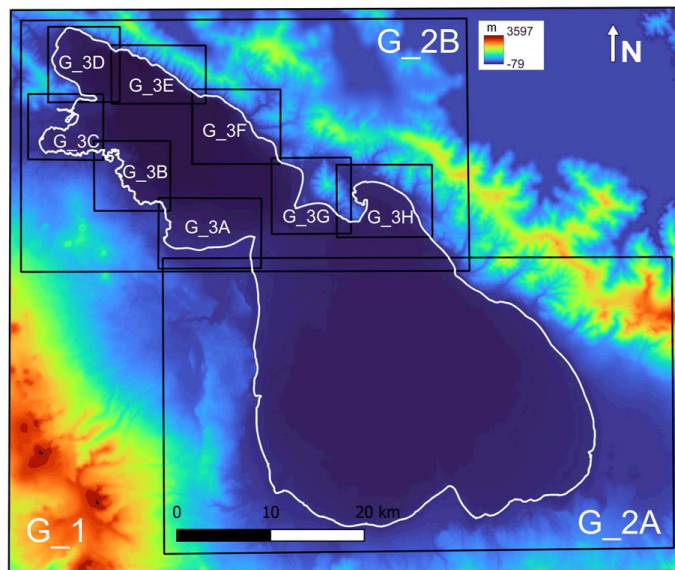
4.5.1. Հաշվարկման գործընթացը

(աշխատանքի սույն հատվածի թվային մոդելավորումներն իրականացվել են Ֆրանսիայի «Գեոագուր» լաբորատորիայի դոկտոր Մանսուր Իռուալալենի և Սիրել Կոլոնի համադեկավարությամբ)

Ցունամիի ածանցված սցենարները մոդելավորվել են COMCOT մոդելի միջոցով (Cornell multi-grid; Liu et al., 1995; Wang and Power, 2011): Ցունամիի մոդելավորման այս փաթեթը մշակվել է՝ ուսումնասիրելու ցունամիի ողջ «կյանքի» տևողությունը՝ ներառյալ առաջացումը, տարածումը, վազքը և հեղեղումը (Հավելված 4-ում ներկայացված է վերոնշյալ սցենարների մոդելավորման ողջ ծրագրային կոդը): Ներդրված մայր-դուստր ցանցերը կառուցվել են 5-ի և 3-ի հարաբերակցությամբ՝ երեք հաջորդական ցանցի լուծումների միջև: Ավելի կոպիտ մայր ցանցը՝ G_1-ը, ունի 77մ լուծելիություն, դուստր G_2A և G_2B ցանցերը՝ 25մ, իսկ G_2A ցանցն ինքնին ծառայում է որպես մայր ցանց՝ 5.14մ լուծաչափով 8 ենթացանցի համար (G_3A-G_3H), նկարագրելով ամբողջ Փոքր Սևանը (նկ. 47) (Avagyan et al., 2024):

Քանի որ ենթակառուցվածքները հիմնականում բաշխված են Փոքր Սևանի ափին, այսինքն՝ G_2A ցանցում, հետևաբար G_2B ցանցը չի նկարագրվում ավելի փոքր ենթացանցերով: COMCOT-ն աշխատում է գծային օրինաչափությամբ ավելի կոպիտ G_1 ցանցում, մինչդեռ ոչ գծային կոնվեկտիվ պայմանները մշակվում են ամենուր՝ հաշվի առնելով հոսանքների ոչ գծային վերաբաշխումը և այդպիսով նվազագույնի

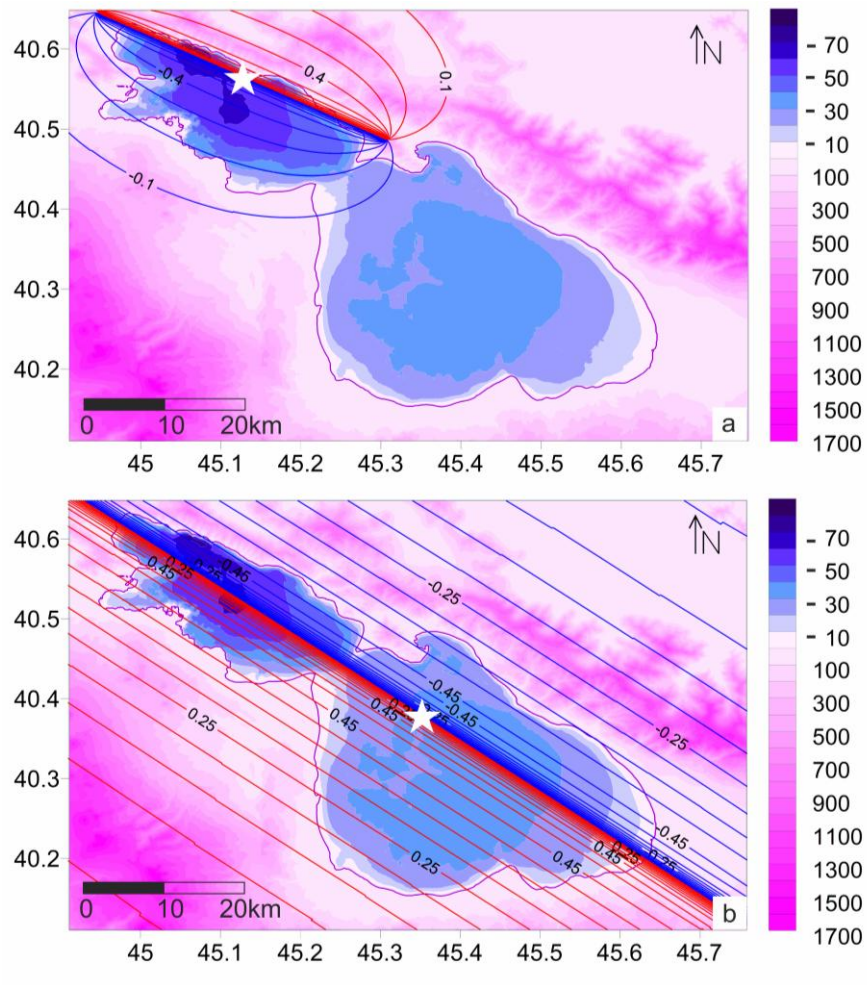
հասցնելով սխալները: Շփման ցրումը պարամետրացված է 0.025 Մենինգի ընդհանուր գործակցով (Colon et al., 2023): Ներդրված ցանցերը կառուցվել են բաթիմետրիկ և տեղագրական տվյալների միջոցով: Բաթիմետրիկ քարտեզը կազմվել է Սևանա լճի 1մ-անոց բաթիմետրիկ քարտեզի հիման վրա՝ կազմված 1980-ականների վերջին, Լենինգրադի քարտեզագրության ինստիտուտի կողմից: Քարտեզը թվայնացվել է՝ ձեռք բերելու բարձրությունների թվային մոդելը (DEM), որը հնարավորություն է տալիս բացահայտելու լճի հատակին ՓՍՍԽ-ի երկրաչափության շատ մանրամասներ: Ափամերձ հատվածի տեղագրությունը կազմվել է 1:10.000 մասշտաբի թվայնացված քարտեզով (ԵԳԻ քարտեզագրական ֆոնդ), լճի ափագիծը գծվել է Google Earth արբանյակային նկարին համապատասխան՝ ընդամենը մի քանի մետրի ճշտությամբ, իսկ հիմնական տիրույթի սահմանը կազմվել է 90մ լուծաչափի SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) տվյալների միջոցով (Avagyan et al., 2024):



Նկար 47. Հաշվարկային ներդրված տիրույթներ (աղյ. 4) (Avagyan et al., 2024): Ափագիծը գծված է սպիտակ գույնով, բաթիմետրիան և տեղագրությունը տե՛ս հետին պլանում

4.5.2. Երկրակեղևի դեֆորմացիա և սկզբնական մակերեսային ալիքներ

Mw 6.9 երկրաշարժի սցենարի համաձայն (1), սկզբնական ալիքներն ուղղված են դեպի Սևանա լճի հյուսիսային և հարավային մասերը միաժամանակ (նկ. 48a):



Նկար 48. a. Դեֆորմացիայի հաշվարկային ներդիր տիրույթ (աղյ. 4)՝ Mw 6.9 երկրաշարժի սցենար 1-ի համար (աղյ. 3) (Avagyan et al., 2024): Ալիքների գագաթները (կո-սեյսմիկ վերելք) ներկայացված են կարմիր գծերով, իսկ ալիքների հիմքերը (իջեցում)՝ կապույտով (0.1մ իզոուրվագիծ): Բաթիմետրիան և տեղագրությունը տե՛ս հետին պլանում: Երկրաշարժի կենտրոնները նշված են սպիտակ աստղանիշով: **b.** նույնը՝ Mw 7.5-ով 2-րդ սցենարի համար

Ակնկալվում է, որ հյուսիսային մասը (Փոքր Սևան) պետք է ենթարկվի ավելի մեծ ազդեցության, քան հարավայինը (Մեծ Սևան), քանի որ վերջինս գտնվում է դեֆորմացիայի գոտուց դուրս, իսկ լճի հարավային մասի առավելագույն խորությունը մոտ 30մ է (Avagyan et al., 2024):

Լճի հյուսիսարևելյան և հյուսիսարևմտյան ափերը ստանում են ալիքներ, որոնք գալիս են ավելի թույլ սկզբնական առավելագույն ամպլիտուդներով տարածքից և հասնում են իրենց վերջնական առավելագույնին: Լիճը հյուսիսային մասում շատ ավելի խորն է՝ առավելագույնը ~80մ:

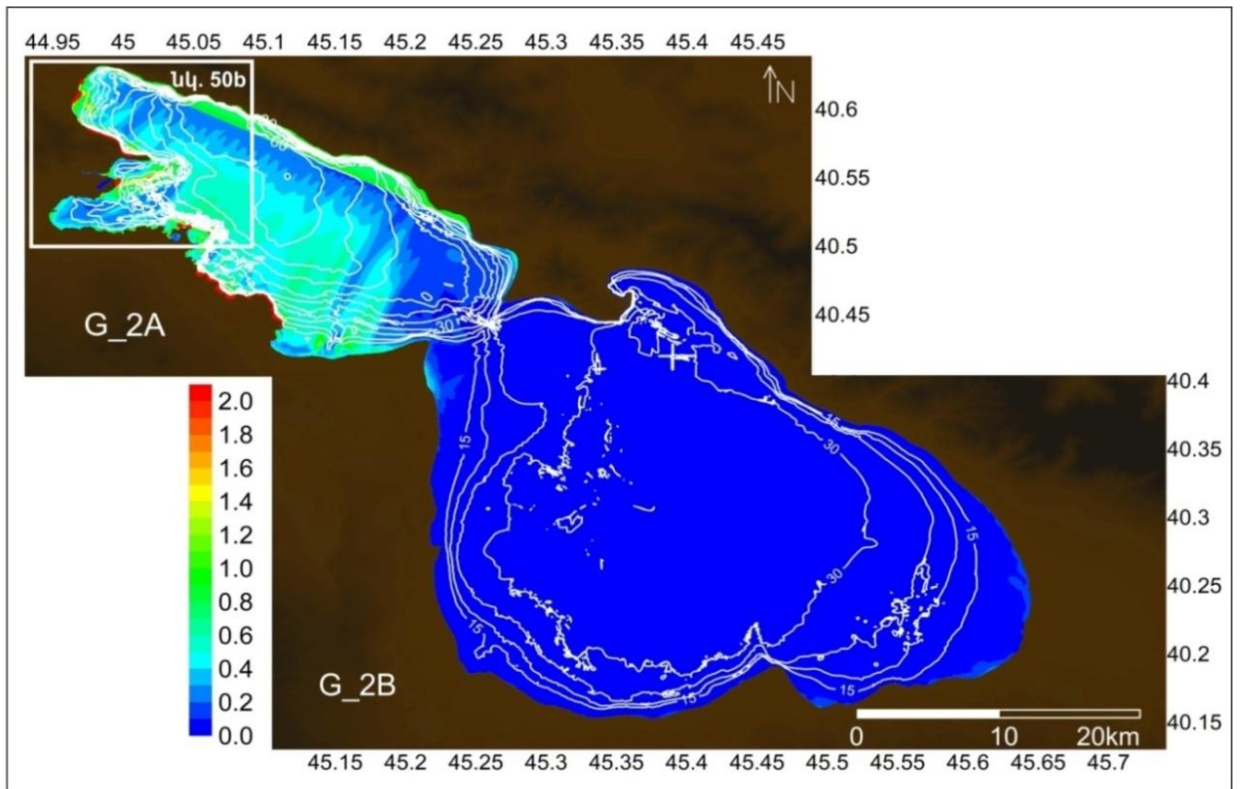
Աղյուսակ 4. Ներդրված հաշվարկային ցանցերի մանրամասները (նկ. 47) (Avagyan et al., 2024)
 (X_{min} , Y_{min}) և (X_{max} , Y_{max}) յուրաքանչյուր ցանցի SO և NE անկյունների դիրքերն են. dx -ը և dy -ը ցանցի երկայնական և լայնական լուծումներն են. N_x -ը և N_y -ը երկու հորիզոնական ուղղություններով հանգույցների քանակն է: Z_{max} -ը սիմուլյացված ցունամիի առավելագույն բարձրությունն է 5.14մ-ցանցում՝ Mw 6.9 սցենարի համար (1) և 25 մ-ցանցում՝ Mw 7.5 սցենարի համար (2):

Grids	X_{min} (°W)	X_{max} (°W)	Y_{min} (°N)	Y_{max} (°N)	$dx = dy$	N_x	N_y	Z_{max} (in m)	
								<i>Mw 6.9 scenario 1</i>	<i>Mw 7.5 scenario 2</i>
G_1	44.9109	45.7587	40.1103	40.6485	0.0009	943	599	2.56	2.42
G_2A	44.925	45.4884	40.398	40.6392	0.0003	1879	805	3.26	2.45
G_2B	45.1032	45.7413	40.1289	40.4106	0.0003	2128.00	940.00	0.55	2.35
G_3A	45.09774	45.22644	40.40124	40.46814	0.00006	2146.00	1116.00	4.07	-
G_3B	45.01704	45.11304	40.45614	40.52334	0.00006	1601.00	1121.00	3.87	-
G_3C	44.93364	45.02784	44.93364	40.56894	0.00006	1571.00	1056.00	3.05	-
G_3D	44.95884	45.04884	40.56024	40.63284	0.00006	1501.00	1211.00	3.28	-
G_3E	45.03864	45.15744	40.55874	40.61484	0.00006	1981.00	936.00	1.82	-
G_3F	45.14064	45.25044	40.50144	40.57224	0.00006	1831.00	1181.00	1.86	-
G_3G	45.23994	45.33984	40.43394	40.50714	0.00006	1666.00	1221.00	0.83	-
G_3H	45.32214	45.44214	40.43064	40.49994	0.00006	2001.00	1156.00	0.11	-

Սցենար 2-ի դեպքում (Mw 7.5) սկզբնական ալիքները տարածվում են թե՛ Փոքր Սևանում, և թե՛ Մեծ Սևանում, քանի որ խզվածքն անցնում է Սևանա լճի գրեթե կենտրոնական մասով և, համապատասխանաբար, ավելի թույլ սկզբնական առավելագույն ամպլիտուդներով տարածքից եկող ալիքները լճի հյուսիսարևմտյան ափերին հասնում են իրենց առավելագույնին (նկ. 48b): Երկու սցենարների համար Z_{max} արժեքները ցուցադրվում են Աղյուսակ 4-ում և ներկայացվում են ստորև:

Սցենար 1.

