

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱՎԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

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

**Ի.Դ.01.01 «Ընդհանուր երկրաբանություն» մասնագիտությամբ
երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության սեղմագիր**

Երևան-2024

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF ARMENIA
INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES**

**AVAGYAN SEDA ASHOT
GEOLOGICAL HAZARDS AND THEIR INTERCONNECTION OF THE LAKE
SEVAN BASIN**

**Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological
Sciences in the specialty "General Geology" 24.01.01**

Yerevan-2024

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական
Գիտությունների Ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ Ե.գ.դ. Ավագյան Արա Վարուժանի
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ե.գ.դ., պրոֆ. Նազարեյան Սերգեյ Նորայրի
Ե.գ.թ. Գևորգյան Միքայել Ռադիկի
Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի Պետական Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2025թ. հունվարի 14-ին, ժամը 13⁰⁰-ին, ՀՀ ԳԱԱ
Երկրաբանական Գիտությունների Ինստիտուտում (հասցեն՝ Երևան 0019,
Մ.Բաղրամյան 24ա) գործող No. 054 «Երկրաբանություն» մասնագիտական
խորհրդում

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական
Գիտությունների Ինստիտուտի գրադարանում

Սեղմագիրն առաքված է 12.12.2024թ.

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝ Ե.գ.թ.



Լ. Սահակյան

The topic of the dissertation has been approved at the Institute of Geological Sciences of
the NAS RA

Scientific supervisor: Dr. Avagyan Ara Varuzhan
Official opponents: Dr., Prof. Nazaretyan Sergey Norayr
Ph.D. Gevorgyan Mikayel Radik
Leading organization: Yerevan State University

The defense will take place on January 14, 2025, at 13⁰⁰, at the Institute of Geological
Sciences of the NAS RA (address: Yerevan 0019, M.Baghramyan 24a) in the professional
council No. 054 "Geology"

The dissertation can be viewed in the library of the Institute of Geological Sciences of
the NAS RA

The abstract was delivered on 12.12.2024

Scientific Secretary of the Professional Council:



Ph.D. L. Sahakyan

Սույն աշխատանքը նվիրվում է հայրիկիս՝ Աշոփ Ավագյանին...

Նախաբան

Աշխատանքը նվիրված է 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, 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: 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 սցենարներների 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 ստորջրյա 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: Օգտագործված մեթոդները ներառում են.

- դաշտային հետազոտություններ, որի ընթացքում կիրառվել են նեոտեկտոնական, մորֆոտեկտոնական, մորֆոմետրիական, շերտագրական, պալեոսեյսմաբանական (խրամուղիների և խրամուղահորերի կիրառմամբ) մոտեցումներ,
- հեռազննումներ
- լաբորատոր անալիզներ, որոնց համար կատարվել են ապարների ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերի որոշման մի շարք դաշտային 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) 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 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 բազմակումպոնենտ տվյալների հիման վրա կազմվել են տարածքի ստատիկ (գրավիտացիոն) և դինամիկ (սեյսմիկ) մոդելներ: Լանջերի ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման համար Բելգիայի Լիեժի համալսարանում կիրառվել է ժամանակակից UDEC 6 (The Universal Distinct Element Code 2019) թվային մոդելավորման ծրագիրը: ՓՍՄԽ-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. 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. Հոռմի «34-րդ Միջազգային նստվածքաբանական գիտաժողով»-ում, 2022թ. Երևանի «Սևանա լճի էկոհամակարգի շրջակա միջավայրի պահպանությանն ու կայուն զարգացմանն ուղղված ջանքերի միավորում» միջազգային աշխատաժողովում, 2022թ. ՀՀ ԳԱԱ-ում կայացած «Երկրաբանությունը զարգացող աշխարհում. Հայաստանի երկրաբանության անցյալը, ներկան և ապագան» տեղական գիտապրակտիկ աշխատաժողովում, 2023թ. Ֆլորենցիայի «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 Ուղուրի-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, Ե.գ.դ. Արա Ավագյանին: Խորին շնորհակալություն Բելգիայի Լիեժի համալսարանի «Գեոոիսկ և Շրջակա միջավայր» լաբորատորիայի ղեկավար Հանս-Բալդեր Հավենիթին՝ լանջային գործընթացների թվային մոդելավորման ծրագրային ապահովման համար, Ֆրանսիայի Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս

համալսարանի «Գեոազուր» լաբորատորիայի տնօրեն դոկտոր Մարկ Սոսունին և Մանսուր Իոուալալենին՝ լճային ցունամիի մոդելավորման հարցում ցուցաբերած օժանդակության համար:

Շնորհակալություն ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ, Բելգիայի Լիեժի համալսարանի, Նիցցա-Սոֆիա Անտիպոլիս համալսարանի այն աշխատակիցներին, ովքեր նպաստեցին տվյալ աշխատանքի իրականացմանը՝ ի դեմս ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ տնօրեն Ե.գ.դ.՝ Խ. Մելիքսեթյանի:

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

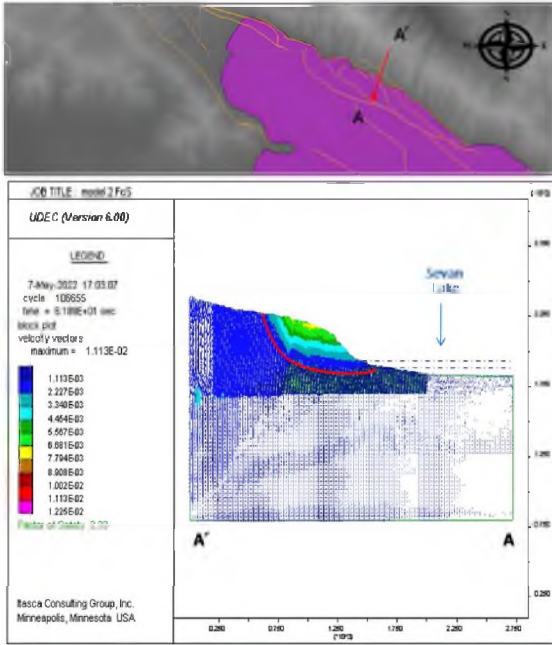
Գլուխ 1. Տարածաշրջանի երկրաբանական ուսումնասիրությունների և տեկտոնական զարգացման համառոտ ակնարկ

