

**ՄԵՅՍՄԱՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ
ԱՎԱԶԱՆԻ ՀՅՈՒՄԻՍԱՐԵՎԵԼՅԱՆ ՀԱՏՎԱԾԻ ԼԱՆՁԱՑԻՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎՐԱ**

DOI: 10.54503/0515-961X-2023.76.1-24

Ավագյան Ս.Ա.

*ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական Գիտությունների Բնաստիտուտ
0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պ. 24^ա
e-mail: seda.avagyan.90@bk.ru
Հանձնված է խմբագրություն 06.02.2023 թ.*

Հոդվածում առաջին անգամ քննարկվում 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 բլուրի լանջի կայունության գործակիցը՝ $FoS=2.33$, իսկ դինամիկ պայմաններում՝ 6,5 մագնիտուդ ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում (1976թ. Ֆրիուլի, Իտալիա 6,5 Mw)՝ 0.6մ առավելագույն տեղաշարժը ու արագացման առավելագույն 0,6g արժեքը: Եվ, չնայած դեպի լիճ անկող անջատումների ավելի խիտ բաշխվածությանը (88° SW), առկա հակառակ ուղղությամբ (42° NE) անջատումները և ՓՍՍ (Փամբակ-Սևան-Սյունիք) խզվածքն իր սեզմենտներով (80°NE) կարծես հակակշռի դեր են կատարում ու հավասարակշռում են ապարների զգալի տեղաշարժը դեպի լիճ:

Հանգուցային բառեր՝ ակտիվ խզվածքներ, սեյսմատեկտոնիկա, վտանգների փոխկապակցվածություն, լանջային գործընթացներ, ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում, լանջի կայունության գործակից:

Ներածություն

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 ամենակարևոր 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, հոդվածում կատարվել է Սևանա լճի ավազանի հյուսիսարևելյան հատվածի լանջային գործընթացների ստատիկ և դինամիկ մոդելավորում:

Տեղանքի համառոտ նկարագիրը

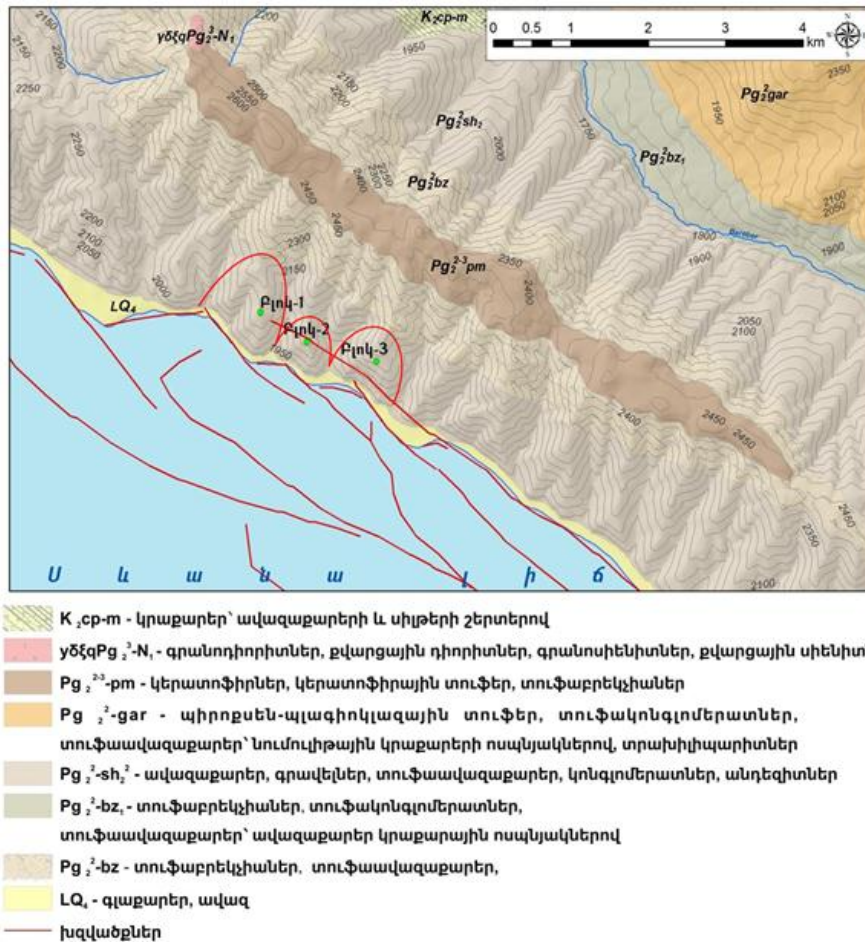
Սևանա լճի ավազանը գտնվում է բարդ երկրադինամիկ հանգույցում, ուր առկա են ակտիվ երկրաբանական գործընթացներ՝ հրաբխային, տեկտոնական, գրավիտացիոն և այլն:

Սևանա լճի ավազանը վերահսկվում է Փամբակ-Սևան-Սյունիք (ՓՍՍ) և Նորատուս-Քանազեղ (ՆՔ) ակտիվ խզվածքների սեզմենտներով, որոնք ոչ միայն գոտեվորում են լիճը հյուսիսարևելքից և հարավարևմուտքից, այլև կտրում են լճի կենտրոնական հատվածը (e.g. Ավագյան, 2019): Վերոհիշյալ խզվածքների ակտիվությունը ապացուցված է բազմաթիվ միջազգային փորձաքննություն անցած հրապարակումներով, իսկ դրանցից առաջինը ունի $M_w > 7,0$ ներուժ (e.g. Philip et al., 2001; Karakhanyan et al., 2004, 2016; Avagyan et al., 2010, 2018, 2020):

Փամբակ-Սևան-Սյունիք (PSSF) խզվածքը, որն ունի 490 կմ երկարություն, կազմված է հինգ խոշոր սեզմենտներից՝ յուրաքանչյուրը սահմանափակված վերադրման գոտիներով (overstep zones) (Avagyan 2001; Philip et al. 2001): Հյուսիսային սեզմենտները աշխարհագրորեն համընկնում են Ամասիա-Սևան-Հազարի կարային գոտուն: Հարավային սեզմենտները հյուսիսում կտրում են Սևանա լճի հատակը և ընդարձակ Չորրորդական հրաբխային ապարներով ծածկված տարածքները: Փամբակ-Սևան-Սյունիք (PSSF) խզվածքը ժառանգվել է խոշոր վրաշարժից, որը դեֆորմացրել է լեռնաշղթան Հարավ Հայկական բլուկի (SAB) և Եվրասիական սալի՝ Պալեոգեն-Վաղ Էոգենի ցամաքային բախումից սկսած (Avagyan et al., 2010; Sosson et al., 2010):

Տարածքի երկրաբանական առանձնահատկությունները

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.1):



Նկ.1. Արեգունու լեռների երկրաբանական քարտեզ ըստ Լ. Ավագյան և ուրիշների (Авакян Л.С. и др., 1973-1975)

Ներկայացված են գլխավորապես հրաբխածին-նստվածքային առաջացումներով տերրիզեն-կարբոնատային բնույթի: Այս ապարների գումարային հզորությունը մինչև 3000մ է: Պալեոգենի նստվածքների կտրվածքը սկսվում է ստորին և միջին էոգենից: Հիմքում նստած է ստորին էոգենի Լուսադբյուրի տերրիզեն հաստվածքը՝ մոտ 1000մ հզորությամբ: Նրա վրա նստած են Սևանի միջին էոգենյան կրաքարերը՝ 100մ: Այնուհետև հրաբխածին-նստվածքային առաջացումներն են 1300մ հզորությամբ՝ Շորժայից մինչև Սոտք: Ըստ Կապլանյանի և ուրիշների (Капланян и др., 1997) այն տուֆոգեն ֆլիշ է (Շորժայի շերտախումբ) ներկայացված տուֆոավազաքարերով հազվադեպ հանդիպող ենթաշերտերով և կրաքարային ոսպնյակներով ու անդեզիտային կազմի լավաներով: Կտրվածքով դեպի վեր նստած են վերին էոգենի առաջացումները՝ հրաբխածին, հրաբխածին-բեկորային հաստ-