Համաձայն 1-ին սցենարի՝ լճի հյուսիսարևելյան հատվածը ենթարկվում է տեկտոնական վերելքի: Արդյունքում 1մ բարձրությամբ ալիքները տարածվում են նախ Փոքր Սևանի հյուսիսային ափով: Քանի որ դեֆորմացիան զարգանում է ափին շատ մոտ, այստեղ ալիքների ուժեղացում տեղի չի ունենում՝ սահմանափակ տիրույթի պատճառով: Սակայն Փոքր Սևանի հարավային հատվածում իրավիճակն այլ է:

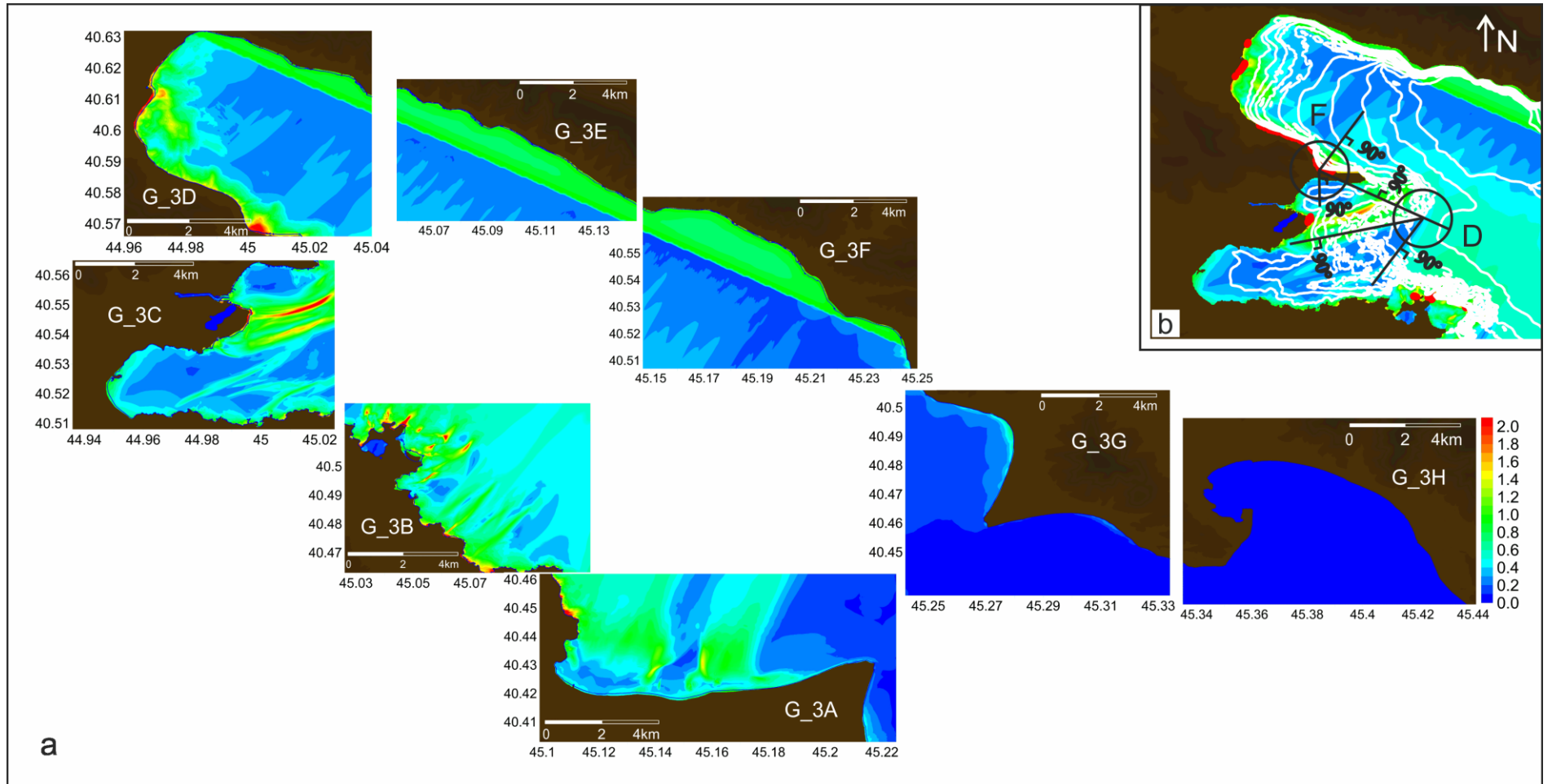


Նկար 49. Ցունամիի առավելագույն բարձրությունները (Z_{max} , մ-ով)՝ մոդելավորված Mw 6.9-ով 1-ին սցենարի համար (աղյ. 3), որը ներկայացված է G_2A և G_2B մայր ցանցերով (աղյ. 4) (Avagyan et al., 2024): Տեղագրությունը պատկերված է հետին պլանում: Բաթիմետրիան նշված է սպիտակ գույնով: Ընտրվել է 0-2մ միջակայքի գունային սանդղակ՝ ընդգծելու այն հատվածները, որտեղ ալիքը հասել է 2մ և ավելի բարձրության

Լճի հյուսիսային մասի վերելքի պատճառով ալիքներն ամբողջությամբ ուղղվում են դեպի հարավային հատված (G_3A, G_3B, G_3C ենթացանցեր՝ G_2A ցանցում) և հասնում են առավելագույն 4.07մ բարձրության՝ G_3A ենթացանցում: Սա հստակ պատկերված է նկ. 49 և նկ. 50a-ում (աղյ. 4), որտեղ քարտեզի գունային սանդղակն ընտրվել է 0-2մ միջակայքում՝ ընդգծելու այն տարածքները, որտեղ ալիքը հասել է 2մ և ավելի բարձրության (Avagyan et al., 2024):

G_3D ենթացանցի արևմտյան մասում դիտվել է 3.28մ բարձրությամբ ալիք, որի ազդեցությունը վերագրվում է լճի խորության և ծանծաղ ափի հարաբերակցությանը:

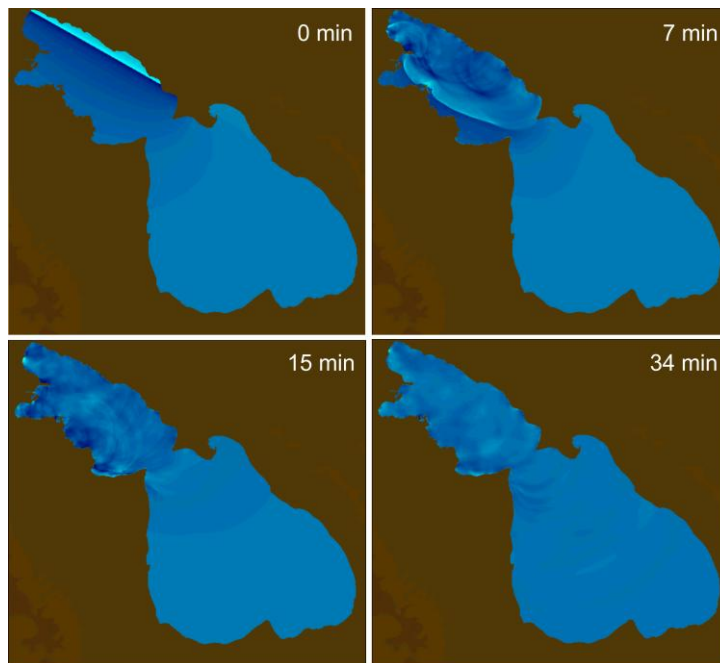
G_3D ենթացանցի հարավային և G_3C ենթացանցի հյուսիսային մասում դիտվում է ալիքների կենտրոնացում (focusing)՝ ստորջրյա տեղագրական առանձնահատկությունների և ափի մորֆոլոգիայի պատճառով (նկ. 50b, տե՛ս «F»):



Նկար 50. a. Ցունամիի առավելագույն բարձրությունների (Z_{max} , մ-ով) ընդլայնական պատկեր (Avagyan et al., 2024) G_2A մայր ցանցի G_3A-G_3H ենթացանցերում (աղյ. 4)՝ ըստ նկ. 47-ի: Երկրաշարժի դեֆորմացիայից հետո ափագիծը գծված է կապույտ գույնով: b. Ալիքների կենտրոնացման տարածքը ցույց է տրված (F)-ով, ապակենտրոնացման տարածքը՝ (D)-ով: Ընտրվել է 0-2մ միջակայքի գունային սանդղակ՝ ընդգծելու այն տարածքները, որտեղ ալիքը հասել է 2մ և ավելի բարձրության (ալիքի առավելագույն բարձրությունը 4.07մ է G_3A ենթացանցում, աղյ. 4)

Ստորջրյա տեղագրական առանձնահատկությունները, ինչպիսիք են կտրուկ փոփոխությունները, հանգեցնում են ցունամիի ալիքների կենտրոնացմանը և ալիքի բարձրության մեծացմանը, ավին մոտենալու պահին: Սա ալիքների կենտրոնացման տարածքն է, որը ցույց է տրված նկ. 50b-ում «F»-ով: Այս երևույթը, ընդհանուր առմամբ, կարող է հանգեցնել տեղայնացված տարածքների, որոնք զգալու են ավելի բարձր ալիքների ամպլիտուդներ և կրելու ավելի մեծ վնաս՝ համեմատած հարակից տարածքների հետ: Եվ հակառակը, G_3C ենթացանցերի արևմտյան մասում նկատվում է ալիքի ապակենտրոնացում (defocusing) (նկ. 50b, տե՛ս «D») (Avagyan et al., 2024):

Լճային ցունամիի մոդելավորման համար ընտրվել է 5 ժամ տևողություն: Նկար 51-ը ցույց է տալիս Սցենար 1-ի մոդելավորման ընդհանուր պատկերը, համապատասխանաբար, 0 րոպե, 7 րոպե, 15 րոպե և 34 րոպե հետո:



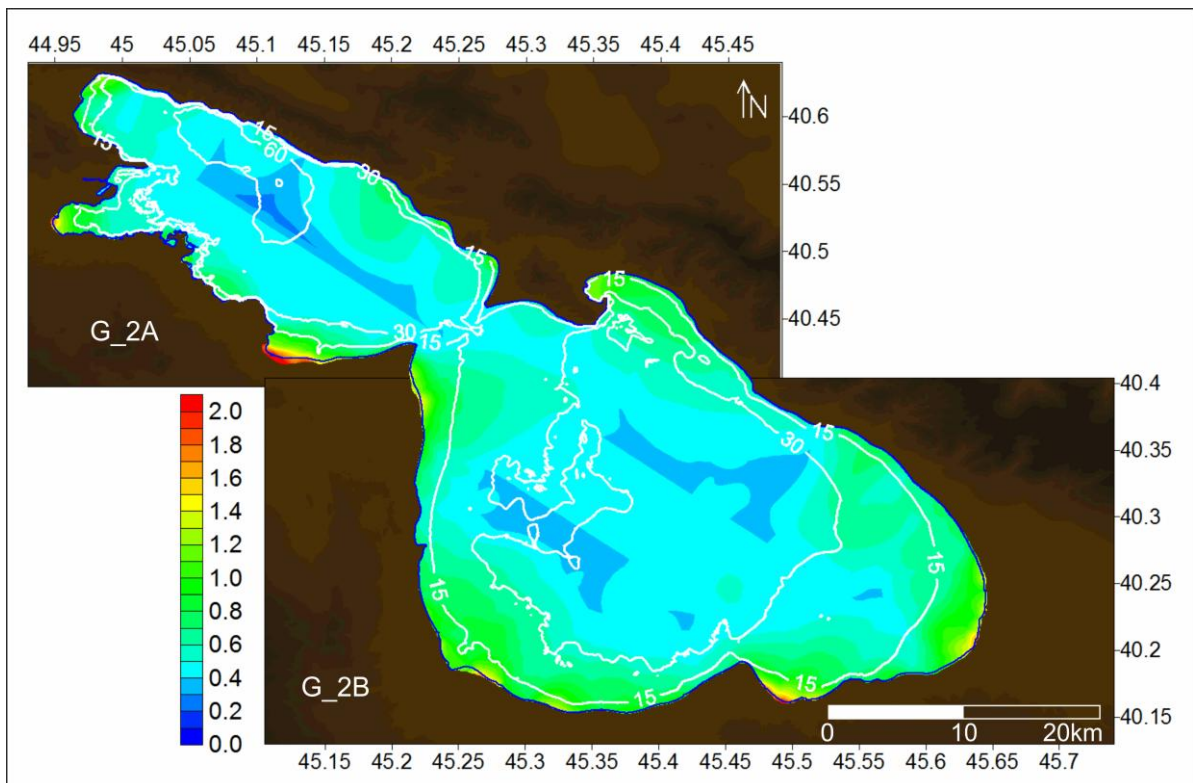
Նկար 51. Ցունամիի ալիքների ընդհանուր վարքագծի ժամանակային կախումը Mw 6.9-ով 1-ին սեյսմիկ սցենարի դեպքում՝ (աղյ. 3) (Avagyan et al., 2024)

Սցենար 1-ի (Mw 6.9) մոդելի համաձայն երկրաշարժի դեֆորմացիան հստակ արտահայտվում է Սևանա լճի հյուսիսարևելյան մասի վերելքով (նկ. 51): Դեֆորմացիայից 1 րոպե անց ալիքը հասնում է Փոքր Սևանի հյուսիսարևելյան ափերին: 7-րդ րոպեին ալիքի գագաթը հասնում է Փոքր Սևանի արևմտյան ափերին՝ անցնելով ~10կմ և 15-րդ րոպեին հեղեղում ամբողջ ափը: Այնուհետև ալիքները սկսում

են տարածվել Մեծ Սևանում, որտեղ աստիճանաբար նվազում են այնպես, որ գրեթե 1.5-2 ժամ հետո լճում ալիքների տարածումը մոտենում է կայունացման (Avagyan et al., 2024):

Սցենար 2.

Սցենար 2-ում, նույնիսկ 7.5 մագնիտուդի դեպքում, չկան բարձր ալիքներ, որը սովորաբար բնորոշ է կողաշարժային դեֆորմացիաներին: Այս սցենարում նույնպես, ալիքի 2.45մ առավելագույն բարձրությունը գրանցվել է G_2A մայր ցանցի G_3A ենթացանցում, ինչպես Mw 6.9-ով 1-ին սցենարում (նկ. 52, աղ. 3): Կողաշարժային կինեմատիկա ունեցող խզվածքները ցունամի չեն առաջացնում այն պարզ պատճառով, որ, ընդհանուր առմամբ, խզվածքի շարժման ներսում ուղղահայաց տեղաշարժ չի դիտվում, և միայն կողային շարժումը չի հանգեցնում ջրի անմիջական ուղղաձիգ տեղաշարժի (Avagyan et al., 2024):



Նկար 52. Ցունամիի առավելագույն բարձրությունները (Z_{max} , մ-ով)՝ մոդելավորված Mw 7.5-ով 2-րդ սցենարի համար (աղ. 3) (Avagyan et al., 2024), որը ներկայացված է G_2A և G_2B մայր ցանցերով (աղ. 4): Տեղագրությունը պատկերված է հետին պլանում: Բաթիմետրիան նշված է սպիտակ գույնով

Այսպիսով, Օկադայի մեթոդի կիրառմամբ (Okada, 1985), Սևանա լճում երկրաշարժերով հարուցված լճային ցունամիների ուսումնասիրությունն առաջին փորձն է՝ պայմանավորված ՓՍՍԽ-ի ստորջրյա սեզմենտների ակտիվացմամբ:

Գտնվելով Արաբա-Եվրասիական մայրցամաքային բախման գոտում՝ Կովկասի տարածաշրջանի ամենամեծ քաղցրահամ Սևանա լճի ավազանը բնութագրվում է մի շարք երկրաբանական վտանգներով, որոնք կարող են առաջացնել փոխկապակցված հրահրման իրադարձություններ: Ի թիվս այլ վտանգների, լճային ցունամիի վտանգը մնացել էր դեռ չուսումնասիրված:

Այսպիսով, ՓՍՍԽ սեզմենտների համար հաշվարկվել է երկրաշարժի երկու հիպոթետիկ սցենար՝ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի համար՝ Mw 6.9, որպես վերնետքային խզվածք և Mw 7.5՝ Ձկնագետ-Խոնարհասարի համար՝ որպես կողաշարժ: Այս առաջարկվող սեյսմիկ սցենարներում տրամաչափվել են լավագույն լուծումները, որպես խզվածքներից ածանցված պարամետրեր: Տարածքում գրանցված խոշոր երկրաշարժերի բացակայության պատճառով, ելնելով խզվածքի պարամետրերից, առաջին հերթին կատարվել է հետադարձ վերլուծություն՝ որոշելու երկրաշարժերի ուժգնությունը և ապա նոր միայն մշակվել են համապատասխան սցենարներ՝ հետագա լճային ցունամիների մոդելավորման համար:

Ի վերջո, Սևանա լճում ցունամիի վտանգի համար ստեղծվել են ցունամիի ալիքների առավելագույն բարձրությունների քարտեզներ: Փոքր Սևանը՝ ըստ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի Mw 6.9 սեյսմիկ սցենարի, ճանաչվել է որպես ամենախոցելի գոտի՝ գնահատված 4.07մ ալիքի առավելագույն բարձրությամբ (Z_{max}):

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Այսպիսով, սույն աշխատանքն իրենից ներկայացնում է Սևանա լճի ավազանում երկրաբանական վտանգների ուսումնասիրմանն ու դրանց հնարավոր փոխազդեցության բացահայտմանն ուղղված հետազոտություն, որը հատկապես ընդգծում է տարածքի երիտասարդ ակտիվ խզվածքների վտանգառաջացման ներուժը՝ այն ներկայացնելով արդի գիտատեխնիկական առաջընթացին համապատասխան պատճառահետևանքային հավանական մոդելներով:

Շրջակա միջավայրի վրա ակտիվ խզվածքների ազդեցությունների և դրանց մերձմակերևութային դրսևորումների ուսումնասիրումը կարևոր և արդի երկրաբանական խնդիր ու նպատակ է: Երկրաշարժամետ գոտիներում մակերևութային խախտումները տեղանքի երկրաբանական անցյալի գործընթացների կինեմատիկայի և դինամիկայի մասին վկայող տեղեկատվության կրիչներ են, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս առավել բարձր բնական գումարային վտանգի մակարդակ, քան մեկ առանձին երկրաբանական վտանգի դիտարկման դեպքում:

Այսպիսով, Սևանի ավազանում՝ Արեգունու լեռների հարավային զառիթափ հատվածում իրականացրել ենք լանջերի կայունության գնահատում՝ ստատիկ և դինամիկ պայմաններում: Ստատիկ պայմաններում գնահատվել է լանջի կայունության գործակիցը (FoS), ինչը ցույց է տալիս, որ լանջը ստատիկ վիճակում բավականին կայուն է՝ $2.33 > 1$: Պարամետրիկ անալիզը՝ հաշվարկված սահքի մակերեսի 10 անգամ ավելի թույլ պարամետրերով, նույնպես ցույց է տալիս լանջի կայունության գործակցի բարձր արժեք՝ $1.47 > 1$, ինչը մեկ անգամ ևս հաստատում է ստատիկ վիճակում լանջի կայունությունը: Դինամիկ վերլուծությունը ցույց է տալիս ուսումնասիրվող լանջի անկայունություն՝ մոտ 0.6մ առավելագույն տեղաշարժ, Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի և Ռիկերի 3.5<g հաճախականության ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կիրառման դեպքում: Արագացման ավելի բարձր $\geq 0.8g$ արժեքներ ստացվել են լանջի զառիթափ հատվածում՝ Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման արդյունքում: Այս լանջի համար հատկանշականն այն է, որ չնայած դեպի լիճ անկող անջատումների ավելի խիտ

բաշխվածությանը (88° SW), առկա են նաև հակառակ ուղղությամբ (42° NE) անջատումներ և ՓՍՍ խզվածքն իր սեգմենտներով (80° NE), որոնք կարծես հակակշռի դեր են խաղում՝ հավասարակշռելով ապարների զգալի տեղաշարժը դեպի լիճ:

Այսպիսով, հիմք ընդունելով Սևանի ավազանում՝ Արեգունու լեռների հարավային զառիթափի հատվածում, անցյալում տեղի ունեցած բլոկների իջեցումները, ինչպես օրինակ՝ եռանկյունաձև ֆասետները (Ավագյան, 2019), գրաբենային կառույցը (Ավագյան, 2023), ենթադրվող պալեոսողանքը (Karakhanyan et al., 2016), կատարել ենք լանջային գործընթացների հնարավոր զարգացումների ամբողջական գնահատում: Ստացել ենք ժայռային զանգվածների հնարավոր տեղաշարժը՝ պայմանավորված խզվածքի երկրաշարժածին ներուժով, այդպիսով ցույց տալով նման ապագա գործընթացների հավանականությունը ավիամերձ տարածքում, ուր առկա է ավտոճանապարհ և երկաթուղի:

Չնայած UDEC-ը (Universal Distinct Element Code) հզոր գործիք է, մասնավորապես, անջատումներով հարուստ ապարային զանգվածների վարքագիծը մոդելավորելու համար, այն ունի որոշ թերություններ և սահմանափակումներ: Այն հիմնական թերությունը, որին մենք բախվել ենք մեր աշխատանքի ընթացքում այն է, որ չնայած պահանջվող բարձր կարգի գեոմեխանիկական հաշվարկների, UDEC-ը պարզեցնում է ապարազանգվածի իրական վարքը: Օրինակ, մոդելը ենթադրում է ապարների բլոկների և խզվածքների իդեալականացված ձևեր և հատկություններ, որոնք կարող են ամբողջությամբ չարտացոլել բնական համակարգերի բարդությունը: Այս դեպքում ստեղծվում են հավելյալ պարամետրիկ մի քանի մոդելներ՝ տեղանքի ամբողջ իրադրությունը համադրելու ու վերլուծելու համար, ինչպես օրինակ՝ աշխատանքում ներկայացված գրունտային ջրերի պարամետրիկ անալիզների դեպքում:

Սևանա լիճը հարավարևմուտքից գոտևորող Գավառի հորստի Նորատու-Քանազեղ և Գավառազետ տեկտոնական խզվածքները, հիմնականում վարնետքային կինեմատիկայով ակտիվ կառույցներ են: Գավառի հորստի գոտում իրականացրած հետազոտությունները թույլ են տալիս մեծ հավանականությամբ Երանոս գյուղի սողանքը համարել սեյսմածին և պնդել, որ այն կրել է ակտիվ խզվածքների

ակտիվացման ազդեցություն՝ պայմանավորված Գավառագետի ակտիվ խզվածքային գոտու հետ տարածական հարևանությամբ, որի առավել արտահայտված սեզմենտները գտնվում են սողանքի հիմնական սկարպից ընդամենը 0.5կմ հեռավորության վրա: Սողանքի սեյսմաձնության մասին են վկայում վերջինիս թիկունքային հատվածում դիտարկված ընդգծված սկարպերով առանձնացած խոշոր բլոկային կառույցները, սողանքի հյուսիսային թևում բացահայտված վարնետքային կինեմատիկայով խախտումները, ինչպես նաև նախորդիվ բացահայտված համեմատ ավելի բարձր մագնիտուդային ներուժով երկրաշարժերի էպիկենտրոնների հարևանությունը (1322թ.՝ Mw 6.6, 1992թ.՝ Mw 5.4 և 2024թ.՝ Mw 4.2): Պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրություններով բացահայտվել է պալեոերկրաշարժ սողանքի արևելյան հատվածով անցնող Նորատու-Քանագեղ խզվածքի ուղղությամբ՝ մ.թ.ա. 1951±75 cal և 376±53 cal AD, ինչը նույնպես կազդեր Երանոսի սողանքի վրա, քանի որ ի տարբերություն խզվածքի լավ պահպանված մակերեսային խախտման, սողանքի հիմնական սկարպերը լավ հողմնահարված են:

Սույն աշխատանքում առաջին անգամ գնահատվել է երկրաշարժից առաջացած ցունամիի վտանգը Կովկասի ամենամեծ՝ Սևանա լճում, երկրաշարժի երկու հիպոթետիկ սցենարով: Հայաստանում երկրաբանական վտանգներին և դրանց հնարավոր փոխազդեցություններին վերաբերող ուսումնասիրությունների ոլորտում սա նոր մոտեցում է և կարևոր ձեռքբերում, հատկապես հաշվի առնելով, որ Սևանա լճի ավազանը կազմում է << ընդհանուր տարածքի $\approx 4.2\%$ -ը:

Մինչ այժմ, համաշխարհային մակարդակով, լճային ցունամիի հետազոտությունը համեմատաբար ավելի քիչ է կենտրոնացած եղել մակերևութային խզման հետևանքով առաջացած ցունամիների ուսումնասիրության վրա: Ուստի, աշխատանքը տրամադրում է երկրաշարժից առաջացած լճային ցունամիների տարբերակիչ վերլուծություն՝ Սևանա լճի օրինակով, որպես նախադեպ:

Լճային ցունամիի ալիքի առավելագույն բարձրությամբ՝ Z_{max} -ի միջոցով, հաշվարկվել են ցունամիի քարտեզներ՝ 5.14մ և 25մ բարձր լուծելիությամբ, Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային վերնետքային հատվածի և Ձկնագետ-Խոնարհասար կողաշարժի համար:

Որպես վերնետք, Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի քարտեզագրումն իրականացրել ենք ավելի բարձր լուծաչափով և ավելի մանրամասն (1), քանի որ ուղղահայաց բաղադրիչն անհրաժեշտ և կարևոր է նախապայման է ցունամիի առաջացման համար: Կարևոր է ընդգծել, որ բավականին բարձր լուծաչափով քարտեզագրման նպատակը եղել է ամբողջ լճափի երկայնքով հնարավորինս ճշգրիտ տվյալներ ստանալը: Զգալի ջանքեր են գործադրվել տվյալներն ավելի համադրելի դարձնելու համար, ներառյալ ավագծի տվյալները՝ ընդամենը մի քանի մետր ճշտությամբ: Արդյունքում ստեղծվել են շատ ճշգրիտ հաշվարկային տիրույթներ, որոնք ընդգրկում են Սևանա լճի ողջ ավազանը:

Իրականացվել է հիպոթետիկ սեյսմիկ սցենարների մշակում և ընտրություն՝ ուր սեյսմիկ օրենքների ու հաշվարկների կիրառումը պետք է համապատասխանի ուսումնասիրության տարածքի կառուցվածքային և մորֆոմետրիկ օրինաչափություններին և ունենա բարձր հավանականություն: Քանի որ խզվածքի դիտարկված հատվածներում գրանցված բարձր մագնիտուդով որևէ սեյսմիկ իրադարձություն հասանելի չէր, մենք օգտագործել ենք պալեոսեյսմաբանական և մորֆոլոգիական տվյալներ և երկրաշարժերի մասշտաբավորման առավել ժամանակակից օրենքներ (Aki, 1966; Tingbaijam et al., 2017):

Սցենար 1-ի համաձայն, 89° N անկման անկյան դեպքում Օկադայի մոդելն (Okada, 1985) աշխատում է 1մ անկում և 1մ վերելք օրինաչափությամբ, որը համապատասխանում է դաշտային հետազոտության մեջ դիտարկված գրեթե ուղղահայաց 2մ դեֆորմացիային: Մոդելավորման բազմաթիվ փորձերի արդյունքում հաջողվեց մշակել սեյսմիկ սցենարներ, որոնք լավագույնս համապատասխանում են ուսումնասիրվող տարածքի խզվածքի պարամետրերին, երկրաշարժի ուժգնությանը և ակտիվ կառուցվածքային պարամետրերին:

Թեև Օկադայի մոդելը հզոր գործիք է երկրակեղևի դեֆորմացիաները մոդելավորելու համար և զգալիորեն զարգացրել է երկրաշարժերի մեխանիկայի և լճային ցունամիի առաջացման մեր ըմբռնումը, այդուհանդերձ, այն ունի մի քանի սահմանափակումներ (Okada, 1985): Մեր ուսումնասիրության մեջ ամենակարևորները հետևյալն են.

- մոդելը օգտագործում է խզվածքի ուղղանկյուն հարթություններ, որոնք կարող են ճշգրիտ չներկայացնել բնական խզվածքների բարդ երկրաչափությունները: Իրական խզվածքները կարող են ունենալ անկանոն ձևեր, բազմաթիվ հատվածներ և տարբեր անկման անկյուններ, որոնք կարող են ազդել դեֆորմացիայի ձևի վրա,

- Օկադայի մոդելը հիմնականում օգտագործվում է ստատիկ (ակնթարթային) դեֆորմացիայի համար և հաշվի չի առնում խզվածքի խզման դինամիկ կողմերը, ինչպիսիք են սեյսմիկ ալիքների տարածումը և ժամանակից կախված սահքի տատանումները: Դինամիկ ազդեցությունները կարող են ազդել ցունամիի առաջացման սկզբնական պայմանների վրա:

Ամփոփելով. թեև Օկադայի մոդելի սահմանափակումները պահանջում են մանրակրկիտ քննարկումներ և հաճախ ինտեգրում այլ մոդելների և տվյալների աղբյուրների հետ՝ իրական սցենարների բարդությունները լիովին ընկալելու համար, այն լայնորեն օգտագործվում է հեղուկի դեֆորմացիայի դաշտերի մոդելավորման համար (Okada, 1985): Սա, զուգորդված խզվածքների բարդ երկրաչափությամբ, այն դարձնում է հզոր գործիք, ինչպես գիտական հետազոտությունների, այնպես էլ՝ ցունամիի վտանգի գնահատման և մեղմացման գործնական կիրառման համար:

Այսպիսով, այն կարևոր պատկերացումներ է տալիս նաև լճերում ցունամիի առաջացման մեխանիզմների վերաբերյալ՝ ուժեղացնելով մեր ըմբռնումը և կանխատեսման հնարավորությունները: Ահա մի քանի հիմնական ցուցիչներ.

- Օկադայի մոդելը (Okada, 1985) կարող է կարգավորել խզվածքի բարդ երկրաչափությունը, այն թույլ է տալիս ուսումնասիրել, թե ինչպես են խզման տարբեր պարամետրերը (խզվածքի երկարությունը, լայնությունը, սահքի մեծությունը և կողմնորոշումը) ազդում առաջացող ցունամիի վրա: Առաջին հերթին դա օգնում է ավելի լավ հասկանալ, թե որ տեսակի երկրաշարժերն են ավելի հավանական լճերում զգալի ցունամիներ առաջացնելու համար:

- Երկրաշարժերի հետևանքով առաջացած դեֆորմացիան մոդելավորելու հուսալի մեթոդ տրամադրելով՝ այն օգնում է կանխատեսել հնարավոր ցունամիները լճերում: Սա անգնահատելի է վտանգի գնահատման և վաղ նախազգուշացման համակարգերի մշակման համար, որոնք կարող են փրկել կյանքեր և նվազեցնել վնասը:

- Մոդելը կարող է օգտագործվել պատմական երկրաշարժերը վերականգնելու համար՝ մոդելավորելով անցյալի հայտնի երկրաշարժերը և համեմատելով արդյունքները երկրաբանական և պատմական գրառումների հետ: Սա կարող է բարելավել անցյալի իրադարձությունների մեր ըմբռնումը և կատարելագործել ապագա կանխատեսումների մոդելները, ինչպես Սևանա լճի դեպքում, որը նկարագրված է ստորև:

Առավել ուշագրավ են Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային ստորջրյա հատվածի (1) Z_{max} -ի արդյունքները՝ հաշվի առնելով, որ այս սցենարն ամենափրատեսականն է և կատարելապես արտահայտում է խզվածքի ներկայիս կինեմատիկան: Այս սցենարի դեպքում Z_{max} -ի բոլոր բարձր արժեքները գտնվում են Փոքր Սևանի տիրույթում, որտեղ էլ կենտրոնացված են ավիամերձ գոտու հիմնական ենթակառուցվածքները: Միևնույն ժամանակ, Մեծ Սևանում Z_{max} -ի բարձր արժեքներ չեն դիտվում, քանի որ այն գտնվում է դեֆորմացիայի գոտուց դուրս: 4.07մ առավելագույն արդյունքները համապատասխանում են G_{3A} ենթացանցին, իսկ 3.87մ, 3.05մ և 3.28մ արժեքները՝ G_{3B} , G_{3C} և G_{3D} ենթացանցերին:

Կողաշարժային կինեմատիկայով Ձկնագետ-Խոնարհասար սեզմենտի համար (2) Z_{max} -ի առավելագույն արժեքը դիտվում է 2.45մ՝ G_{2A} մայր ցանցի ներսում, ինչպես Վանաձոր-Արտանիշի դեպքում էր, և համապատասխանաբար 2.35մ՝ Մեծ Սևանի հարավային մասում գտնվող G_{2B} մայր ցանցում:

Կարևոր է հաշվի առնել այն փաստը, որ Սևանա լիճը << ամենաթեժ զբոսաշրջային կետերից է և ամռան ամիսներին ամենաշատ բնակեցված նրա լողափերը պոտենցիալ հեղեղելի են:

Այսպիսով, տարածաշրջանում առաջին անգամ կատարվել է փակ, լճային ավազանի համար ցունամիի գնահատում՝ թվային մոդելավորմամբ: Այն ապացուցում է, որ ստորջրյա խզվածքի ակտիվ սեզմենտի ակտիվությամբ Սևանա լճում հնարավոր է լճային ցունամի: Միևնույն ժամանակ, ստացված նոր արդյունքները օգտակար կլինեն նաև իշխանությունների և տեղական համայնքների համար և կարևոր ներդրում կունենան.