Առաջին գլխում բերվում են ընդհանուր տեղեկություններ Հայաստանի Հանրապետության, մասնավորապես, Սևանա լճի ավազանի կառուցվածքային և երկրաբանական առանձնահատկությունների մասին: Ներկայացվում են տարածաշրջանի ընդհանուր դինամիկ իրադրությունն ու երկրադինամիկ դաշտի օրինաչափությունները:

Գլուխ 2. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Սևանա լճի ավազանի հյուսիս-հյուսիսարևելյան հատվածում: Լանջային գործընթացների ժամանակակից 2D-երկչափ թվային մոդելավորում:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է Սևանա լճի ավազանի հյուսիս-հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային ակտիվ գործընթացների, դրանց հնարավոր զարգացումների ուսումնասիրությանը և վտանգի գնահատմանը՝ հաշվի առնելով տեղանքի երկրադինամիկ պայմանները:

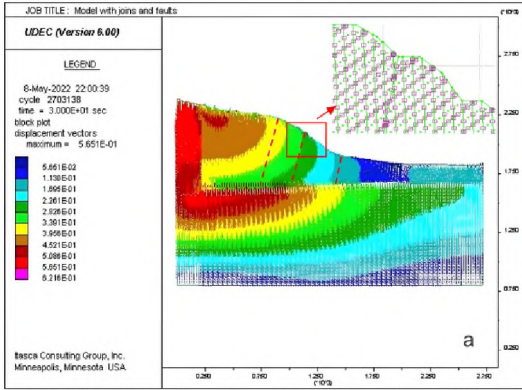
Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան ամենազառիթափ հատվածում (Արեգունու լեռներ) կատարվել է լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում: Ստատիկ պայմաններում որոշվել է լանջի կայունության գործակիցը, որտեղ լավ տեսանելի է լանջի հնարավոր սահքի մակերեսը (նկ. 1): Կայունության գործակցի արժեքը (FoS) որոշվել է որպես 2.33, ինչը նշանակում է, որ լանջը ստատիկ պայմաններում բավական կայուն է՝ $2.33 > 1$: Դինամիկ պայմաններում գնահատվել է լանջի պոտենցիալ ~ 0.6 մ տեղաշարժը և որոշվել արագացման $\geq 0.8g$ արժեքը լանջի զառիթափ կետերից մեկում՝ 1976 թվականի Ֆրիուլի երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում (1976թ. Ֆրիուլի, Իտալիա Mw 6.5) (նկ. 2a): Մոդելավորման համար օգտագործված տվյալները ներկայացված են աղյուսակ 1-ում:



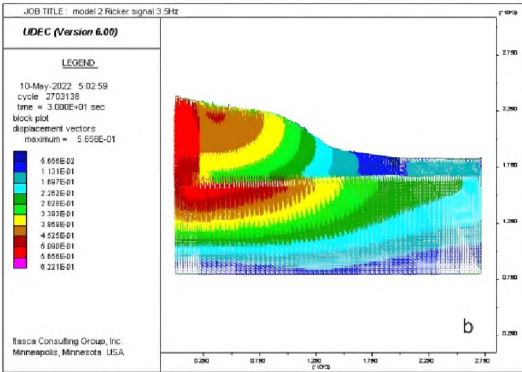
Նկար 1. Արեգունու հարավային լանջերին առանձնացված բլոկի 2.33 կայունության գործակիցը՝ հնարավոր սահքի մակերեսով՝ նշված հոծ գծով: AA՝ -ով նշված է մոդելավորված լանջի պրոֆիլ կտրվածքը (Ավագյան, 2023)

Աղյուսակ 1. Մոդելավորման համար օգտագործված գեոտեխնիկական տվյալներ

Rockmass parameters	Values	Rockmass-soil interface (joint) parameters	Values
¹ Density, γ (kg/m ³)	2700	⁴ Normal Stiffness, $j k_n$ (MPa/m)	1E4
¹ Uniaxial Compressive Strength, σ_{ci} (MPa)	167.75	Shear Stiffness, $j k_s$ ($k_n/10$)	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, ϕ	31
² Shear Modulus, G (MPa)	1.322E4	^{6j} -Friction angle, ϕ	35
³ GSI	58	⁷ Schmidt Hammer Rebound (SHR) values	5,2
m_b	1.8594	¹ Laboratory based	
s	2.08E-3	² Based on UDEC v.6 (2019).	
a	0.5042	³ Based on Hoek and Brown (1997) and field observation.	
³ D	0.7	⁴ It was inferred 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 field observation	



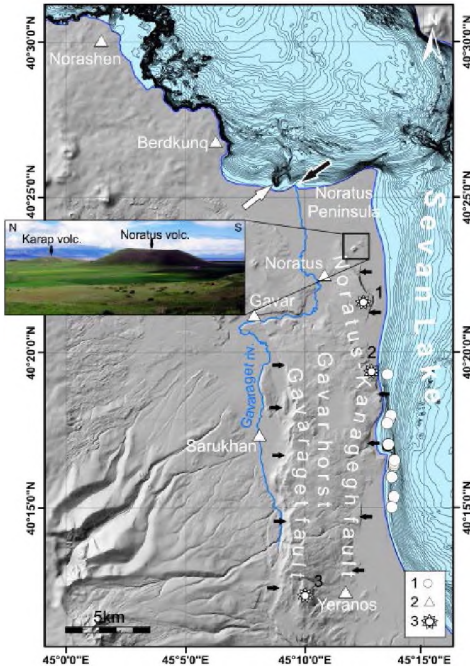
Նկար 2. Տեղաշարժի վեկտորները a. Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությանը երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման և b. Ռիկերի 3.5C_g հաճախականության ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կրառման դեպքում (Ավադյան, 2023), կետագծերով նշված են խզվածքն ու խզվածքի սեզմենտները