վածքով: Դրանք անդեզիտներ են, անդեզիտոքալտներ, բազալտներ, տուֆոգեն կոնգլոմերատներ՝ 1100մ: Դրանք տարածված են Արեգունու լեռնաշղթայի լանջերին: Հզոր բազալտային ծածկոցները, անդեզիտները և նրանց պիրոկլաստները կազմում են մեծ տարածքներ Արեգունու ջրբաժանի և Սևանի լեռնաշղթայի արևմտյան մասում: Վերոնշյալ ավազանի Պալեոգենի նստվածքների կտրվածքն ավարտվում է Օլիգոգենի առաջացումներով: Այս առաջացումները ներկայացված են հրաբխածին (Դիլիջանի) շերտախմբով: Դրանք լիպարիտներ, լիպարիտոդացիտներ են տուֆոգեն կոնգլոմերատներով: Շերտախմբի հզորությունը չի գերազանցում 400մ-ը: Հասակը որոշված է միջին Օլիգոգեն-ստորին Միոգեն: Այս ապարներն ունեն լայն տարածում Արեգունու լեռնաշղթայում (Капламян и др. 1997):

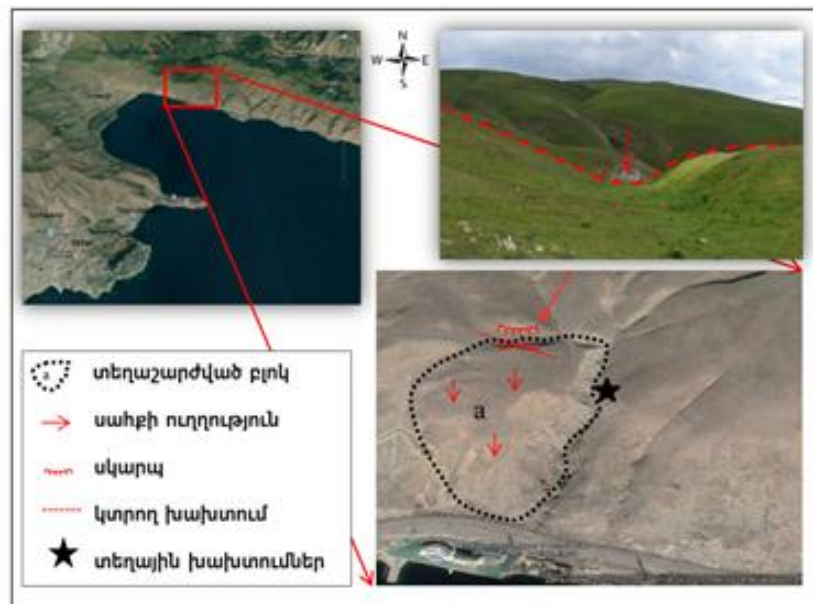
Դաշտային աշխատանքներ

Սևանա լճի ամբողջ հյուսիսարևելյան ափագծի երկայնքով՝ մինչև Շորժա (Շողակաթ), իրականացվել են փաստագրման աշխատանքներ՝ շերտերի ու ձեղքագոյացումների չափագրման, ինչպես նաև խախտումների հայտնաբերման ուղղությամբ: Հավաքագրված նյութի հիման վրա կատարվել է մորֆոլոգիական և կառուցվածքային վերլուծություն՝ արդյունքում առանձնացնելով մորֆոտեկտոնական 3 թեստային տեղամաս, որոնք հիմք են տալիս պնդելու, որ տարածքը ենթարկվում է սելսմատեկտոնական ժամանակակից ազդեցությունների և, որ տարածքում առկա է ստատիկ և դինամիկ մոդելավորման անհրաժեշտություն: Դրանք են.

1. Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան հատվածը՝ Ծովագյուղից մոտ 2.6կմ դեպի հյուսիս-արևելք, ուր առկա է փոքր գրաբենային կառույց (նկ.2):
2. Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան հատվածի թեք, զառիթափ լանջերը, ուր լավ տեսանելի են եռանկյունաձև ֆասետները (B, C, նկ.3):
3. Դրախտիկ գյուղի մերձակայքը, դեռևս Կարախանյանի կողմից ենթադրվող պալեոստոդանքի թիկունքային հատվածը՝ Փոքր Սևանի հյուսիսարևելյան լճափին (Karakhanyan et al., 2016):