- ՀՀ-ում երկրաբանական վտանգների քանակական և որակական գնահատականներում,
- աղետների ռիսկի նվազեցման գործում,
- ՀՀ աղետների քարտեզների կազմման կամ թարմացման աշխատանքներում,
- աղետների վերաբերյալ հանրային իրազեկվածության մակարդակի բարձրացման ոլորտում,
- գոտիավորման կանոնակարգերի, շինարարական կանոնների և զարգացման սահմանափակումների մշակման մեջ,
- ենթակառուցվածքների բարելավման և արտակարգ իրավիճակներին արձագանքման ռազմավարություններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Աղամայան Վ.Ա. Հայաստանի երկրակեղևի կազմավորման և զարգացման հիմնական փուլերը: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, 2004, 57, N2, էջ 17-22:
2. Ավագյան Ա., Բադալյան Մ., Հարությունյան Ռ., Ասատրյան Ա., Սահակյան Լ., Աթայան Թ., Ավագյան Ս. Հնագիտական և պատմաճարտարապետական հուշարձանների կարևորությունը Սևանա լճի ավազանի արևմտյան հատվածի երկրաբանական երևույթների քանակական գնահատականներում: Ծովային Հայաստան, «Ուդուրի-Էթիունի երկրի հնագիտական ժառանգությունը», հնագիտության և ազգագրության ինստիտուտի հրատարակչություն, 2022, էջ 50-60:
3. Ավագյան Ա.Վ. Ակտիվ խզվածքների մերձակերևութային դրսևորումները: ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակություն, 2019, 277 էջ:
4. Ավագյան Ա.Վ., Սահակյան Լ.Հ., Աթայան Թ.Պ., Հովակիմյան Հ.Գ., Թոզալաքյան Պ.Վ. Նոր տեսլոնական տվյալներ Նորատուա-Քանազեղ ակտիվ խզվածքի տարածման գոտում: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, 2017, 70, N1, էջ 60-75:
5. Ավագյան Ա.Վ. Ակտիվ խզվածքների մերձակերեսային դրսևորումները շրջակա միջավայրում: ԵԳԻ, Երևան, 2013, 292 էջ:
6. Ավագյան Ս. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային գործընթացների վրա: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, 2023, 76, N1, էջ 24-40:
7. Դուրգարյան Բ.Ռ. Ուժեղ երկրաշարժերի «սեյսմիկ անդորր» նախանշանի առանձնահատկությունները Կովկասում, Ատենախոսություն, 2006, 148 էջ:
8. Խարազյան Է.Խ. Հայաստանի երկրաբանական քարտեզ 1:500 000 մասշտաբի, 2005:
9. Կարապետյան Ս., Ջրբաշյան Ռ., Նավասարդյան Գ. Գեղամա և Վարդենիսի բարձրավանդակների Չորրորդական հրաբխային առաջացումների երկրաբանական քարտեզ 1:100 000 մասշտաբի, 2011:

10. «ՀԱՅՆԱԽԱԳԻԾ» ԲԲԸ, Եզրակացություն ՀՀ Գեղարքունիքի մարզի Երանոս գյուղի տարածքի ինժեներակառուցական պայմանների մասին, 2020:
11. Հարությունյան Ռ.Ա. Եվս մեկ անգամ IX դարի Դվինի (Հայաստան) ավերիչ երկրաշարժերի մասին: Դեպքերի քանակը և նրանց թվագրումը: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտությունների Երկրի մասին, 2021, 74, N1, էջ 40-49:
12. Մկրտչյան Մ. Փամբակ-Սևան-Սյունիք ակտիվ խզվածքի հյուսիս-արևմտյան և հարավ-արեւելյան հատվածների մորֆոստրուկտուրային և պալեոսեյսմաբանական առանձնահատկությունները, Առենախոսություն, 2014, 115 էջ:
13. Զրբաշյան Ռ.Տ. Հրաբխագիտության հիմունքները և Հայաստանի նորագույն հրաբխականությունը: ՀՀ ԳԱԱ Գիտություն հրատարակչություն, 2013, 120 էջ:
14. 2012-2021թթ. ժամանակահատվածի երկրաշարժերի էպիկենտրոնների քարտեզ ՀՀ և հարակից տարածքների համար: ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Գեոարխետոլոգիայի և գեոմոնիթորինգի լաբորատորիա, 2021:
15. ՀՀ ՆԳՆ օգոստոսի 14-ի մամլո հաղորդագրություն՝ օգոստոսի 12-ի Գեղարքունիքի մարզի երկրաշարժի մասին, 2024:
16. Авакян Л.С., Арутюнян М.А., Саакян К.А. Отчет о поисковых работах на северо-восточном побережье оз. Севан (результаты работ Аревикского отряда Гидрогеологической экспедиции за 1973-1975 года), Министерство Геологии СССР, Управление Геологии Совета министров Армянской ССР, 1976, Ереван, стр. 2-30.
17. Агамалян В.А., Саркисян О.А., Лорсабян Т.К., Израелян А.Г. Основные тектонические единицы Армении, Ученые записки Ереванского государственного университета, 2012, 1, стр. 3-12.
18. Асламян А.Т., Закарян К.А., Акобян С.С., Караханян А.С., Микаелян А.О. О глубинной структуре Тавро-Кавказского региона по данным сейсмологических исследований и космического зондирования. Изд. АН Арм ССР, Науки о земле, 1982, 4, стр. 3-11.
19. Асламян А.Т. Основные черты геологического строения Армении. Изд. АН Арм ССР, Науки о земле, 1981, 3, стр. 6-22.
20. Асламян А.Т. Региональная геология Армении. Ереван, Айпетрат, 1958, 430 стр.
21. Асламян А.Т. Карта тектонической зональности Арм. ССР, 1957.
22. Бальян С.П., Бошнагян П.С. Палеогеография и гидрология бассейна озера Севан. В сб.: Вопросы геологии Кавказа. Ереван, Изд. АН Арм ССР, 1964, стр. 37-48.

23. Вардапетян А.Н. Позднекайнозойская тектоника плитчерноморско-каспийского региона. *Океанология*, 1979, 19, 6, стр. 1066-1074.
24. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Ф.П. Сейсмотектоника Армянской ССР, Изд. Ереванского университета, Ереван, 1981, стр. 284.
25. Габриелян А.А. Положение Армении в тектонической структуре Кавказско-Анатолийского-Иранского сегмента алпийской складчатой области. Изд. АН Арм. ССР, *Науки о Земле*, 1970, 23, 3, стр.11-42.
26. Габриелян А.А. Новейшая тектоника и сейсмичность Армянской ССР и смежных частей Антикавказа. *Известия АН Армянской ССР, Геологич. и географич. науки*, 1963, 16 (4-5), стр. 63-76.
27. Габриелян А.А. О важности неотектоники в формировании структуры и рельефа Армении. Изд. АН Арм. ССР, 1950, 57, 4.
28. Гамкрелидзе П.Д. Тектоническое развитие Анатолийско-Кавказско-Иранского сегмента среднеземноморского пояса. *Геотектоника*, 1977, 3, стр. 25-37.
29. Джрбашян Р.Т., Меликсетян Х.Б., Навасардян Г.К., Григорян Е.С., Геворкян Р.П., Гукасян Ю.Г. Каталог четвертичных вулканов Республики Армения, 2024, 212 стр. DOI: 400 10.54503/978-9939-1-1809-3
30. Джрбашян Р.Т., Карапетян С.Р., Мнацаканян А.Х. Позднеколлизийный риолитовый вулканизм СВ части Армянского нагорья. *Труды ГИНАН Грузии*, Тбилиси, 2002, 117, стр. 63-93.
31. Каплян П.М., Галстян А.Р., Григорян Л.А., Карапетян А.И., Шагинян Г.В., Эксузян Ц.О. Геохимия природных вод бассейна оз. Севан. Издательство НАН РА, Ереван, 1997, 288 стр.
32. Карапетян К.И. Вулканы Гегамского нагорья (Морфология, строение, классификация, связь с трещинной тектоникой). Академия Наук Арм. ССР. ИГН. Ереван, 1965, 278 стр.
33. 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*, 2004, 57, 1, стр. 3-24.
34. Караханян А.С., Баласанян В.С. Активная динамика зоны Спитакского землетрясения. *Изв. НАН РА, Науки о Земле*, 1992, 2, стр. 12-21.
35. Корженков А.М., Аванесян М.А., Вирджино А., Караханян А.С. Сейсмогенные конволюции в четвертичных отложениях озера Севан (Армения). *Геология и геофизика*, 2014, 55, 1, стр. 56-65.

36. Кочарян А.Е., Ширинян К.Г. Каталог Верхнеплиоцен-Четвертичных Вулканов Арм. ССР Том 2, Вулканы Гегамской и Варденисской вулканических областей. Изв. Ереван, 1978, 301 стр.
37. Лилиенберг Д.А., Матцкова В.А. Тенденции современных вертикальных движений Малого Кавказа и Армянского нагорья. Рап. АН СССР, Геология, 1970, 194, 1, стр. 171-174.
38. Лилиенберг Д.А., Матцкова В.А., Горелов С.К. и др. Карта современных вертикальных движений земной коры и морфоструктурные закономерности Кавказа. Сб. Проблемы современных движений земной коры. М.: Наука, 1969, стр. 142-156.
39. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 483 стр.
40. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. Изд. Московского Университета, 1963, 357 стр.
41. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Севанской впадины. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Геологии, 1960, 35, 5, 61 стр.
42. Милановский Е.Е. Геологическое строение и история формирования Севанской впадины. ИГН АН Арм. ССР, 1953, 1-2, 786 стр.
43. Милановский Е.Е. Новые данные о строении неогеновых и четвертичных отложений бассейна оз. Севан. Изв. АН СССР. Серия геолог, 1952, 4, стр. 110-119.
44. Назаретян С.Н. Глубинные разломы территории Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, 1984, 118-127, стр. 39-52.
45. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Геодакян Э.Г., Гаспарян Г.С., Григорян В.Г. Выделение зон возникновения очагов землетрясений на основе сейсмологической идентификаций и параметризации основных элементов структурно-динамической модели земной коры Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2008, 61, 1, стр. 39-43.
46. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурно динамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу геофизических данных. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2005, 3, стр. 46-53.
47. Паффенгольц К.Н. Геология Армении. Государственное издательство геологической литературы министерство геологии СССР, Москва, 1948, 895 стр.
48. Паффенгольц К.Н. Сейсмотектоника Армении и прилежащих частей Малого Кавказа. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1946, стр.
49. Хайн В.Е., Кац Я.Е., Селицкий А.Г. Тектоническое районирование и основные черты современной структуры Алпийского пояса Ближнего и Среднего Востока (статья 1-Западный сегмент), Изв. Высших Учебных Заведений, Геология и Разведка 1973, 3, стр. 3-17.

50. Adamia S.A, Chkhotua T., Kekelia M., Lordkipanidze M., and Shavishvili I. Tectonics of the Caucasus and adjoining regions: Implications for the evolution of the Tethys Ocean. *J. Struct. Geol.*, 1981, 4, pp. 437-447.
51. Aki K. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 14, 1964. Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy and stress-strain drop from G wave spectrum. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 1966(b) 44, pp. 73-88.
52. Arutunova L.L., Tozalakyan P.V., Avagyan A.V. Fauna of Holocen mollusce in the Berdkunk-Hayrivanq sector of the Lake Sevan. International conference "Biological diversity and conservation problems of the fauna of the Caucasus", Abstract volume. Yerevan, Armenia, 2011, September 26-29, pp. 54-55.
53. Avagyan A., Ritz J.-F. , Avagyan S., Alaverdyan G., Arzhannikova A., Arzhannikov S., Sahakyan L., Armenyan T., Hakimov F., Badalyan R. Age, kinematics, and magnitude of the last surface rupturing event along the central Pambak-Sevan-Syunik fault (Armenia): probable implications for landslides and lake tsunamis, *Journal of Asian Earth Sciences* (in print).
54. Avagyan A., Sahakyan L., Meliksetian K., Karakhanyan A., Lavrushin V., Atalyan T., Hovakimyan H., Avagyan S., Tozalakyan P., Shalaeva E., Chatainger C., Sokolov S., Sahakov A., and Alaverdyan G. New evidences of Holocene tectonic and volcanic activity of the western part of Lake Sevan (Armenia). *Geological Quarterly*, 2020, 64, 2, pp. 288-303, doi:<http://dx.doi.org/10.7306/gq.1530>
55. Avagyan A., Sosson M., Sahakyan L., Sheremet Y., Vardanyan S., Martirosyan M., Muller C. Tectonic evolution of the South-Eastern margin of the Ararat basin, (Lesser Caucasus, Armenia). *Journal of Petroleum geology*, 2018, 41, 4, pp. 495-512.
56. Avagyan A., Sosson M., Karakhanian A., Philip H., Rebai S., Rolland Y., Melkonyan R., & Davtyan V. Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions. In: Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R., Bergerat F., and Starostenko V. (eds), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geol. Soc. of London, Special Volume 2010, 340, pp. 393-408.
57. Avagyan A., Sosson M., Philip H., Karakhanian 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, pp. 401-416.
58. Avagyan A. Estimation of the slip rates and the recurrence intervals of strong earthquakes on the fault system of Pambak-Sevan-Sunik (Armenia): Segmentation and relation with volcanic activity. PhD Thesis, Montpellier II University, France, 2001, 246 p.

59. Avagyan S., Arakelyan D., Alaverdyan G., Egnatosyan N., Avagyan A. Insights into earthquake-induced tsunamis in the Caucasus' largest Lake Sevan. *Journal of Scientific Reports*, 2024, 14, 30011. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81884-z>
60. Badalyan R. New data on the periodization and chronology of the Kura-Araxes culture in Armenia. *Paléorient*, 2014, 40, 2, pp. 71-92.
61. Badalyan R., From Homogeneity to Heterogeneity. The Periodization and Chronology of Kura-Araxes: The View from Armenia. In: Giemsch L. and Hansen S. (eds), *The Caucasus-Bridge between the urban centres in Mesopotamia and the Pontic steppes in the 4-th and 3rd millennium BC. The transfer of knowledge and technologies between East and West in the Bronze Age. Proceedings of the Caucasus conference, Frankfurt am Main, 2018. Schriften des Archäologischen Museums Frankfurt 34*, Schnell, & Steiner, 2021, pp. 211-222.
62. Balassanian S., Karakhanian A., Arakelian A. *The high Seismic Risk on the Territory of the Republic of the Armenia and Bordering States*, NSSP, Yerevan, 1993.
63. Barton N., Bandis S. Effects of block size on the shear behavior of jointed rock. In: *Proc. 23-rd US Symposium on Rock Mechanics. American Rock Mechanics Association*, 1982, pp. 739-760.
64. Barton N. and Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 1977, 10, 1, pp. 1-54.
65. Barton N. A model study of rock-joint deformation, *Int. J. Rock Mech. Min.*, 1972, 9, pp. 579-602.
66. Bassoullet J.P., Elmi S., Poisson A., Cecca F., Bellion Y., Guiraud R., and Baudin F. Middle Toarcian (184-182Ma). In: Dercourt J., Ricou L.E., and Vrielynck B. (eds), *Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps. Explanatory Notes. Gauthier-Villars, Paris*, 1993, pp. 153-178.
67. Bathe K.-J., Wilson E.L. *Numerical Methods in Finite Element Analysis*; Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1976.
68. Brune J.N. Precariously balanced rocks and ground-motion maps for southern California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1996, 86, pp. 43-54.
69. Colon S., Ioualalen M., Clouard V. Mapping of the seismic tsunami intensity along the coast of Martinique, Lesser Antilles. *Ocean and Coastal Management*, 2023, 242, 106674. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106674>
70. Coulomb C.A. An attempt to apply the rules of maxima and minima to several problems of stability related to architecture. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 1776, 7, pp. 343-382.