3.5C_g հաճախականության Ռիկերի ալիքաչափի ֆունկցիայի (Ricker, 1953) կիրառման արդյունքում ստացված տեղաշարժի արժեքը ներկայացված է նկ. 2b-ում: Ստացված տեղաշարժը համընկնում է Ֆրիուլիի Mw 6.5 ազդանշանի կիրառման դեպքում ստացված արդյունքին (նկ. 2a)՝ մինչդեռ արագացման արժեքները բլրկի համեմատական նույն կետերում ավելի ցածր են:

Գլուխ 3. Սևանա լճի հարավարևմտյան հատվածի երկրաբանական և տեկտոնական առանձնահատկությունները, երկրաբանական գործընթացների փոխկապակցվածությունը

Երրորդ գլուխը նվիրված է Սևանա լճի հարավարևմտյան հատվածը բնութագրող ներբլոկային ակտիվ կառույցներին, որոնց շարքում քննության արժանի են հատկապես Նորատուս-Քանազեղի և Գավառազեղի ակտիվ խզվածքները: Արևմուտքից՝ Գավառազեղի վարնետեքային բաղադրիչով և դեպի արևմուտք անկող խզվածքի հարթությամբ և արևելքից՝ Նորատուս-Քանազեղի վարնետեքային և դեպի արևելք անկող խզվածքի հարթությամբ կառույցները սահմանափակում են մոտ 20-25կմ հյուսիս-հարավ ձգվածությամբ և 4-7կմ լայնությամբ Գավառի տեկտոնական հորստը (նկ. 3) (Милановский, 1968; Avagyan, 2001; Avagyan et al., 2020): Այս տարածքի գլխավոր առանձնահատկություններից է նեոգեն-չորրորդական հրաբխականության և երիտասարդ խզվածքների առկայությունը (Пафенгольц, 1948; Милановский, 1952, 1968; Ջրբաշյան, 2013), ինչով



պայմանավորված է տարածքի երկրադինամիկ ակտիվությունը՝ արտահայտված նաև երկրաշարժերով:

Նկար 3. Ռեյիեֆի եռաչափ մոդելի և Սևանա լճի հորիզոնականների քարտեզ (Ավագյան և ուր., 2017), Ն.հ.-Նորատուս հրաբուխ, Կ.հ.-Կարապ հրաբուխ, փոքր սլաքները ցույց են տալիս խզվածքների սկարպերը, մեծ սլաքներով՝ գետի էրոզիոն բազիսը 1. գագերի արտահոսման կետեր, 2. բնակավայրեր, 3. դիտակետեր

Հայտնի են 1322թ. Mw 6.6 և 1992թ. Mw 5.4 գործիքային ժամանակահատվածի երկրաշարժերը (NorAtom, 2011; Karakhanyan et al., 2011): Նորատուս-Քանազեղ խզվածքի հետզեյայան ակտիվությունն ապացուցվել է աստղանիշ 1-ով

պատկերված տեղամասի 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):

Նորատուս-Քանազեղ խզվածքային գոտում առկա է մակերեսային խախտում, որի տարածումը խրամուղու արևմտյան մասում կազմել է $00^{\circ}-178^{\circ}$ (նկ. 3, աստղ. 2): Խրամուղում երևացող խզման հարթության անկումը կազմում է 82° դեպի արևմուտք: Խրամուղում նկատվում է առնվազն 1.5մ տեղաշարժ: Իրադարձությունը տեղի է ունեցել մ.թ.ա. $1951 \pm 75 \text{ cal}$ և $376 \pm 53 \text{ cal AD}$ (թվագրվել և չափորոշվել են Poznań Radiocarbon լաբորատորիայում): Իրականում խզվածքի գոտում ունենք իջած արևելյան բլրկ (Avagyan et al., 2020):

Գավառի հորստային բլրկի վրա է տեղադրված նաև Երանոս գյուղի սղանքային մարմինը, Սևանա լճի պալեոհունից Գեղամա լեռնաշղթայի արևելյան էրոզիոն-հողմնահարման լանջերի անցման գոտում՝ ծովի մակերևույթից 2050մ բարձրության վրա: Ըստ Քրոզերի (Crozier, 1992), սեյսմածին սղանքների 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 սղանքի հիմնական սկարպից մոտ 0.5կմ հեռավորության վրա,

- սողանքի հարաբերական մեծ չափերը,
- սողանքի սահքի մակերեսի փոքր անկյունը,
- սողանքի տեղադիրքը:



Նկար 4. Երանոս գյուղի սողանքային մարմնի սխեմատիկ քարտեզ, տեղադիրքը տե՛ս նկ. 3-ում, աստղանիշ 3-ով

Սոլոնենկոն (Solonenko, 1977) 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, կարևոր է ցույց տալ երիտասարդ մակերեսային խախտումների գոյությունը, ինչն էլ մեր դեպքում հստակ գուգահեռվում է 1322թ. (Mw 6.6), 1992թ. (Mw 5.4) և 2024թ. (Mw 4.2) սեյսմիկ իրադարձությունների հետ (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:

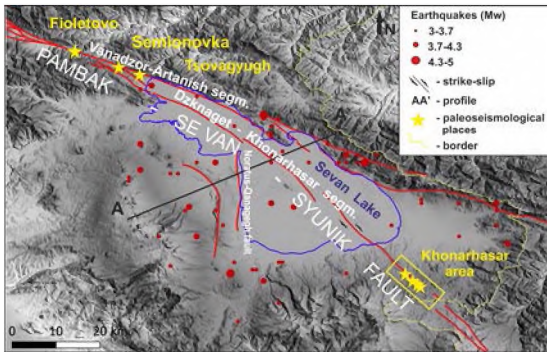
Փլուխ 4. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Սևանա լճի ջրային ավազանում: Թվային մոդելավորում

Ուսումնասիրության տարածքը գտնվում է բարդ երկրադինամիկ հանգույցում (նկ. 5), որտեղ առկա են տարբեր ակտիվ տեկտոնական, հրաբխային, գրավիտացիոն ազդեցություններ և այլ ծագման երկրաբանական գործընթացներ: Սևանա լճի

ավազանը Եվրասիայի ամենամեծ բարձրադիր (ալպյան) քաղցրահամ լճերից է՝ 1241կմ² մակերեսով և ծովի մակերևույթից 1900մ բարձրությամբ (Karakhanyan et al., 2016): Նեոգեն-չորրորդական հասակ և տեկտոնահարաբխային 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: Ամբողջ լճի երկարությունը գրեթե 75կմ է, առավելագույն խորությունը՝ ~80մ:

Լճերում ցունամիները կարող են առաջանալ լճային համակարգերի մեջ կամ շուրջ՝ նաև խզվածքի ակտիվության արդյունքում (Ichinose and Anderson, 2000): Կարևոր է

հաշվի առնել այն հանգամանքը, որ միայն սեյսմատեկտոնական ակտիվությունը չի կարող լինել լճային ցունամիի առաջացման միակ նախապայման:



Նկար 5. Սևանա լճի ավազանի ակտիվ խզվածքներն (Ավագյան, 2019) ու սեյսմիկությունը 1962-2021թթ.-ի համար (Հայկական սեյսմիկ կատարգ, 2023) (Avagyan et al., 2024)

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 (Isoualalen et al., 2017; Colon et al., 2023): Ելնելով այն դրամից (Ichinose and Anderson, 2000), որ փակ ավազանում ցունամիները կոչվում են երկրաշարժի կո-սեյսմիկ տեղաշարժի արդյունքում առաջացած սկզբնական ալիք, մենք դիտարկել ենք լճային ցունամիի մոդելավորման երկու հիպոթետիկ սցենար՝ 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 խորությունն ու մագնիտուդ:

Այսպիսով, Սևանա լճում ցունամիի վտանգի հասկացությանը մոտենալու համար մենք իրականացրել ենք ցունամիի ամբողջական քարտեզագրում հիպոթետիկ երկու սեյսմիկ սցենարների համար՝ հաշվարկելով ալիքի առավելագույն բարձրությունը (Zmax) Սևանա լճի ողջ ափագծի երկայնքով՝ 77մ, 25մ և 5.14մ ճշգրտության լուծաչափերով (Avagyan et al., 2024): Հաշվի առնելով տեղական

սեյսմիկության, մորֆոտեկտոնիկայի և մասշտաբային վերջին օրենքների առանձնահատկությունները (Aki, 1966; Tingbaijam et al., 2017), մենք նախ առաջարկել ենք Mw 6.9 սեյսմիկ սցենար ՓՍՍԽ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային ստորջրյա հատվածի համար՝ 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): Հաջորդիվ, Ձկնագետ-Խոնարհասար կողաշարժի համար դիտարկել ենք Mw 7.5 սեյսմիկ սցենար: Սեյսմիկ սցենարների լավագույն լուծումները տրամաչափվել են որպես խզվածքից բխող պարամետրեր՝ (աղյ. 2):

Աղյուսակ 2. Ցունամիի սեյսմիկ սցենարներ (Avagyan et al., 2024)

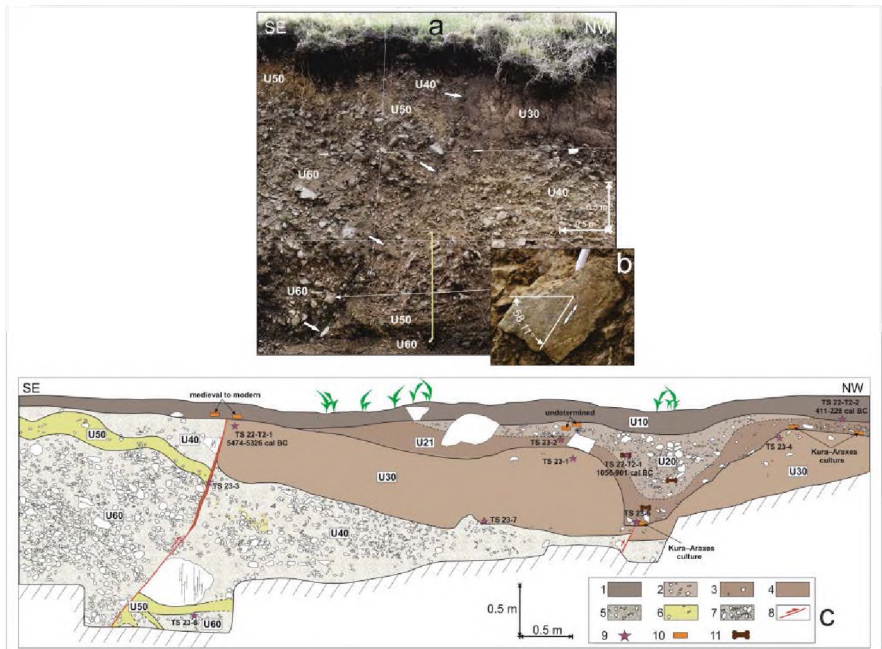
Mw 6.9 և Mw 7.5 մագնիտուդների հիպոթետիկ սեյսմիկ սցենարներ՝ ցունամիի մոդելների գործարկման համար օգտագործված խզվածքի պարամետրերով: (x₀, y₀) երկրաշարժի կենտրոնի տեղադիրքը, d-ն երկրաշարժի խորությունը, L-ը և W-ն խզվածքի երկարությունն ու լայնությունը, Δ-ն առավելագույն սահքի չափը (կենտրոնում), Mw-ն ածանցված մագնիտուդը, δ-ն խզման անկման անկյունը, φ-ն խզվածքի տարածման անկյունը, որը հաշվվում է ժամայլքի ուղղությամբ, λ-ն խզման անկյունը, որը հաշվվում է խզման տարածման անկյունից՝ ժամայլքի 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 (°)	φ (°)	λ (°)	x ₀ , y ₀	min, max (m)
Scenario 1											
Vanadzor-Artanish sector	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