1-ին տեղամաս

Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան հատվածում՝ Ծովագյուղից մոտ 2.6կմ դեպի հյուսիս-արևելք, (44°59'18.09" 40°38'11.14") նկատվում է փոքր տեղաշարժված բլուկ՝ գրաբենային կառույցով:



Նկ.2. Գրաբեն կառույց՝ Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափերին:

Ամենայն հավանականությամբ, տեկտոնական իրադրության պայմաններում այս բլուկը պոկվել ու տեղաշարժվել է դեպի լիճ: Տեղանքի տիեզերական նկարում հստակ երևում է սկարպի գագաթնագիծը և տեղաշարժված «a» բլուկը (նկ.2): Տեղաշարժված բլուկի վրա առկա է երկրորդային կտրող խախտում (նկ.2, 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՝ $N50 SE90$, այսինք՝ դեպի Սևանա լիճ, ինչն էլ համընկնում է նկար 1-ում «a» բլուկի տեղաշարժման, հետևապես, խախտման անկման ուղղության հետ (նկ.2):

Վերոհիշյալ սկարպից լանջնիվար՝ ձորակի երկայնքով մինչև ճանապարհային հատված (նկ.2), ակնադիտական զննման արդյունքում լանջային ակնհայտ առանձնացումներ և դեզինտեգրված բլոկներ չեն հայտնաբերվել, ինչը խոսում է բլուկի հարաբերական կայունության և ներկա ստատիկ վիճակի մասին:

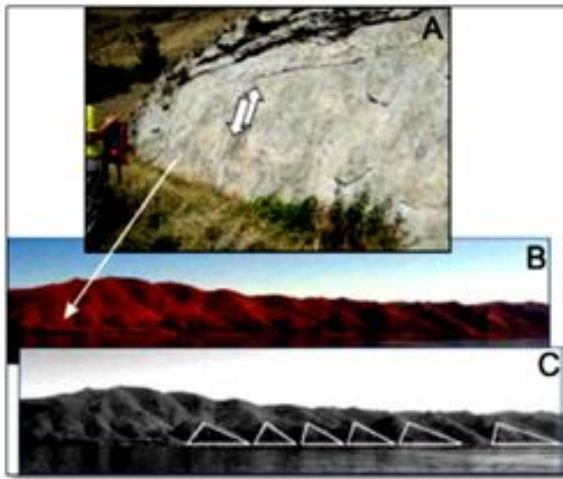
Ուշադրության արժանի են միայն նկար 2-ում տեղաշարժված «a» բլուկի հյուսիսարևելյան հատվածում աստղանիշով պատկերված փոքրիկ լոկալ խախտումները:

Այս դեպքում, չափազրական տվյալների համաձայն, շերտերի անջատումները նպաստավոր չեն լանջային գործընթացների համար և կրում են տեղային բնույթ:

2-րդ տեղամաս

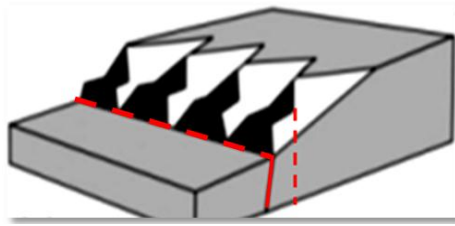
Փոքր Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափերին լավ տեսանելի են խզվածքի ակտիվությամբ պայմանավորված դեֆորմացիաներ, որոնց հետևանքով ձևավորվել են եռանկյունաձև ֆասետները/ճակատները (B, C, նկ.3): Մերկացումներից մեկում լավ տեսանելի է խզվածքի հարթությունը՝ արտահայտված վարնետային, երկրորդային խախտման քերծվածքավորմամբ (A, նկ.3): 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, գինու գավաթի ձորեր/wineglass canyons և գծային լեռնային կատարներ (Wiwegwin et al. 2011):