71. Crozier M.J. Determination of paleoseismicity from landslides. In: Bell D.H. (ed), *Landslides (Glissements de terrain)*, Int. Symp., Christchurch, New Zealand, 1992, 2, pp. 1173-1180.
72. Cundall, P.A. A Computer Model for Simulating Progressive, Large-Scale Movements in Blocky Rock Systems. *Rock. Mech.*, 1971, 8, pp. 129-136.
73. Davtyan V. Active Faults of Armenia: Slip Rate Estimation by GPS, Paleoseismological and Morpho-Structural Data. PhD Thesis, Montpellier II University, France, 2007, 244 p.
74. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F., and Stein S., Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 1990, 101, pp. 425-478.
75. Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.-E., Kazmin V.G., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjacquet C., Sbertshikov I.M., Geysant J., Lepvrier C., Pechersky D.H., Boulin J., Sibuet J.-C., Savostin L.A., Sorokhtin O., Westphal M., Bazhenov M.L., Lauer J.P., and Biju-Duval B. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlas to the Pamirs since the Lias, *Tectonophysics*, 1986, 123, pp. 241-315.
76. Dewey J.F., Hempton M.R., Kidd W.S.F., Saroglu F., Sengör A.M.C. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone. *Spec. Publ.-Geol. Soc. London*, 1986, 19, pp. 3-36.
77. Dewey R.L. and Dise K.M. Fault displacement seiche waves on inland reservoir and lakes, in the 18-th joint meeting of the US-Japan Cooperative Program in Natural Resources panel. *National Bureau of Standards NBSIR*, 1987, pp. 289-303.
78. Dorbath L. and Cisternas A. Recent Great Earthquakes of the Caucasus region. In: Giardini D. and Balassanian S. (eds), *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*, Kluwer Academic Publishers, 1997, pp. 401-442.
79. Earthquake Catalog of Armenia, 2023.
80. Faccenna C., Bellier O., Martinod J., Piromallo C., & Regard V. Slab detachment beneath eastern Anatolia: A possible cause for the formation of the North Anatolian fault. *Earth and Planetary Science Letter*, 2006, 242, pp. 85-97.
81. Fenton C., Charusiri P., and Wood S.H. Recent pleoseismic investigations in northern and western Thailand, *Ann. Geophys.*, 2003, 46, 5, pp. 957-981.
82. Furumura T., Imai K., Maeda T. A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116, B02308. <https://doi.org/10.1029/2010JB007918>

83. Galoyan G. Etudes petrologiques, geochemiques et geochronologiques des ophiolites du Petit Caucase (Armenie). These de Docteur en Sciences de l'Universite de Nice-Sophia Antipolis, 2008, 287 p.
84. Gholamy A., Krienovich V. Why Ricker wavelets are successful in processing seismic data: Towards a theoretical explanation. In Proceedings of the Computational Intelligence for Engineering Solutions (CIES), 2014 IEEE Symposium, Orlando, FL, USA, 2014, 9-12 September; pp. 11-16. Available online: https://scholarworks.utep.edu/cs_techrep/861 (accessed on 15 July 2023).
85. Golonka J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic, *Tectonophysics*, 2004, 381, pp. 235-273.
86. Hakimov F., Havenith H.-B., Ischuk A., and Reicherter K. Assessment of site effects and numerical modeling of seismic ground motion to support seismic microzonation of Dushanbe city, Tajikistan. *Geosciences*, 2024, 14, 5, 117, <https://doi.org/10.3390/geosciences14050117>
87. Hamblin B.K. Patterns of displacement along the Wasatch Fault, *Geology*, 1976, 4, pp. 619-622.
88. Haroutiunian R.A. Asatryan A.H., Nazaretyan S.N., Egnatosyan N.M., Avagyan A.V., Asatryan A.H. A new point of view at the destructive 1827 Tsaghkadzor earthquake. International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Abstract volume. Tbilisi, Georgia, 2023, November 16-17, pp. 23-26.
89. Hoek E. and Diederichs M.S. Empirical estimation of rock mass modulus. *International journal of rockmechanics and mining sciences*, 2006, 43, 2, pp. 203-215.
90. Hoek E., Carranza-Torres C., and Corkum B. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 2002, 1, 1, pp. 267-273.
91. Hoek E. and Brown E.T. Practical estimates of rock mass strength. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 1997, 34, 8, pp. 1165-1186.
92. <https://app.visiblegeology.com/stereonetApp.html>
93. Ichinose G.A. and Anderson J.G. The potential hazard from tsunami and seiche waves generated by large earthquakes within Lake Tahoe, California-Nevada. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27, 8, 1203-1206. <https://doi.org/10.1029/1999GL011119>
94. Indian National Tsunami Early Warning System, 2024. <https://tsunami.incois.gov.in/TEWC/tsunamimodeling.jsp>
95. Ioualalen M., Pelletier B., Solis Gordillo G.X. Investigating the March 28th 1875 and the September 20th 1920 earthquakes/tsunamis of the southern Vanuatu arc, offshore Loyalty Islands. New Caledonia. *Tectonophysics*, 2017, 709, pp. 20-38. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.006>

96. Itasca Consulting Group, Inc. UDEC-Universal Distinct Element Code, Version 4.0 User's Manual; Itasca: Minneapolis, MN, USA, 2006.
97. Jackson J.A., McKenzie D.P. Active tectonics of the Alpine–Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1984, 77, pp. 185- 264.
98. Kar S.S., Roy L.B. Probabilistic Based Reliability Slope Stability Analysis Using FOSM, FORM, and MCS, *Engineering, Technology, & Applied Science Research*, 2022, 12, 2, pp. 8236-8240.
99. Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Sadoyan T. Aspects of the seismotectonics of Armenia: New data and reanalysis. In: Sorkhabi R. (ed), *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: Geological Society of America, GSA Special Paper*, 2016. [https://doi.org/10.1130/2016.2525\(14\)](https://doi.org/10.1130/2016.2525(14))
100. 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, pp. 39-45.
101. Karakhanyan A., Arakelyan A., Avagyan A., Baghdasaryan H., Durgaryan R., Abgaryan Ye. The Seismotectonic Model, Seismic Hazard Assessment for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP: "NorAtom" Consortium Final Report: Yerevan, Armenia, Ministry of Energy of the Republic of Armenia, and Vienna, International Atomic Energy Agency, 2011, 328 p.
102. Karakhanian A.S., Trifonov V.G., Philip H., Avagian A., Hessami K., Jamali F., Bayraktutan S.M., Bagdassaria N.H., Arakelian S., & Davtian V. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey, and North-western Iran. *Tectonophysics*, 2004, 380, pp. 189-219.
103. 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, pp. 31-62.
104. 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, pp. 319-344.
105. Karakhanyan A., Tozalakyan P., Grillot J.C., Philip H., Melkonyan R., Paronyan D., Arakelyan S. Tectonic impact on the Sevan Lake environment (Armenia). *Environmental Geology*, 2001, 40, 3, pp. 279-288.

106. Karakhanyan A.S., Jrbashian R.T., Trifonov V.G., Philip H., Ritz J.-F. Active faults and strong earthquakes of the Armenian Upland. In: Giardini D. & Balassanian S. (eds), *Historical Earthquakes of Caucasus*, ILP Publication, 1996, 333, pp. 181-188.
107. Keller E.A. and Pinter N. *Active Tectonics: Earthquake, Uplift, and Landscape*. Upper Shaddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996, 338 p.
108. Knipper A.L., Khain E.V. The structural position of ophiolites of the Caucasus. *Ofioliti*, Special Issue, 1980, 2, pp. 297-314.
109. Knipper A.L., Satian M.A., Bragin N.Yu. Upper Triassic-Lower Jurassic volcanogenic and sedimentary deposits of the Old Zod Pass (Transcaucasia), Moscow. *Journal Stratigraphy, geological correlation*, 1997, 3, pp. 257-265.
110. Kuhlemeyer R.L., Lysmer J. Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems. *J. Soil. Mech. Found*, 1973, 99, pp. 421-427.
111. Liu P.L.F., Cho Y.-S., Briggs M.J., Synolakis C.E., Kanoglu U. Runup of solitary waves on a circular island. *J. Fluid Mech.*, 1995, 302, pp. 259-285.
112. McCalpin J.P., *Paleoseismology*. Academic Press, New-York, 2009, 802 p.
113. McCalpin J.P. and Nelson A.R. Introduction to Paleoseismology. In: McCalpin J.P. (ed), *Paleoseismology*, International geophysics series, 1996, 62, 588p.
114. McKenzie D.P. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 1972, 30, pp. 109-185.
115. Mohr O. *Abhandlungen aus dem Gebiete der Technischen Mechanik* (2-nd ed). Ernst, Berlin, 1914.
116. Nikishin A.M., Cloetingh S., Brunet M.-F., Stephenson R., Bolotov S.N., and Ershov A.V. Scythian Platform and Black Sea region: Mesozoic-Cenozoic tectonic and dynamics. In: Crasquin-Soleau S. and Barrier E. (eds), *Peri-Tethys Memoir 3: Stratigraphy and Evolution of Peri-Tethyan Platforms*, *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, 1998, 177, pp. 163-176.
117. Okada Y. Surface displacement due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1985, 75, 4, pp. 1135-1154. <https://doi.org/10.1785/BSSA075004113575>
118. 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*, 343, 2001, pp. 205-232.
119. Philip H., Karakhanian A. Tremblements de terre et archéologie. *Pour la Science*, 1999, 261, pp. 36-40.

120. Philip H., Cisternas A., Gvishkiani A., Gorshkov A. The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, 1989, 161, pp. 1-21.
121. Rebai S., Philip H., Dorbath L., Borissoff B., Haessler H., Cisternas A. Active tectonics in the Lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures. *Tectonics*, 1993, 12, 5, pp. 1089-1114.
122. Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., ArRajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov V., Gomez F., Al-Ghazzi R., and Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111, B05411, pp. 1-26. doi:10.1029/2005JB004051.
123. Ricker N. The form and laws of propagation of seismic wavelets. *Geophysics*, 1953, 18, pp. 10-40.
124. Ricou L.E. Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to South-eastern Asia. *Geodinamica Acta*, 1994, 7, pp. 169-218.
125. Ritz J.-F., Avagyan A., Mkrtychyan M., Nazari H., Blard P.H., Karakhanian A., Philip H., Balescu S., Mahan S., Huot S., Münch P., Lamothe M. Active tectonics within the NW and SE extensions of the Pambak-Sevan-Syunik fault: Implications for the present geodynamics of Armenia. *Quaternary International*, 2016, 395, pp. 61-78.
126. Robertson A.H.F. Overview of genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 2002, 65, pp. 1-67.
127. Seismic Hazard Assessment for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP, "NorAtom" Consortium, Final Report, Yerevan, February, 2011.
128. Sengör A.M.C., Yilmaz Y. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 1981, 75, pp. 181-241.
129. Sengör A.M.C., Kidd W.S.F. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 1979, 55, pp. 361-376.
130. Solonenko V. Seismogenic deformations and the paleoseismogeological method. In *Seismic Zonation of Eastern Siberia and Its Geological and Geophysical Basis*, Nauka Publishing House, Novosibirsk, 1977, pp. 5-47.
131. 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: Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R., Bergerat F., and Starostenko V. (eds), *Sedimentary Basin Tectonics*

from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Special Volume. Geol. Soc. of London, 2010, 340, pp. 329-352.

132. Taymaz T., Jackson J., McKenzie D. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.*, 1991, 106, pp. 433-490.

133. Thingbaijam K.K.S., Mai P.M., Goda K. New Empirical Earthquake Source-Scaling Laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2017, 107 (5), pp. 2225-2246. <https://doi.org/10.1785/0120170017>

134. Trifonov V.G., Sobolva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A. In: Leonov U.G. (ed), *Recent geodynamic of Alp-Himalayan collision belt*, GEOS, Moskva, 2002, 224 p.

135. Trifonov V., Karakhanyan A., and Kozhurin A. Major active faults of the collision area between the Arabian and the Eurasian plates. In: Bolt B.A. and Amirbekian R. (eds), *Continental collision zones earthquakes and seismic hazard reduction*. NSSP. Erevan, 1994, pp. 56-711.

136. Wang X., Power W. COMCOT: A Tsunami Generation, Propagation and Runup Model. *GNS Science Report*, 2011/2043. GNS Science, Lower Hutt, NZ, 2011, 121 p.

137. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1994, 84, pp. 974-1002.

138. Wiwegwin W., Sugiyama Y., Hisada K., and Charusiri P. Re-evaluation of the activity of the Thoen Fault in the Lampang Basin, northern Thailand, based on geomorphology and geochronology, *Earth Planets Space*, 2011, 63, pp. 975-990.

139. Wolter A., Gischig V., Stead D. Investigation of Geomorphic and Seismic Effects on the 1959 Madison Canyon, Montana, Landslide Using an Integrated Field, Engineering Geomorphology Mapping, and Numerical Modelling Approach. *Rock Mech. Rock Eng.*, 2016, 49, pp. 2479-2501.

140. Yilmaz A., Adamia S., Chabukiani A., Chkhotua T., Erdogan K., Tuzcu S., & Karabiyikoglu M. Structural correlation of the southern Transcaucasus (Georgia)-eastern Pontides (Turkey). In: Bozcuri E., Winchester J.A., and Piper J.D.A. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the surrounding area*. Geological Society of London, 2000, Special publication, 173, pp. 171-182.

141. Zhang K., Liu H., Li Y., Xu H., Shen J., Rhome J., Smith T.J. The role of mangroves in attenuating storm surges. *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 2012, 102-103, pp. 11-23.

142. Zonenshain L.P. and LePichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. *Tectonophysics*, 1986, 123, pp. 181-211.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1

Անդեգիտային լավա պորֆիրիտային տեքստուրայով
Փ.Ա.№ 06-0032, առ.03.03.2022թ.

TL_7գր31-10R
խմբագրություն A-00
10.06.2020



«ՇԻՆՍԵՐՏԻՖԻԿԱՏ» ՍՊԸ ՓԼ
SHINCERTIFICATE LLC TL

ՀՀ, ք. Երևան, Լվովյան 25/1, Հեռ.:(+374 10) 52-67-24 (գր), (+374 11) 58-31-63 (լաբ.), Ֆաքս:(+374 10) 54-14-01
Str. Lvovyan 25/1, Yerevan, RA, Tel: (+374 10) 52-67-24 office, (+374 11) 58-31-63 lab.; Fax: (+374 10) 54-14-01
E-mail: lab@shincertificate.net, info@shincertificate.net, www.shincertificate.net



ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ

«ՇԻՆՍԵՐՏԻՖԻԿԱՏ» ՍՊԸ տնօրեն

Ա. Վարդանյան

« 03 » 03 2022թ.

ՓՈՐՁԱՐԿՄԱՆ ԱՐՁԱՆԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ № 06-0032

առ. 03.03.2022թ.

Արտադրանքի անվանումը, կողը՝

Անդեգիտային լավա պորֆիրիտային տեքստուրայով,
նմուշառման վայրը՝ Արեգունու լեռնաշղթա, 06

Տեղեկություն Փ-ի մասին՝

ԳՕՍՏ 30629-2011 Նյութեր և շինվածքներ երեսպատման
լեռնային ապարներից. Փորձարկման մեթոդներ:

Փորձարկվող նմուշների քանակը

«06-0027» 5 հատ խորանարդաձև նմուշ՝ 5 x 5 x5 սմ չափսերի
և 2,5x5x15 սմ չափսերի 5 հատ հեծանիկներ
/նմուշների համարները և քանակը

Նմուշառման ամսաթիվը

01.03.2022թ.

Նմուշների փորձարկման ամսաթիվը

03.03.2022թ.