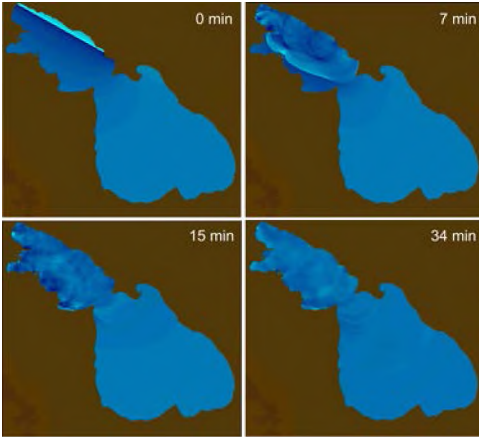
(1) Սցենար 1-ի համար ~2մ ուղղահայաց տեղաշարժը (նկ. 6) որպես վերնետք խզվածք (հայտնաբերված պալեոսեյսմաբանական ուսումնասիրություններով՝ Ծովագյուղ գյուղի մոտ (Avagyan A. et al., in print)), կիրառվել է Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի համար՝ 300° N տարածմամբ, 80° սահքի և 89° N անկման անկյուններով, ~35կմ երկարությամբ և ~22կմ լայնությամբ (խզման հարթությունում): Սա համապատասխանում է Mw 6.9 մագնիտուդի արժեքին՝ համաձայն երկրաշարժերի էմպիրիկ վերջին օրենքների (Tingbaijam et al., 2017), խզվածքի գոտում սեյսմիկ իրադարձության կենտրոնի համապատասխան

տեղադիրքով: Վերջապես, ստացված առավելագույն սահքի արժեքը՝ 1.1մ, համապատասխանում է ~Mw 6.9 արժեքին (Aki, 1966): Ապա հաշվի առնելով խզվածքի 22կմ լայնությունն ու 89° N անկումը (գրեթե ուղղաձիգ), երկրաշարժի կենտրոնի խորության համար որոշվել է 10 կմ-ը (աղյ. 2):

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



Նկար. 6. a. Ծովագյուղի դաշտային մերկացման 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



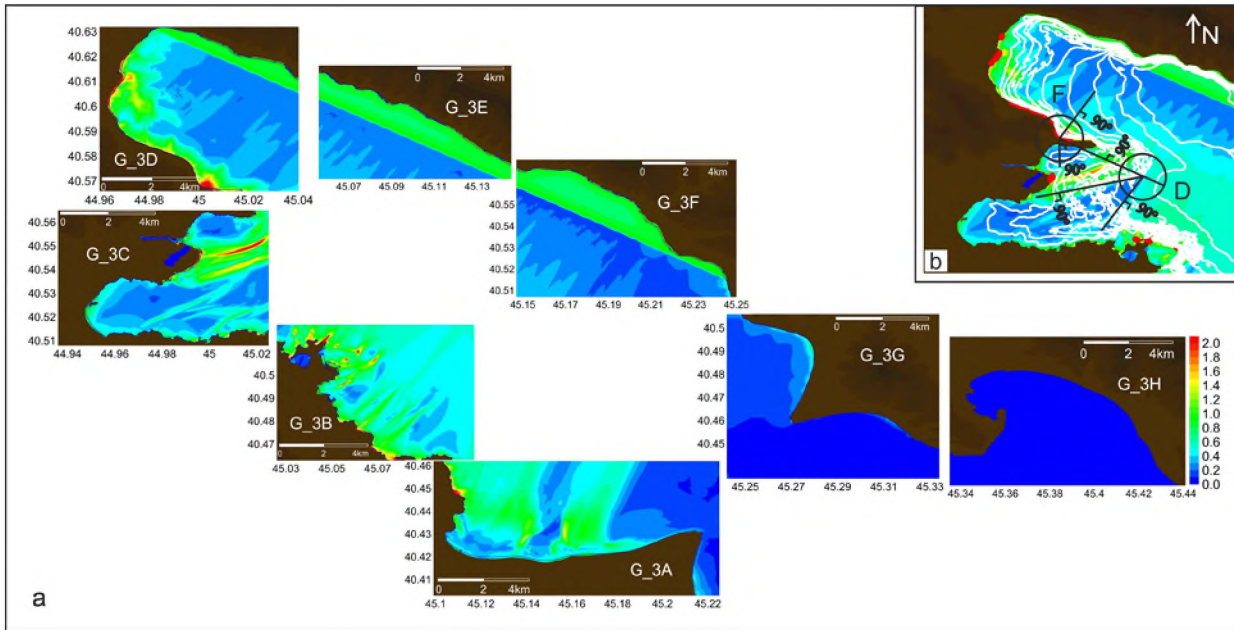
Լճային ցունամիի մոդելավորման համար ընտրվել է 5 ժամ տևողություն: Նկար 7-ը ցույց է տալիս Սցենար 1-ի մոդելավորման ընդհանուր պատկերը՝ 0 րոպե, 7 րոպե, 15 րոպե և 34 րոպե հետո:

Նկար 7. Ցունամիի ալիքների ընդհանուր վարքագծի ժամանակային կախումը Mw 6.9-ով 1-ին սեյսմիկ սցենարի դեպքում՝ (աղյ. 2) (Avagyan et al., 2024)

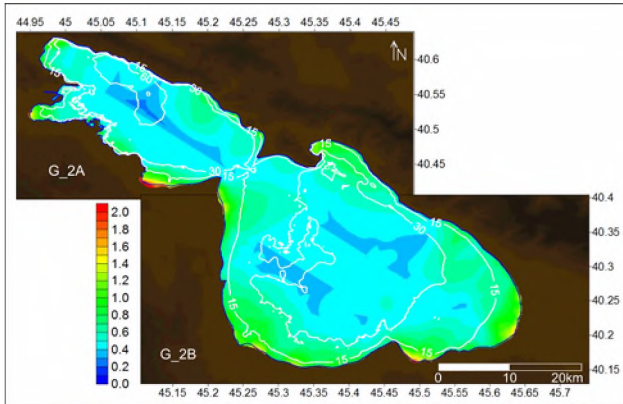
Սցենար 1. Սցենար 1-ի (Mw 6.9) համաձայն՝ դեֆորմացիայից 1 րոպե

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): Քանի որ լճի հյուսիսարևելյան հատվածը ենթարկվում է տեկտոնական վերելքի, արդյունքում 1մ բարձրությամբ ալիքները տարածվում են նախ Փոքր Սևանի հյուսիսային ափով (նկ. 8): Քանի որ դեֆորմացիան զարգանում է ափին շատ մոտ, այստեղ ալիքների ուժեղացում տեղի չի ունենում՝ սահմանափակ տիրույթի պատճառով: Լճի հյուսիսային մասի վերելքի պատճառով ալիքներն ամբողջությամբ ուղղվում են դեպի հարավային հատված (G_3A, G_3B, G_3C ենթացանցեր) և հասնում են առավելագույն 4.07մ բարձրության՝ G_3A ենթացանցում: Սա հստակ պատկերված է նկ. 8a-ում (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 դիտվել է ալիքների կենտրոնացում (focusing)՝ ստորջրյա տեղագրական առանձնահատկությունների և ափի մորֆոլոգիայի պատճառով (նկ. 8b, տե՛ս «F»): Եվ հակառակը, G_3C ենթացանցերի արևմտյան մասում նկատվում է ալիքի ապակենտրոնացում (defocusing) (նկ. 8b, տե՛ս «D») (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 (նկ. 9, աղյ. 2): Ընդհանուր առմամբ, կողաշարժային կինեմատիկա ունեցող խզվածքները ցունամի չեն առաջացնում, քանի որ զգալի ուղղահայաց տեղաշարժ չի դիտվում և միայն կողային շարժումը չի հանգեցնում ջրի անմիջական ուղղաձիգ տեղաշարժի (Avagyan et al., 2024):



Նկար 8. a. Ցունամիի առավելագույն բարձրությունների (Zmax, մ-ով) ընդլայնական պատկեր (Avagyan et al., 2024) G_3A-G_3H ենթացանցերում՝ ըստ Սցենար 1-ի: Երկրաշարժի դեֆորմացիայից հետո ավագիծը 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)



Նկար 9. Ցունամիի առավելագույն բարձրությունները (Zmax, մ-ով)՝ մոդելավորված Mw 7.5-ով 2-րդ սցենարի համար (աղյ. 2) (Avagyan et al., 2024), որը ներկայացված է G_2A և G_2B մայր ցանցերով: Բաթիմետրիան նշված է սպիտակ գույնով

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 մոդելներով: Այսպիսով, Սևանի ավազանում՝ Արեգունու լեռների հարավային զառիթափի հատվածում իրականացվել է լանջերի կայունության գնահատում՝ ստատիկ և դինամիկ պայմաններում:

Ստատիկ պայմաններում գնահատվել է լանջի կայունության գործակիցը $FoS=2.33$, ինչը ցույց է տալիս, որ լանջը ստատիկ վիճակում բավականին կայուն է՝ $2.33 \gg 1$: Ֆրիուլիի Mw 6.5 ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառմամբ դինամիկ վերլուծությունը ցույց է տալիս ուսումնասիրվող լանջի անկայունություն՝ մոտ 0.6մ առավելագույն տեղաշարժ և արագացման $\geq 0.8g$ արժեքներ:

Այսպիսով, հիմք ընդունելով Սևանի ավազանում՝ Արեգունու լեռների հարավային զառիթափի հատվածում, անցյալում տեղի ունեցած բլրկների իջեցումները (եռանկյունաձև ֆասետներ (Ավագյան, 2019), գրաբենային կառույց (Ավագյան, 2023), ենթադրվող պալեոտողանք (Karakhanyan et al., 2016)), կատարել ենք լանջային գործընթացների հնարավոր զարգացումների ամբողջական գնահատում՝ ցույց տալով դինամիկ պայմաններում նման ապագա գործընթացների հավանականությունն ավիամերձ տարածքում, ուր առկա է հանրապետական նշանակության ավտոճանապարհ և երկաթուղի:

Գավառի հորստի գոտում իրականացրած հետազոտությունները թույլ են տալիս այնպես, որ Երանոս գյուղի սողանքը կրել է ակտիվ խզվածքների ազդեցություն և մեծ