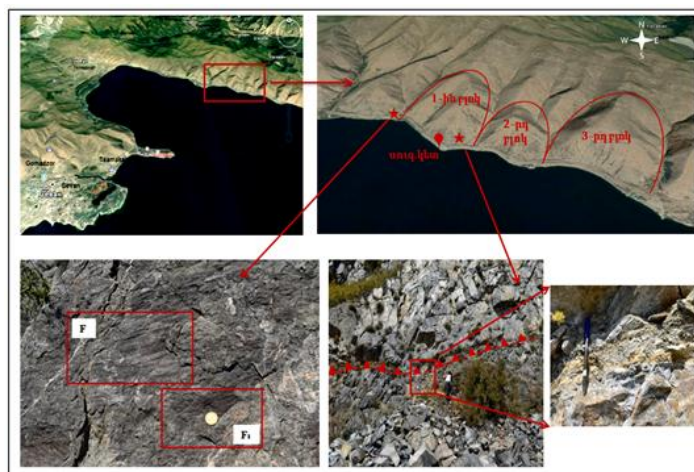
Նկ.3. Արեգունու լեռների հարավային լանջերին դիտարկված A- վարնետային խզվածքի հարթություն, B և C – եռանկյունաձև ֆասետներ (ըստ՝ Ավագյան 2019):

Ըստ Համբլինի (1976), ուղղահայաց շարժման գուգակցումը սահմանափակ տիրույթով նորմալ խզվածքների և հովիտներում գետային հոսքի էրոզիոն գործունեությամբ՝ հանգեցնում է եռանկյունաձև ֆասետների ձևավորմանը: 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): Վարնետի երկայնքով տեղաշարժերի հաջորդականությունը կստեղծի մի շարք եռանկյուն ֆասետներ (Hamblin, 1976; Fenton et al., 2003, Wiwegwin et al. 2011): Այդպիսի առանձնահատկությունները խզվածքների էպիգոդիկ շարժման արդյունք են, որի ընթացքում ձևավորվում են ֆասետները, իսկ աստիճանները՝ հորիզոնական հատվածները, ձևավորվում են սեյսմիկ կայունության միջանկյալ ժամանակահատվածներում:



Նկ.4. Ուղղահայաց տեկտոնական շարժման արդյունքում ձևավորված մի շարք եռանկյուն ֆասետների զարգացում, կարմիր կետագծերով նշված են խզվածքները (փոփոխված է Համբլինից, 1976, Wiwegwin et al. 2011):

Ըստ այս մոդելի (նկ.4), եռանկյունաձև ֆասետները նախ ձևավորվում են խզվածքի սկարպով և գետային հոսքի կտրվածքով՝ առաջացնելով եռանկյուն ֆասետների առաջին զարգացող շարքը: Հաջորդ ժամանակահատվածում, սեյսմիկ անդրրի 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.4), ինչն էլ դիտվում է Արեգունու լեռների հարավային լանջերին դիտարկված վարնետային հարթության երկայնքով (նկ.3): 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 բլուկի արագ իջեցումը հանգեցնում է գինու գավաթի ձորում նեղ անցքի ձևավորմանը (Wiwegwin et al. 2011):

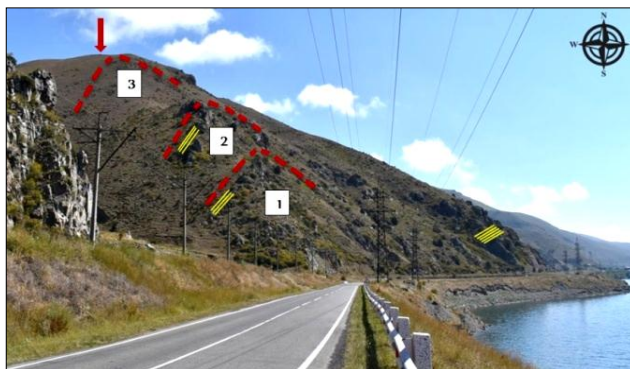


Նկ.5. Առանձնացված 3 բլուկները Սևանա լճի հյուսիսարևելյան ափին, աստղանիշերով պատկերված են հիմնական խախտումը և հայտնաբերված երկրորդային վերնետը:

Այս համատեքստում, սուզորդական կայանի մոտ՝ որտեղ բաթմետրիկ տվյալներն ամենախորն են, առավել մանրակրկիտ ուսումնասիրության համար առանձնացրել ենք 30-45° զգալի լանջային թեքություն ունեցող 3 բլուկ՝ բլուկ 1, 2, 3 (նկ.5):