Պատվիրատու՝

ՀՀ ԳԱԱ «Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ» ՊՈԱԿ

ՀՀ, ք. Երևան, Մ. Բաղրամյան պողոտա, 24ա
/ներկայացնողի անվանումը, հասցեն

Պայմանագիր №ԵԳԻ 01/03-22-1, առ. 01.03.2022թ.
ողեկցող նամակի, պայմանագրի, հայտի համարը և ամսաթիվը/

Փորձարկման կատարման վայրը (փորձարկումները ՓԼ-ի փարածքից դուրս կատարելու դեպքում)

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2

ԵՊՀ երկրաբանության և աշխարհագրության ֆակուլտետի հիդրոերկրաբանության և ճարտարագիտական երկրաբանության ամբիոնի լաբորատորիայի վարիչ Հրայա Շահնազարյանի կողմից «ГОСТ 21153.2-75» կանոնների համաձայն Արեգունու լեռների տեղամասից նմուշառված 3 ժայռային ապարների ամրությունը որոշվել է միառանցք սեղմման եղանակով ամրության սահմանի որոշման մեթոդով՝ հարթ սալերով մամլիչի մջոցով (բնական խոնավության և ջրհագեցած վիճակներում):

Արդյունքները ներկայացված են ստորև՝ ժայռային ապարների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների աղյուսակում:

Ժայռային ապարների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների աղյուսակ

Օբյեկտը՝

Արեգունի

№	Լաբորատոր №	Խտությունը չոր վիճակում	Կարծրության աստիճանի հաստատում	Ծակոտկենությունը	Ծակոտկենության գործակիցը	Ջրակլանման գործակիցը	Միառանցք սեղմման դիմադրությունը				Մեխանիկական ֆորմուլայի գործակիցը	
		r	r_s	n	e	G	չոր վիճակում		ջրհագեցած վիճակում			K_s
							R_c					
		գ/սմ ³	գ/սմ ³	%	մ.մ.	%	կգո/սմ ²	ՄՊԱ	կգո/սմ ²	ՄՊԱ		
1	391-1	2,77	2,89	4,15	0,043	0,3	1855,2	181,9	1798,6	176,4	0,969	
2	391-2	2,77	2,88	3,82	0,040	0,35	1789,3	175,5	1721,8	168,9	0,962	
Միջին		2,77	2,89	3,99	0,04	0,33	1822,25	178,71	1760,20	172,62	0,97	

1	391-1	2,78	2,89	3,81	0,040	0,4	1589,4	155,9	1518,7	148,9	0,956
2	391-2	2,76	2,88	4,17	0,043	0,4	1508,4	147,9	1472,9	144,4	0,976
Միջին		2,77	2,89	3,99	0,04	0,40	1548,90	151,90	1495,80	146,69	0,97

1	391-1	2,74	2,89	5,19	0,055	0,41	1785,3	175,1	1724,3	169,1	0,966
2	391-2	2,73	2,88	5,21	0,055	0,35	1735,8	170,2	1657,9	162,6	0,955
Միջին		2,74	2,89	5,20	0,05	0,38	1760,55	172,66	1691,10	165,85	0,96

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3

Material Criteria		Parameters	Source
Rockmass	Generalized Hoek & Brown (GHB) Criteria (Hoek et al., 1995)	Unit Weight, γ (MN/m ³)	Laboratory analysis (UCS) (IS: 9143-1979)
	$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3 / \sigma_{ci}) + s]^a$ <p>Here, σ_1 and σ_3 are major and minor effective principal stresses at failure; σ_{ci}, compressive strength of intact rock; m_b, a reduced value of the material constant (m_i) and is given by;</p> $m_b = m_i e^{[(GSI-100)/(28-14D)]}$ <p>s and a; constants for the rock mass given by the following relationships;</p> $s = e^{[(GSI-100)/(9-3D)]}$ $a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{[-\frac{GSI}{15}]} - e^{[-\frac{20}{3}]} \right]$ <p>Here, D; a factor which depends upon the degree of disturbance to which the rock mass has been subjected by blast damage and stress relaxation (Hoek et al., 2002). GSI (Geological Strength Index); a rockmass characterization parameter (Hoek, 1994).</p>	Uniaxial Compressive Strength, σ_{ci} (MPa)	
		Young's Modulus, E_i (MPa)	Laboratory analysis (Ultrasonic velocity test)
		Poisson's Ratio	
		Geological Strength Index	Field observation and based on recent amendments (Cai et al. 2007 and reference therein)
		Material Constant (m_i)	Standard values (Hoek and Brown, 1997)
		m_b	GSI was field dependedent, m_i as per(Hoek and Brown, 1997) and D is used between 0-1 in view of rockmass exposure and blasting.
		s	
		a	
	D		
Joint	Barton-Bandis Criteria (Barton and Choubey, 1977; Barton and Bandis, 1990)	Normal Stiffness, k_n (MPa/m)	E _i is lab dependent.L and GSI were field dependedent. D is used between 0-1 in view of rockmass exposure and blasting.
	$\tau\tau = \sigma_n \tan [\varphi_r + JRC \log_{10} (JCS/ \sigma_n)]$ <p>Here,τ is joint shear strength;σ_n, normal stress across joint; φ_r, reduced friction angle;JRC, joint roughness coefficient; JCS, joint compressive strength.</p> <p>JRC is based on the chart of Barton and Choubey, (1977); Jang et al. (2014).JCS was determined using following equation;</p> $\log_{10}(JCS) = 0.00088 (R_L)(\gamma)+1.01$	Shear Stiffness , k_s (MPa/m)	It is assumed as $k_n/10$. However, effect of denominator is aslo obtainedthrough parameteric study.
		Reduced friction angle, φ_r	Standard values from Barton, (1973); Barton and Choubey, (1977).
		Joint roughness coefficient, JRC	Field based data from profilometer and standard values from Barton and Choubey, (1977); Jang et al. (2014).

	<p>Here, R_L is Schimdt Hammer Rebound value and γ is unit weight of rock.</p> <p>The JRC and JCS were used as JRC_n and JCS_n following the scale corrections observed by Barton and Choubey, (1977) and reference therein and proposed by Barton and Bandis, (1982).</p> $JRC_n = [JRC(L/L_o)^{-0.02(JRC)}]$ $JCS_n = [JCS(L/L_o)^{-0.03(JRC)}]$ <p>Here, L_n and L_o are mean joint spacing in field and, respectively. L_o has been suggested to be 10 cm.</p> <p style="text-align: center;">Joint stiffness criteria (Barton, 1972)</p>	Joint compressive strength, JCS (MPa)	Empirical equation of Deere and Miller, (1966) relating Schimdt Hammer Rebound (SHR) values, σ_{ci} and unit weight of rock. SHR was field dependent.
		Scale corrected, JRC_n	Empirical equation of Barton and Bandis, (1982).
Scale corrected, JCS_n (MPa)			
Soil	<p style="text-align: center;">Mohr-Coulomb Criteria (Coulomb, 1776; Mohr, 1914)</p> $\tau = C + \sigma \tan \phi$ <p>Here, τ; Shear stress at failure, C; Cohesion, σ_n; normal strength, ϕ; angle of friction.</p>	Unit Weight (MN/m ³)	Laboratory analysis (UCS) (IS: 2720-Part 4–1985; IS: 2720-Part 10-1991)
		Young's Modulus, E_i (MPa)	Laboratory analysis (UCS); IS: 2720-Part 10-1991.
		Poisson's Ratio	Standard values from Bowles, (1996)
		Cohesion, C (MPa)	Laboratory analysis (Direct shear) (IS: 2720-Part 13- 1986)
		Friction angle, ϕ	

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4

UDEC ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԿՈՒՂԻ ԼԱՆՋԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

0 header
1 code UDEC 6.0
1 source giic v1.40.413
1 date Wed May 25 09:03:13 CEST 2022
1 type giic-save
0 udec
1 config
2 flowtype 0
2 flowactive true
2 units 2
2 dynamic true
2 struct false
2 solvefos false
2 advanced true
2 bb false
2 be false
0 plots
1 contourgrid 20,20
1 plot 0
2 display
3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen prop density prop bulk prop shear
2 name Plot 3
2 count 3
2 item
3 name prop density
3 switch 0
2 item
3 name prop bulk
3 switch 0

2 item
3 name prop shear
3 switch 0
1 plot 0
2 display
3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen young poissonhbmbhshbahbsigci
2 name Plot 4
2 count 6
2 item
3 name young
3 switch 0
2 item
3 name poisson
3 switch 0
2 item
3 name hbmb
3 switch 0
2 item
3 name hbs
3 switch 0
2 item
3 name hba
3 switch 0
2 item
3 name hbsigci
3 switch 0
1 plot 0
2 display
3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen jpropjfrictionjpropjcohesionjpropjtensionjpropjdilationjpropjknjpropjks
2 name Plot 5
2 count 6

2 item
3 name jpropjfriction
3 switch 0
2 item
3 name jpropjcohesion
3 switch 0
2 item
3 name jpropjtension
3 switch 0
2 item
3 name jpropjdilation
3 switch 0
2 item
3 name jpropjkn
3 switch 0
2 item
3 name jpropjks
3 switch 0
1 plot 0
2 display
3 viewport
4 center 1300.6237,1646.4252
4 radius 1225.0128
4 orientation 0.0
2 command plot pen block velocity
2 name Plot 1
2 count 2
2 item
3 name block
3 switch 1
2 item
3 name velocity
3 switch 12
1 plot 0
2 display

3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen block displacement
2 name Plot 2
2 count 2
2 item
3 name block
3 switch 1
2 item
3 name displacement
3 switch 12
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -1.3490642,1.2537774
2 command plot pen hist 7
2 name hist 7
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -1.0373516,0.88598317
2 command plot pen hist 1
2 name hist 1
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -6.4661093,5.8524
2 command plot pen hist 181
2 name hist 181
2 count 0

1 plot 2
2 display
3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen hist 187
2 name hist 187
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -3.504212,4.1439447
2 command plot pen hist 193
2 name hist 193
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -6.81518,6.682356
2 command plot pen hist 22
2 name hist 22
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange 0.052155897,0.060482487
2 command plot pen hist 185
2 name hist 185
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0

4 yrange 0.006812565,0.019176014
2 command plot pen hist 134
2 name hist 134
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -4.8049927,5.0924397
2 command plot pen hist 24
2 name hist 24
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 autorange true
2 command plot pen hist 136
2 name hist 136
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -191505.88,2978186.0
4 yrange 0.023184348,0.0399365
2 command plot pen hist 129
2 name hist 129
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -191505.88,2978186.0
4 yrange -7.137094,6.588053
2 command plot pen hist 27
2 name hist 27
2 count 0

1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange 0.053492304,0.062088493
2 command plot pen hist 138
2 name hist 138
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange 0.02427715,0.0344778
2 command plot pen hist 137
2 name hist 137
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange 0.042597596,0.05018645
2 command plot pen hist 197
2 name hist 197
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -70350.336,2811187.5
4 yrange -8.939517,9.340899
2 command plot pen hist 21
2 name hist 21
2 title 8.532 m/v2
2 count 0
1 plot 2
2 display

3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -7.317617,6.599734
2 command plot pen hist 23
2 name hist 23
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -4.8049927,5.0924397
2 command plot pen hist 24
2 name hist 24
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -5.97631,7.2181454
2 command plot pen hist 25
2 name hist 25
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -6.702986,5.8037634
2 command plot pen hist 26
2 name hist 26
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -6.5132236,5.964183

2 command plot pen hist 27
2 name hist 27
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -12.84273,10.86339
2 command plot pen hist 20
2 name hist 20
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -8.674551,8.632891
2 command plot pen hist 19
2 name hist 19
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -3.1248918,3.3549452
2 command plot pen hist 41
2 name hist 41
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -7.462302,7.1502523
2 command plot pen hist 50
2 name hist 50
2 count 0

1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange 0.075568326,0.089023404
2 command plot pen hist 133
2 name hist 133
2 title Dis
2 count 0
1 plot 2
2 display
3 viewport
4 xrange -47429.0,2834109.0
4 yrange -0.097280875,0.10335575
2 command plot pen hist 77
2 name hist 77
2 title vel
2 count 0
0 zonematlist
1 class
1 material mat=1
2 model mhoekbrown
2 property
3 density 0.0027
3 bulk 32314.814
3 shear 13219.697
3 young 34900.0
3 poisson 0.32
3 hbmb 1.8594
3 hb_mmc 1.8594
3 hbs 0.00208
3 hb_ssc 0.00208
3 hba 0.5042
3 hb_aac 0.5042
3 hbsigci 167.7567

3 hb_scc 167.7567
3 hb_plas 8.797347E-4
3 hb_poption 1.0
3 hb_friction 50.048977
3 hb_cohesion 2.3114667
3 hb_scale 1.0
0 jointmatlist
1 class Rock
1 material Basalt
2 model area
2 property
3 jkn 10000.0
3 jks 1000.0
3 jcohesion 0.1
3 jfriction 35.0
3 jdilation 10.0
3 empb 1.0
3 expa 3.0
3 nwjperm 1.0
0 blockmatlist
0 domainmatlist
0 cablematlist
0 rockboltmatlist
0 beammatlist
0 reinmatlist
0 supportmatlist
0 blockmatlist
0 domainmatlist
0 cppmodels
0 cppjmodels
0 project tree
1 title vel
1 notes
1 tree
2 state

3 file boundary, construction joints.sav
3 lastedit 1651276572581
3 batch
4 text config
4 text round 0.1
4 text edge 0.2
4 text block (0 800) (0 2500) (2713 2500) (2713 800)
4 text ;surface
4 text crack (-2.8634,2.388E3) (22.2037,2.388E3)
4 text crack (22.2037,2.388E3) (65.1427,2.363E3)
4 text crack (65.1427,2.363E3) (87.8888,2.37E3)
4 text crack (87.8888,2.37E3) (131.292,2.352E3)
4 text crack (131.292,2.352E3) (153.3418,2.352E3)
4 text crack (153.3418,2.352E3) (174.6952,2.343E3)
4 text crack (174.6952,2.343E3) (196.9771,2.339E3)
4 text crack (196.9771,2.339E3) (218.7947,2.339E3)
4 text crack (218.7947,2.339E3) (240.3803,2.33E3)
4 text crack (240.3803,2.33E3) (262.6622,2.325E3)
4 text crack (262.6622,2.325E3) (284.2477,2.325E3)
4 text crack (284.2477,2.325E3) (306.2976,2.312E3)
4 text crack (306.2976,2.312E3) (328.1153,2.312E3)
4 text crack (328.1153,2.312E3) (351.3255,2.306E3)
4 text crack (351.3255,2.306E3) (372.9111,2.296E3)
4 text crack (372.9111,2.296E3) (393.5682,2.292E3)
4 text crack (393.5682,2.292E3) (416.5465,2.294E3)
4 text crack (416.5465,2.294E3) (437.6678,2.299E3)
4 text crack (437.6678,2.299E3) (459.4855,2.286E3)
4 text crack (459.4855,2.286E3) (481.9995,2.289E3)
4 text crack (481.9995,2.289E3) (524.9385,2.288E3)
4 text crack (524.9385,2.288E3) (546.9883,2.283E3)
4 text crack (546.9883,2.283E3) (568.3418,2.272E3)
4 text crack (568.3418,2.272E3) (591.0878,2.272E3)
4 text crack (591.0878,2.272E3) (612.4413,2.262E3)
4 text crack (612.4413,2.262E3) (634.0269,2.269E3)
4 text crack (634.0269,2.269E3) (700.1761,2.268E3)