հավանականությամբ սեյսմածին է: Դրա մասին է վկայում Գավառագետի ակտիվ խզվածքային գոտու հետ տարածական համընկնումը, որի առավել արտահայտված սեզմենտները գտնվում են սողանքի հիմնական սկարպից ընդամենը 0.5կմ հեռավորության վրա: Սողանքի սեյսմածնության մասին են վկայում վերջինիս թիկունքային հատվածում դիտարկված ընդգծված սկարպերով առանձնացած խոշոր բլրկային կառույցները, սողանքի հյուսիսային թևում բացահայտված վարնետքային կինեմատիկայով խախտումները, ինչպես նաև միջին և ուժեղ պատմական և ժամանակակից 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 Նորատուս-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 լճային ցունամիի վտանգը Կովկասի ամենամեծ՝ Սևանա լճում, երկրաշարժի երկու հիպոթետիկ սցենարով՝ Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային վերնետքային հատվածի (Mw 6.9) և Ձկնագետ-Խոնարհասար կողաշարժի համար (Mw 7.5): Ուստի, աշխատանքը տրամադրում է երկրաշարժից առաջացած լճային ցունամիների տարբերակիչ վերլուծություն՝ Սևանա լճի օրինակով, որպես նախադեպ: Հաշվարկվել և կազմվել են լճային ցունամիի ալիքի առավելագույն բարձրությունների (Zmax) քարտեզներ՝ 5.14մ և 25մ բարձր լուծելիությամբ:

Առավել ուշագրավ են Վանաձոր-Արտանիշ սեզմենտի հարավային հատվածի (1) Zmax-ի արդյունքները: Այս սցենարն ամենափրատեսականն է և կատարելապես արտահայտում է խզվածքի ներկայիս կինեմատիկան, իսկ ուղղահայաց բաղադրիչն անհրաժեշտ և կարևոր է նախապայման է ցունամիի առաջացման համար: Այս սցենարի դեպքում Zmax-ի բոլոր բարձր արժեքները գտնվում են Փոքր Սևանի տիրույթում, որտեղ էլ կենտրոնացված են ավիամերձ գոտու հիմնական ենթակառուցվածքները: 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) Zmax-ի առավելագույն արժեքը դիտվում է 2.45մ՝ G_2A մայր ցանցի ներսում, 2.35մ՝ Մեծ Սևանի հարավային մասում գտնվող G_2B մայր ցանցում:

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: 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:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակումների ցանկ

1. Ավագյան Ա., Մելիքսեյան Խ., Սահակյան Լ., Հովհաննիսյան Ա., Գալոյան Ղ., Առաքելյան Դ., Շահինյան Հ., Մելիք-Ադամյան Հ., Գրիգորյան Ա., Բադալյան Ռ., Բորոխյան Ա., Բադալյան Մ., Գրիգորյան Տ., Սահակյան Ք., Գրիգորյան Է., Նավասարդյան Գ., Ավագյան Ա., Հովակիմյան Հ., Աթալյան Թ., Ալավերդյան Գ. Հայաստանի Հանրապետության երկրաբանական վտանգների Գեոպարկի ստեղծման նախադրյալները, ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն», 2021, 216 էջ:
2. Ավագյան Ա., Բադալյան Մ., Հարությունյան Ռ., Ասատրյան Ա., Սահակյան Լ., Աթալյան Թ., Ավագյան Ս. Հնագիտական և պատմաճարտարապետական հուշարձանների կարևորությունը Սևանա լճի ավազանի արևմտյան հատվածի երկրաբանական երևույթների քանակական գնահատականներում: «Էրեբունի» պատմահնագիտական արգելոց-թանգարան «Ուդուրի-Էթիունի երկրի հնագիտական ժառանգությունը» ժողովածու, Հնագիտության և ազգագրության ինստիտուտի հրատարակչություն, 2021, 1, 47-57:
3. Ավագյան Ա. Սեյսմատեկտոնական ազդեցությունը Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային գործընթացների վրա: Գիտություններ Երկրի մասին, 2023, N 1(76), 24-40:
4. Avagyan S., Arakelyan D., Alaverdyan G., Egnatosyan N., Avagyan A. Insights into earthquake-induced tsunamis in the Caucasus' largest Lake Sevan. Sci Rep, 2024, 14, 30011. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81884-z>
5. Avagyan A., Sahakyan L., Meliksetyan Kh., Hovhannisyan A., Arakelyan D., Galoyan Gh., Melik-Adamyanyan H., Grigoryan, Sahakyan K., Grigoryan E., Avagyan S., Safaryan R. The Potential for a Geohazard-Related Geopark in Armenia. Geoh Heritage, 2023, 15 (4), 1-17.
6. Avagyan A., Sahakyan L., Meliksetian Kh., Karakhanyan A., Lavrushin V., Atalyan T., Hovakimyan H., Avagyan S., Tozalakyan P., Shalaeva E. New

evidences of Holocene tectonic and volcanic activity of the western part of Lake Sevan (Armenia). Geological Quarterly, 2020, 64 (2), 288-303.

Резюме

Данная работа представляет собой исследование, направленное на изучение геологических опасностей в бассейне озера Севан и выявления их возможного взаимодействия, что особенно подчеркивает потенциал опасности молодых активных разломов в этом районе, представляя его с помощью причинно-вероятностных моделей в соответствии с современным научно-техническим прогрессом.

Так, в бассейне озера Севан, в южной крутой части гор Арегуни, нами была проведена оценка устойчивости склона в статических и динамических условиях. В статических условиях был оценен коэффициент устойчивости склона (FoS), который показывает, что склон достаточно устойчив в статическом состоянии: $2.33 >> 1$. Динамический анализ показывает неустойчивость исследуемого склона с максимальным смещением около 0.6м и значениями ускорения $\geq 0.8g$ при использовании сигнала землетрясения Фриули с магнитудой M_w 6.5.

Таким образом, взяв за основу южный крутой участок гор Арегуни в бассейне озера Севан, нами была проведена комплексная оценка возможных вариантов развития склоновых процессов, с вероятностью развития подобных будущих процессов в прибрежной зоне, где проходит автомобильная и железная дорога.