4 text crack (700.1761,2.268E3) (723.1543,2.258E3)
4 text crack (723.1543,2.258E3) (765.8612,2.247E3)
4 text crack (765.8612,2.247E3) (788.1432,2.251E3)
4 text crack (788.1432,2.251E3) (811.3535,2.249E3)
4 text crack (811.3535,2.249E3) (831.3143,2.249E3)
4 text crack (831.3143,2.249E3) (875.1817,2.225E3)
4 text crack (875.1817,2.225E3) (896.5352,2.225E3)
4 text crack (896.5352,2.225E3) (919.2812,2.218E3)
4 text crack (919.2812,2.218E3) (963.1486,2.198E3)
4 text crack (963.1486,2.198E3) (1.006E3,2.173E3)
4 text crack (1.006E3,2.173E3) (1.028E3,2.166E3)
4 text crack (1.028E3,2.166E3) (1.05E3,2.152E3)
4 text crack (1.05E3,2.152E3) (1.072E3,2.152E3)
4 text crack (1.072E3,2.152E3) (1.094E3,2.137E3)
4 text crack (1.094E3,2.137E3) (1.116E3,2.112E3)
4 text crack (1.116E3,2.112E3) (1.138E3,2.112E3)
4 text crack (1.138E3,2.112E3) (1.16E3,2.093E3)
4 text crack (1.16E3,2.093E3) (1.182E3,2.057E3)
4 text crack (1.182E3,2.057E3) (1.202E3,2.057E3)
4 text crack (1.202E3,2.057E3) (1.225E3,2.038E3)
4 text crack (1.225E3,2.038E3) (1.247E3,2.023E3)
4 text crack (1.247E3,2.023E3) (1.269E3,2.013E3)
4 text crack (1.269E3,2.013E3) (1.313E3,1.97E3)
4 text crack (1.313E3,1.97E3) (1.335E3,1.96E3)
4 text crack (1.335E3,1.96E3) (1.378E3,1.931E3)
4 text crack (1.378E3,1.931E3) (1.4E3,1.931E3)
4 text crack (1.4E3,1.931E3) (1.422E3,1.917E3)
4 text crack (1.422E3,1.917E3) (1.444E3,1.917E3)
4 text crack (1.444E3,1.917E3) (1.466E3,1.909E3)
4 text crack (1.466E3,1.909E3) (1.487E3,1.897E3)
4 text crack (1.487E3,1.897E3) (1.51E3,1.897E3)
4 text crack (1.51E3,1.897E3) (1.535E3,1.896E3)
4 text crack (1.535E3,1.896E3) (1.56E3,1.893E3)
4 text crack (1.56E3,1.893E3) (1.584E3,1.889E3)
4 text crack (1.584E3,1.889E3) (1.621E3,1.885E3)

4 text crack (1.621E3,1.885E3) (1.663E3,1.879E3)
4 text crack (1.663E3,1.879E3) (1.707E3,1.873E3)
4 text crack (1.707E3,1.873E3) (1.749E3,1.867E3)
4 text crack (1.749E3,1.867E3) (1.772E3,1.865E3)
4 text crack (1.772E3,1.865E3) (1.795E3,1.861E3)
4 text crack (1.795E3,1.861E3) (1.817E3,1.859E3)
4 text crack (1.817E3,1.859E3) (1.84E3,1.854E3)
4 text crack (1.84E3,1.854E3) (1.863E3,1.852E3)
4 text crack (1.863E3,1.852E3) (1.888E3,1.846E3)
4 text crack (1.888E3,1.846E3) (1.947E3,1.839E3)
4 text crack (1.947E3,1.839E3) (1.99E3,1.836E3)
4 text crack (1.99E3,1.836E3) (2.057E3,1.834E3)
4 text crack (2.057E3,1.834E3) (2.091E3,1.833E3)
4 text crack (2.091E3,1.833E3) (2.128E3,1.832E3)
4 text crack (2.128E3,1.832E3) (2.176E3,1.831E3)
4 text crack (2.176E3,1.831E3) (2.249E3,1.83E3)
4 text crack (2.249E3,1.83E3) (2.318E3,1.829E3)
4 text crack (2.318E3,1.829E3) (2.418E3,1.828E3)
4 text crack (2.415E3,1.827E3) (2.418E3,1.828E3)
4 text crack (2.418E3,1.828E3) (2.436E3,1.828E3)
4 text crack (2.436E3,1.828E3) (2.442E3,1.828E3)
4 text crack (2.442E3,1.828E3) (2.484E3,1.828E3)
4 text crack (2.484E3,1.828E3) (2.504E3,1.828E3)
4 text crack (2.504E3,1.828E3) (2.565E3,1.828E3)
4 text crack (2.565E3,1.828E3) (2.626E3,1.828E3)
4 text crack (2.626E3,1.828E3) (2.685E3,1.828E3)
4 text crack (2.685E3,1.828E3) (2.713E3,1.828E3)
4 text ;construction joints
4 text crack (196.978,1700) (196.978,2339) join
4 text crack (-1500,1700) (2.8E3,1700) join
4 text crack (1990,1700) (1990,1836) join
4 text ;upper block deletion
4 text delete range atblock 1500 2000
2 state
3 filejregion.sav

3 lastedit 1651276607680
3 batch
4 text ;regions
4 text jregion id 1 196.978,1700 196.978,2350 1990,2350 1990,1700
2 state
3 file continiousjoints.sav
3 lastedit 1651276672971
3 batch
4 text ;continious joint
4 text jset angle 92 spacing 10 origin 393.838,2.292E3 range jregion 1
4 text jset angle 42 spacing 20 origin 875.195,2.225E3 range jregion 1
2 state
3 filefault.sav
3 lastedit 1651276713465
3 batch
4 text ;faults
4 text crack (1.546E3,1.893E3) (1.517E3,1.699E3)
4 text crack (1.116E3,2.112E3) (1.049E3,1.699E3)
4 text crack (875.195,2.225E3) (771,1.699E3)
2 state
3 filegravity.sav
3 lastedit 1651276734684
3 batch
4 text set gravity=0.0 -10.0
2 state
3 filezoning.sav
3 lastedit 1651276790542
3 batch
4 text ;zoning
4 text gen edge 30.0 range atblock (97.3919,1.798E3)
4 text gen edge 30.0 range atblock (175.3843,1.374E3)
4 text gen edge 30.0 range atblock (2.12E3,1.778E3)
4 text gen edge 20.0 range jregion 1
2 state
3 file matproperties.sav

```

3 lastedit 1651943160183
3 batch
4 text ;propertiesRock:Basalt
4 text prop mat=1 d=0.0027 k=3.231E4 g=1.322E4 friction 31 cohesion 66.2 tension 13.1;
4 textpropjmat=1 jks 1E3 jkn 1E4 jfriction 35 jcohesion 0.1 jdilation 10
4 text ;distributematerials
4 text group zone 'mat=1' range atblock (1400,1200)
4 text group zone 'mat=1' range atblock (100,2000)
4 text group zone 'mat=1' range atblock (2300,1750)
4 text group zone 'mat=1' range jregion 1
4 text zone model mhoekbrown density 2.7E-3 bulk 3.231E4 shear 1.322E4 young 3.49E4 poisson 0.32
hbmb 1.8594 hbs 2.08E-3 hba 0.5042 hbsigci 167.7567 hb_scale 1 range group 'mat=1'
4 text group joint 'Rock:Basalt'
4 text joint model area jks 1E3 jkn 1E4 jfriction 35 jcohesion 0.1 jdilation 10 range group 'Rock:Basalt'
4 text ; new contact default
4 text set jcondf joint model area jks=1000 jkn=1E4 jfriction=35 jcohesion=0.1 jdilation=10
2 state
3 filebottom.sav
3 lastedit 1651943223855
3 batch
4 text ;fix the bottom
4 text bouxvel 0 range -1 1 800 2388
4 text bouxvel 0 range 2712 2714 800 1828
4 text bouyvel 0 range -1 2714 799 801
4 text damp auto
2 state
3 file solve rat 1e-6.sav
3 lastedit 1651943840397
3 batch
4 text solve rat 1e-6
2 state
3 file free field.sav
3 lastedit 1651943901898
3 batch
4 text ;generate free-field

```

4 text ffield gen left yrange (800,2388) np 126
4 text ffield change mat=1 cons=1
4 text ffield gen right yrange (800,1828) np 80
4 text ffield change mat=1 cons=1
4 text ;fix bottom of ffield
4 text ffield basexvel=0
4 text ffield baseyvel=0
2 state
3 file solve 1e-9.sav
3 lastedit 1651946722124
3 batch
4 text solve for 1e-9
2 state
3 filecomplete.sav
3 lastedit 1652037479031
3 batch
4 text ;apply dynamic boundary condition
4 text bound mat 1
4 text bound ff range -1 1 800 2388
4 text bound ff range 2712 2714 800 1828
4 text bound xvisc range -1 2714 799 801
4 text ;Friuli M6.5, d=23km, 0.35g m/s
4 text reset time
4 text bouhread 2 sig_eq.txt
4 text ;fix y-vel at bottom
4 text bound yvel=0 range -1 2714 799 801
4 text ;free-field bound conditions at base
4 text ffield base sxy=-1 hist 2
4 text ffield basexvisc
4 text ffield base yvel=0
4 text damp 0.02 2.5 mass stiff
4 text mscale off
4 text fraction 0.01
4 text ;histories
4 text ;in base

4 text hist xacc 1400 850
4 text hist yacc 1400 850
4 text hist xvel 1400 850
4 text hist yvel 1400 850
4 text hist xdis 1400 850
4 text hist ydis 1400 850
4 text ;in middle
4 text hist xacc 1400 1600
4 text hist yacc 1400 1600
4 text hist xvel 1400 1600
4 text hist yvel 1400 1600
4 text hist xdis 1400 1600
4 text hist ydis 1400 1600
4 text ;on surface
4 text hist xacc 87.8888,2.37E3
4 text hist xacc 196.9771,2.339E3
4 text hist xacc 284.2477,2.325E3
4 text hist xacc 372.9111,2.296E3
4 text hist xacc 481.9995,2.289E3
4 text hist xacc 591.0878,2.272E3
4 text hist xacc 634.0269,2.269E3
4 text hist xacc 700.1761,2.268E3
4 text hist xacc 831.3143,2.249E3
4 text hist xacc 875.1817,2.225E3
4 text hist xacc 963.1486,2.198E3
4 text hist xacc 1.006E3,2.173E3
4 text hist xacc 1.116E3,2.112E3
4 text hist xacc 1.202E3,2.057E3
4 text hist xacc 1.313E3,1.97E3
4 text hist xacc 1.422E3,1.917E3
4 text hist xacc 1.535E3,1.896E3
4 text hist xacc 1.663E3,1.879E3
4 text hist xacc 1.749E3,1.867E3
4 text hist xacc 1.84E3,1.854E3
4 text hist xacc 1.947E3,1.839E3

4 text hist xacc 2.057E3,1.834E3
4 text hist xacc 2.176E3,1.831E3
4 text hist xacc 2.318E3,1.829E3
4 text hist xacc 2.436E3,1.828E3
4 text hist xacc 2.484E3,1.828E3
4 text hist xacc 2.565E3,1.828E3
4 text hist xacc 2.626E3,1.828E3
4 text hist yacc 87.8888,2.37E3
4 text hist yacc 196.9771,2.339E3
4 text hist yacc 284.2477,2.325E3
4 text hist yacc 372.9111,2.296E3
4 text hist yacc 481.9995,2.289E3
4 text hist yacc 591.0878,2.272E3
4 text hist yacc 634.0269,2.269E3
4 text hist yacc 700.1761,2.268E3
4 text hist yacc 831.3143,2.249E3
4 text hist yacc 875.1817,2.225E3
4 text hist yacc 963.1486,2.198E3
4 text hist yacc 1.006E3,2.173E3
4 text hist yacc 1.116E3,2.112E3
4 text hist yacc 1.202E3,2.057E3
4 text hist yacc 1.313E3,1.97E3
4 text hist yacc 1.422E3,1.917E3
4 text hist yacc 1.535E3,1.896E3
4 text hist yacc 1.663E3,1.879E3
4 text hist yacc 1.749E3,1.867E3
4 text hist yacc 1.84E3,1.854E3
4 text hist yacc 1.947E3,1.839E3
4 text hist yacc 2.057E3,1.834E3
4 text hist yacc 2.176E3,1.831E3
4 text hist yacc 2.318E3,1.829E3
4 text hist yacc 2.436E3,1.828E3
4 text hist yacc 2.484E3,1.828E3
4 text hist yacc 2.565E3,1.828E3
4 text hist yacc 2.626E3,1.828E3

4 text hist xvel 87.8888,2.37E3
4 text hist xvel 196.9771,2.339E3
4 text hist xvel 284.2477,2.325E3
4 text hist xvel 372.9111,2.296E3
4 text hist xvel 481.9995,2.289E3
4 text hist xvel 591.0878,2.272E3
4 text hist xvel 634.0269,2.269E3
4 text hist xvel 700.1761,2.268E3
4 text hist xvel 831.3143,2.249E3
4 text hist xvel 875.1817,2.225E3
4 text hist xvel 963.1486,2.198E3
4 text hist xvel 1.006E3,2.173E3
4 text hist xvel 1.116E3,2.112E3
4 text hist xvel 1.202E3,2.057E3
4 text hist xvel 1.313E3,1.97E3
4 text hist xvel 1.422E3,1.917E3
4 text hist xvel 1.535E3,1.896E3
4 text hist xvel 1.663E3,1.879E3
4 text hist xvel 1.749E3,1.867E3
4 text hist xvel 1.84E3,1.854E3
4 text hist xvel 1.947E3,1.839E3
4 text hist xvel 2.057E3,1.834E3
4 text hist xvel 2.176E3,1.831E3
4 text hist xvel 2.318E3,1.829E3
4 text hist xvel 2.436E3,1.828E3
4 text hist xvel 2.484E3,1.828E3
4 text hist xvel 2.565E3,1.828E3
4 text hist xvel 2.626E3,1.828E3
4 text hist yvel 87.8888,2.37E3
4 text hist yvel 196.9771,2.339E3
4 text hist yvel 284.2477,2.325E3
4 text hist yvel 372.9111,2.296E3
4 text hist yvel 481.9995,2.289E3
4 text hist yvel 591.0878,2.272E3
4 text hist yvel 634.0269,2.269E3

4 text hist yvel 700.1761,2.268E3
4 text hist yvel 831.3143,2.249E3
4 text hist yvel 875.1817,2.225E3
4 text hist yvel 963.1486,2.198E3
4 text hist yvel 1.006E3,2.173E3
4 text hist yvel 1.116E3,2.112E3
4 text hist yvel 1.202E3,2.057E3
4 text hist yvel 1.313E3,1.97E3
4 text hist yvel 1.422E3,1.917E3
4 text hist yvel 1.535E3,1.896E3
4 text hist yvel 1.663E3,1.879E3
4 text hist yvel 1.749E3,1.867E3
4 text hist yvel 1.84E3,1.854E3
4 text hist yvel 1.947E3,1.839E3
4 text hist yvel 2.057E3,1.834E3
4 text hist yvel 2.176E3,1.831E3
4 text hist yvel 2.318E3,1.829E3
4 text hist yvel 2.436E3,1.828E3
4 text hist yvel 2.484E3,1.828E3
4 text hist yvel 2.565E3,1.828E3
4 text hist yvel 2.626E3,1.828E3
4 text hist xdis 87.8888,2.37E3
4 text hist xdis 196.9771,2.339E3
4 text hist xdis 284.2477,2.325E3
4 text hist xdis 372.9111,2.296E3
4 text hist xdis 481.9995,2.289E3
4 text hist xdis 591.0878,2.272E3
4 text hist xdis 634.0269,2.269E3
4 text hist xdis 700.1761,2.268E3
4 text hist xdis 831.3143,2.249E3
4 text hist xdis 875.1817,2.225E3
4 text hist xdis 963.1486,2.198E3
4 text hist xdis 1.006E3,2.173E3
4 text hist xdis 1.116E3,2.112E3
4 text hist xdis 1.202E3,2.057E3

4 text hist xdis 1.313E3,1.97E3
4 text hist xdis 1.422E3,1.917E3
4 text hist xdis 1.535E3,1.896E3
4 text hist xdis 1.663E3,1.879E3
4 text hist xdis 1.749E3,1.867E3
4 text hist xdis 1.84E3,1.854E3
4 text hist xdis 1.947E3,1.839E3
4 text hist xdis 2.057E3,1.834E3
4 text hist xdis 2.176E3,1.831E3
4 text hist xdis 2.318E3,1.829E3
4 text hist xdis 2.436E3,1.828E3
4 text hist xdis 2.484E3,1.828E3
4 text hist xdis 2.565E3,1.828E3
4 text hist xdis 2.626E3,1.828E3
4 text hist ydis 87.8888,2.37E3
4 text hist ydis 196.9771,2.339E3
4 text hist ydis 284.2477,2.325E3
4 text hist ydis 372.9111,2.296E3
4 text hist ydis 481.9995,2.289E3
4 text hist ydis 591.0878,2.272E3
4 text hist ydis 634.0269,2.269E3
4 text hist ydis 700.1761,2.268E3
4 text hist ydis 831.3143,2.249E3
4 text hist ydis 875.1817,2.225E3
4 text hist ydis 963.1486,2.198E3
4 text hist ydis 1.006E3,2.173E3
4 text hist ydis 1.116E3,2.112E3
4 text hist ydis 1.202E3,2.057E3
4 text hist ydis 1.313E3,1.97E3
4 text hist ydis 1.422E3,1.917E3
4 text hist ydis 1.535E3,1.896E3
4 text hist ydis 1.663E3,1.879E3
4 text hist ydis 1.749E3,1.867E3
4 text hist ydis 1.84E3,1.854E3
4 text hist ydis 1.947E3,1.839E3

4 text hist ydis 2.057E3,1.834E3
4 text hist ydis 2.176E3,1.831E3
4 text hist ydis 2.318E3,1.829E3
4 text hist ydis 2.436E3,1.828E3
4 text hist ydis 2.484E3,1.828E3
4 text hist ydis 2.565E3,1.828E3
4 text hist ydis 2.626E3,1.828E3
4 text hist xacc 810,1900
4 text hist yacc 810,1900
4 text hist xvel 810,1900
4 text hist yvel 810,1900
4 text hist xdis 810,1900
4 text hist ydis 810,1900
4 text hist xacc 1002,1994
4 text hist yacc 1002,1994
4 text hist xvel 1002,1994
4 text hist yvel 1002,1994
4 text hist xdis 1002,1994
4 text hist ydis 1002,1994
4 text hist xacc 1102,2025
4 text hist yacc 1102,2025
4 text hist xvel 1102,2025
4 text hist yvel 1102,2025
4 text hist xdis 1102,2025
4 text hist ydis 1102,2025
4 text cyc time 30
4 text ;output hist data
4 text history write 1 1
4 text history write 2 2
4 text history write 3 3
4 text history write 4 4
4 text history write 5 5
4 text history write 6 6
4 text history write 7 7
4 text history write 8 8

4 text history write 9 9
4 text history write 10 10
4 text history write 11 11
4 text history write 12 12
4 text history write 13 13
4 text history write 14 14
4 text history write 15 15
4 text history write 16 16
4 text history write 17 17
4 text history write 18 18
4 text history write 19 19
4 text history write 20 20
4 text history write 21 21
4 text history write 22 22
4 text history write 23 23
4 text history write 24 24
4 text history write 25 25
4 text history write 26 26
4 text history write 27 27
4 text history write 28 28
4 text history write 29 29
4 text history write 30 30
4 text history write 31 31
4 text history write 32 32
4 text history write 33 33
4 text history write 34 34
4 text history write 35 35
4 text history write 36 36
4 text history write 37 37
4 text history write 38 38
4 text history write 39 39
4 text history write 40 40
4 text history write 41 41
4 text history write 42 42
4 text history write 43 43

4 text history write 44 44
4 text history write 45 45
4 text history write 46 46
4 text history write 47 47
4 text history write 48 48
4 text history write 49 49
4 text history write 50 50
4 text history write 51 51
4 text history write 52 52
4 text history write 53 53
4 text history write 54 54
4 text history write 55 55
4 text history write 56 56
4 text history write 57 57
4 text history write 58 58
4 text history write 59 59
4 text history write 60 60
4 text history write 61 61
4 text history write 62 62
4 text history write 63 63
4 text history write 64 64
4 text history write 65 65
4 text history write 66 66
4 text history write 67 67
4 text history write 68 68
4 text history write 69 69
4 text history write 70 70
4 text history write 71 71
4 text history write 72 72
4 text history write 73 73
4 text history write 74 74
4 text history write 75 75
4 text history write 76 76
4 text history write 77 77
4 text history write 78 78

4 text history write 79 79
4 text history write 80 80
4 text history write 81 81
4 text history write 82 82
4 text history write 83 83
4 text history write 84 84
4 text history write 85 85
4 text history write 86 86
4 text history write 87 87
4 text history write 88 88
4 text history write 89 89
4 text history write 90 90
4 text history write 91 91
4 text history write 92 92
4 text history write 93 93
4 text history write 94 94
4 text history write 95 95
4 text history write 96 96
4 text history write 97 97
4 text history write 98 98
4 text history write 99 99
4 text history write 100 100
4 text history write 101 101
4 text history write 102 102
4 text history write 103 103
4 text history write 104 104
4 text history write 105 105
4 text history write 106 106
4 text history write 107 107
4 text history write 108 108
4 text history write 109 109
4 text history write 110 110
4 text history write 111 111
4 text history write 112 112
4 text history write 113 113

4 text history write 114 114
4 text history write 115 115
4 text history write 116 116
4 text history write 117 117
4 text history write 118 118
4 text history write 119 119
4 text history write 120 120
4 text history write 121 121
4 text history write 122 122
4 text history write 123 123
4 text history write 124 124
4 text history write 125 125
4 text history write 126 126
4 text history write 127 127
4 text history write 128 128
4 text history write 129 129
4 text history write 130 130
4 text history write 131 131
4 text history write 132 132
4 text history write 133 133
4 text history write 134 134
4 text history write 135 135
4 text history write 136 136
4 text history write 137 137
4 text history write 138 138
4 text history write 139 139
4 text history write 140 140
4 text history write 141 141
4 text history write 142 142
4 text history write 143 143
4 text history write 144 144
4 text history write 145 145
4 text history write 146 146
4 text history write 147 147
4 text history write 148 148

4 text history write 149 149
4 text history write 150 150
4 text history write 151 151
4 text history write 152 152
4 text history write 153 153
4 text history write 154 154
4 text history write 155 155
4 text history write 156 156
4 text history write 157 157
4 text history write 158 158
4 text history write 159 159
4 text history write 160 160
4 text history write 161 161
4 text history write 162 162
4 text history write 163 163
4 text history write 164 164
4 text history write 165 165
4 text history write 166 166
4 text history write 167 167
4 text history write 168 168
4 text history write 169 169
4 text history write 170 170
4 text history write 171 171
4 text history write 172 172
4 text history write 173 173
4 text history write 174 174
4 text history write 175 175
4 text history write 176 176
4 text history write 177 177
4 text history write 178 178
4 text history write 179 179
4 text history write 180 180
4 text history write 181 181
4 text history write 182 182
4 text history write 183 183

4 text history write 184 184
4 text history write 185 185
4 text history write 186 186
4 text history write 187 187
4 text history write 188 188
4 text history write 189 189
4 text history write 190 190
4 text history write 191 191
4 text history write 192 192
4 text history write 193 193
4 text history write 194 194
4 text history write 195 195
4 text history write 196 196
4 text history write 197 197
4 text history write 198 198
1 body
2 textbegin_body '<no name>'
2 text set version 1.0
2 text ; General:
2 text set autobc 20
2 text set autozone off zones 20
2 text ; Points:
2 text ; Edges:
2 text end_body
0 fish
1 file
1 notes
1 record
0 notes
0 eof

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 5

COMCOT ԾՐԱԳՐԱՅԻՆԿՈՂ՝ԼՃԱՅԻՆՑՈՒՆԱՄԻԻՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆՀԱՄԱՐ

```
#####
#                                     #
# Control file for COMCOT program (v1.7)   #
# Sample                                   #
#####
#--+----1----+----2----+----3----+----4----+----5----+----6----+----7----+----8
#=====;=====
# General Parameters for Simulation      : Value Field      |
#=====;=====
# SIMULATION TEST
# below test on sign of SURFER Bathy and topo (Mansour 20/09/2021)
Sign of Bathy data (positive:0 ;negative:1) : 1
Total run time (Wall clock, seconds)      : 18000.
Time interval of snapshots (Movie) (unit: sec : 60.
Out Zmax (Grid) & TG (Data)(0-Max;1-TG;2-Both) : 0
Start Type (0-Cold start; 1-Hot start)    : 0
Resuming Time If hot start (Seconds)      : 100000000000000.00
Specify Min WaterDepthoffshore (meter)   : 0.00
Initial Cond. (0:FLT,1:File,2:WM,3:LS,4:FLT+LS): 0
Specify BC (0-Open;1-Sponge;2-Wall;3-FACTS) : 0
Specify Input Z filename (for BC=3, FACTS) : mw94_n22_nz_ha.xyt
Specify Input U filename (for BC=3, FACTS) : mw94_n22_nz_ua.xyt
Specify Input V filename (for BC=3, FACTS) : mw94_n22_nz_va.xyt

#=====;=====
# Parameters for Fault Model (Segment 01) :Values          |
#=====;=====
No. of FLT Planes (With fault_multi.ctl if >1) : 1
Fault Rupture Time (seconds)                  : 0.0
Faulting Option (0: Model; 1- Data;)         : 0
Focal Depth (meter): 10000.0
```

```

Length of source area      (meter): 35000.0
Width of source area      (meter): 22000.0
Dislocation of fault plate (meter): 1.1
Strike direction (CW from North) (degree): 300.0
Dip angle (CW from horizontal) (degree): 89.0
  Rake angle (CW from strike) (degree): 80.
Origin of Comp. Domain (Layer 01) (Lat, degree): 40.1103
Origin of Comp. Domain (Layer 01) (Lon, degree): 44.9109
Epicenter Location: Latitude (degree): 40.568
Epicenter Location: Longitude (degree): 45.128
File Name of Deformation Data      : fault_01.xyz
Data Format Option (0-COMCOT; 1-MOST; 2-XYZ) : 2
# -----
#=====;=====
# Parameters for Wave Maker      :Values NONO SIREL      |
#=====;=====
Wave type ( 1:Solit, 2:given, 3:focusing ) : 1
FileName of Customized Input (for Type=2) : fse.dat
Incident direction( 1:top,2:bt,3:lf,4:rt,5:ob ): 2
Characteristic Wave Amplitude (meter) : 0.500
Typical Water depth (meter) : 2000.000

#=====;=====
# Parameters for Submarine LS/Transient Motion :ValUes NONO SEDA      |
#=====;=====
X Coord. of Left/West Edge of Landslide Area : 177.00
X Coord. of Right/East Edge of Landslide Area : 179.00
Y Coord. of Bottom/South Edge of LandslideArea : -41.00
Y Coord. of Top/North Edge of Landslide Area : -39.00
File Name of landslide Data      : landslide_test.dat
Data Format Option (0-Old; 1-XYT; 2-Function) : 2

#=====;=====
# Configurations for all grids      :Values      |
#=====;=====

```

```

# Parameters for 1st-level grid -- layer 01 :Values |
#=====;=====
Run This Layer ? (0:Yes, 1:No ): 0
Coordinate System (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Equations (0:linear, 1:nonlinear): 1
Grid Size (dx, sph: MINUTES, cart:meter) : 0.054
Time step ( second ): 0.80
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n ): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
X_start : 44.9109
X_end : 45.7587
Y_Start : 40.1103
Y_end : 40.6485
File Name of Bathymetry Data :.././Bathy/Grid1.txt
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 01
Grid Level : 1
Parent Grid's ID Number : -1

```

```

#=====;=====
# Parameters for Sub-level grid -- layer 02 :Values |
#=====;=====
Run This Layer ? (0:Yes, 1:No ): 0
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n ): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 3
X_start : 44.925
X_end : 45.4884
Y_start : 40.398
Y_end : 40.6392
FileName of Water depth data :.././Bathy/Grid2a.txt

```

Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 02
Grid Level : 2
Parent Grid's ID Number : 01

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 03 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n) : 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 2
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 9
X_start : -61.29684
X_end : -60.731055
Y_start : 14.353515
Y_end : 14.905935
FileName of Water depth data :.././Bathy/Grid_G3.txt
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO) : 2
Grid Identification Number : 03
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 04 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n) : 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 9

X_start : -61.101865
X_end : -60.99247
Y_start : 14.53166
Y_end : 14.61284
FileName of Water depth data : ../Bathy/Grid_G4_11.txt
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO) : 2
Grid Identification Number : 04
Grid Level : 4
Parent Grid's ID Number : 03

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 05 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 3

X_start : -61.214615
X_end : -61.07739
Y_start : 14.850385
Y_end : 14.87904

FileName of Water depth data : ../Input/Grid_G4_7.txt
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO) : 2
Grid Identification Number : 05
Grid Level : 4
Parent Grid's ID Number : 03

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 06 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0

Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.025
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 3
X_start : -61.203065
X_end : -61.15494
Y_start : 14.668225
Y_end : 14.764035
FileName of Water depth data : ../Input/Grid_G4_9.txt
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 06
Grid Level : 4
Parent Grid's ID Number : 03

#=====|=====

Parameters for Sub-level grid -- layer 07 :Values |

#=====|=====

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 120.4562042092812
X_end : 120.9175729323763
Y_start : 24.15490301533408
Y_end : 24.80244805853942
FileName of Water depth data : 4_4.xyz
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 07
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

```

#=====;=====
# Parameters for Sub-level grid -- layer 08 :Values |
#=====;=====
Run This Layer ? (0:Yes, 1:No ): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n ): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 120.808842317314
X_end : 121.3231069967601
Y_start : 24.69987279481362
Y_end : 25.19808824930069
FileName of Water depth data : 4_5.xyz
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 08
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

```

```

#=====;=====
# Parameters for Sub-level grid -- layer 09 :Values |
#=====;=====
Run This Layer ? (0:Yes, 1:No ): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n ): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 121.2320085958588
X_end : 122.0460161131184
Y_start : 24.96080357036498
Y_end : 25.3508512831777
FileName of Water depth data : 4_6.xyz

```


Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 09
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 10 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n) : 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 121.7227643425554
X_end : 122.0489548154786
Y_start : 24.22894457248688
Y_end : 25.0404101584892
FileName of Water depth data : 4_7.xyz
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 10
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 11 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n) : 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16

X_start : 121.3906957787801
X_end : 121.8079853387364
Y_start : 23.41747516260113
Y_end : 24.38422152963531
FileName of Water depth data : 4_8.xyz
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 11
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 12 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n) : 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16

X_start : 121.1203399645682
X_end : 121.4906102867619
Y_start : 22.74369554382476
Y_end : 23.51418785598371
FileName of Water depth data : 4_9.xyz
Data Forma(0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO). : 2
Grid Identification Number : 12
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====;

Parameters for Sub-level grid -- layer 13 :Values |

#=====;

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0

Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Output Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 120.808842317314
X_end : 121.2084996631093
Y_start : 22.14603554034114
Y_end : 22.78475484366331
FileName of Water depth data : 4_10.xyz
Data Format Option (0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO): 3
Grid Identification Number : 13
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

#=====|=====

Parameters for Sub-level grid -- layer 14 :Values |

#=====|=====

Run This Layer ? (0:Yes, 1:No): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Output Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 120.808842317314
X_end : 121.2084996631093
Y_start : 22.14603554034114
Y_end : 22.78475484366331
FileName of Water depth data : 4_10.xyz
Data Format Option (0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO): 3
Grid Identification Number : 14
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02

```
#=====;=====
# Parameters for Sub-level grid -- layer 15 :Values |
#=====;=====
Run This Layer ? (0:Yes, 1:No ): 1
Coordinate (0:spherical, 1:cartesian): 0
Governing Eqn. (0:linear, 1:nonlinear): 1
Bottom Friction Switch? (0:Yes,1:No,2:var. n ): 0
Manning's Roughness Coef. (For fric.option=0) : 0.013
Layer Ouput Option? (0:Z+Hu+Hv;1:Z Only;2:NONE): 1
GridSize Ratio of Parent layer to current layer: 16
X_start : 120.808842317314
X_end : 121.2084996631093
Y_start : 22.14603554034114
Y_end : 22.78475484366331
FileName of Water depth data : 4_10.xyz
Data Format Option (0-OLD;1-MOST;2-XYZ;3-ETOPO): 3
Grid Identification Number : 15
Grid Level : 3
Parent Grid's ID Number : 02
```