Проведенные исследования в горстовой зоне Гавара позволяют с высокой вероятностью считать оползень села Еранос сейсмогенным и утверждать, что он подвергся воздействию активизации активных разломов ввиду его пространственной близости к зоне активных разломов Гаварагет, наиболее выраженные сегменты которого расположены всего в 0.5км от основного уступа оползня. О сейсмогенности оползня свидетельствуют крупные глыбовые структуры, разделенные выраженными уступами, наблюдаемые на тыловой части последнего, разломы с нормальной кинематикой, выявленные в северном крыле оползня, а также близость к эпицентрам средних и сильных исторических и современных землетрясений (1322: M_w 6.6, 1992: M_w 5.4 и 2024: M_w 4.2).

В данной работе впервые оценена опасность цунами, вызванная землетрясением: два гипотетических сценария землетрясений в озере Севан, крупнейшем озере Кавказа. В работе представлен дифференциальный анализ озерных цунами, вызванных землетрясениями, на примере озера Севан.

Используя максимальную высоту волны цунами озера, Z_{max} , были рассчитаны карты цунами с разрешением 5.14м и 25м для южного участка Ванадзор-Артанишского взброса и Дзкнагетско-Хонархасарского сдвига.

Наиболее примечательными являются результаты Z_{max} для южной части сегмента Ванадзор-Артаниш, учитывая, что этот сценарий является наиболее реалистичным и идеально отражает современную кинематику разлома и поскольку вертикальный

компонент является необходимой и важной предпосылкой для генерации цунами. В этом сценарии все высокие значения Z_{max} расположены в районе Малого Севана, где сосредоточена основная инфраструктура прибрежной зоны. Максимальные результаты 4.07м соответствуют участку G_3A, а значения 3.87м, 3.05м и 3.28м - участкам G_3B, G_3C и G_3D. Для Дзкнагетско-Хонархасарского сдвига максимальное значение Z_{max} наблюдается на уровне 2.45м в пределах основного участка G_2A и 2.35м в основном участке G_2B, расположенной в южной части озера Севан.

Таким образом, впервые в регионе проведена оценка цунами для замкнутого озерного бассейна с использованием численного моделирования. Это доказывает, что в озере Севан возможно возникновение цунами при активности активного сегмента подводного разлома. В то же время полученные новые результаты будут также полезны как для властей, так и для местного сообщества и внесут важный вклад:

- в количественную и качественную оценку геологических опасностей в РА,
- в снижении риска стихийных бедствий,
- в работах по составлению или обновлению карт стихийных бедствий РА,
- в сфере повышения уровня осведомленности общественности о стихийных бедствиях,
- при разработке правил зонирования, строительных норм и правил и ограничений застройки,
- в улучшении инфраструктуры и стратегиях реагирования на чрезвычайные ситуации.

Resume

This research focuses on investigating geological hazards in the Lake Sevan basin and understanding their potential interactions, with a particular emphasis on the hazard associated with young, active fault systems in the region. The study employs causal probabilistic models that align with contemporary scientific and technical advancements. In the southern steep section of the Areguni Mountains within the Sevan basin, we conducted a thorough assessment of slope stability under both static and dynamic conditions. The static analysis indicated a favorable stability factor (FoS) of 2.33, suggesting that the slope remains stable under static conditions. In contrast, the dynamic assessment revealed significant instability, with a maximum displacement of approximately 0.6m and acceleration values $\geq 0.8g$, particularly when applying the seismic signal from the Friuli earthquake (Mw 6.5).

In our comprehensive evaluation of potential slope processes in the southern Areguni Mountains, we identified areas of concern, particularly along the coastal region where vital infrastructure, including a highway and railway, is located.

Our research in the Gavar horst zone highlighted the Yeranos village landslide as seismogenic, with a high likelihood of being influenced by the activation of nearby active

faults, notably the Gavaraget fault zone, which lies merely 0.5km from the landslide's main scarp. The seismogenicity of the landslide is evidenced by large block structures separated by highlighted edges, observed on the back of the latter, faults with normal kinematics, identified in the northern wing of the landslide, as well as proximity to the epicenters of medium and strong historical and modern earthquakes (Mw 6.6 in 1322, Mw 5.4 in 1992, and Mw 4.2 in 2024).

Furthermore, this study pioneers the assessment of tsunami hazards triggered by earthquakes in Lake Sevan, the Caucasus' largest lake. We analyzed two hypothetical earthquake scenarios and presented a differential analysis of the potential lake tsunamis using Lake Sevan as a case study. Tsunami wave height (Z_{max}) maps were generated with resolutions of 5.14m and 25m for the southern part of the Vanadzor-Artanish reverse fault and the Dzknaget-Khonarhasar strike-slip fault, respectively.

The most striking findings pertained to the Z_{max} results for the Vanadzor-Artanish segment, identified as the most realistic scenario that aligns with the current kinematics of the fault and given that the vertical component is fundamental to tsunami generation. Notably, the peak Z_{max} values, reaching up to 4.07m in the Small Sevan area - where key coastal infrastructure is concentrated - were significant, alongside Z_{max} values of 3.87m, 3.05m, and 3.28m from subgrids G_3B, G_3C, and G_3D.

For the Dzknaget-Khonarhasar segment, the maximum Z_{max} value was 2.45m within the G_2A main grid, with a value of 2.35m in G_2B, located in the southern part of Lake Sevan.

This assessment represents the first numerical simulation of tsunami potential in an enclosed lake basin in the region and demonstrates that a lake tsunami may indeed occur due to the activation of an active underwater fault segment.

The findings of this research will be valuable for local authorities and communities, contributing significantly to:

- quantitative and qualitative assessments of geological hazards in Armenia,
- disaster risk reduction efforts,
- development or revision of disaster maps for the Republic of Armenia,
- raising public awareness of disaster risks,
- establishing zoning regulations, building codes, and development restrictions,
- enhancing infrastructure and emergency response strategies.