Ակնադիտական գնման ընթացքում 1-ին բլուկի հիմքի աջ և ձախ մասերում՝ ճանապարհի եզրին, արձանագրել ենք խախտումներ: Բլուկի ձախ մասում առկա է աջակողմյան կողաշարժ (նկ.5)՝ նորմալ բաղադրիչով, առաջնային և երկրորդային քերծվածքավորումներով՝ F₁ N50 76SE 20SE, ինչը նպաստում է ուղղահայաց տեկտոնական շարժման արդյունքում ձևավորված մի շարք եռանկյուն ֆասետների զարգացմանը: Բլուկի աջ հատվածում (GPS 40.6061, 450663) հայտնաբերել ենք երկրորդային վերնետային խախտում, F N120 34-40NE, (RF) և N 30-50NW հարթություններով (նկ.5):

Առանձնացված 2-րդ բլուկի տեղամասում (նկ.6) դիտվում են 1, 2, 3 ենթադրյալ պոկված բլոկներ, որտեղ տեսնում ենք տարբեր անկումներով շերտայնություն, մասնավորապես, բլուկի աջ հատվածում, որը կտրուկ տարբերվում է 1-ին և 2-րդ բլոկների շերտայնությունից: Հետևաբար, եթե նույն լանջում ունենք տարբեր անկումներով շերտայնություն, ապա դա արդեն վկայում է տեղաշարժի մասին, հատկապես, եթե 1-ին և 2-րդ ենթաբլոկների թիկունքում նկատելի են տեղաշարժված փոսորակ հատվածներ:



Նկ.6. 2-րդ բլուկի մորֆոստրուկտուրան. ենթադրյալ պոկված բլոկներ՝ 1-ը, 2-ը և 3-ը, շերտայնություն պատկերված դեղին գծանշումներով, թիկունքի կար՝ կարմիր սլաքով:

3-րդ տեղամաս

3-րդ տեղամասը գտնվում է դեռևս Կարախանյանի կողմից ենթադրվող պալեոստղանքի թիկունքային մասում (Karakhanyan et al., 2016): Սողանքային մարմնի լայնությունը հասնում է 5կմ-ի, որը, որպես մեծածավալ իրադարձություն, հնարավոր է հարուցված լինի երկրաշարժով: Վերոհիշյալ պալեոստղանքից 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՝ So ☉

N 30 45 W, S₁ (անջ.) N 120 85W, F N118 88W 66SE, այսինքն՝ Սևանա լիճ (նկ.7) (GPS 40.5514 45.2068):



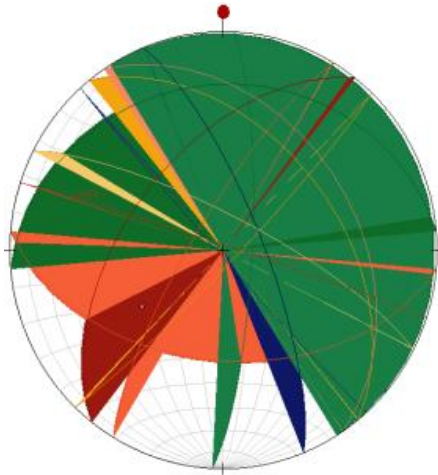
Նկ.7. Պալեոտողանքի թիկունքային հատվածում հայտնաբերված խախտում:

Այստեղ, արձանագրել ենք կոլյուվիալ սեպ, ինչն էլ խոսում է խախտման մասին: Սովորաբար, կոլյուվիումը 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:

Մեթոդաբանություն

Լանջերի կայունության որոշման, երկրաբանական վտանգների փոխազդեցության բացահայտման և լանջային գործընթացների ստատիկ (գրավիտացիոն) և դինամիկ (սեյսմիկ) մոդելավորման համար կիրառված է ժամանակակից UDEC 6 (The Universal Distinct Element Code 2019) մոդելավորման ծրագիրը: 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: Ծրագիրը ձեռք է բերվել ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ և Բելգիայի Լիեժի համալսարանի երկկողմ փոխհամագործակցության ընթացքում՝ Էրասմուս+ ուսանողների փոխանակման ծրագրի շրջանակում: Տեղանքի պրոֆիլի ստացման համար (3-րդ բլոկ) օգտագործվել է թվային բարձրությունների մոդել (DEM- Digital Elevation Model): Իրականաց-

վել է կառուցվածքային տարրերի՝ խզվածքի, վերջինիս սեգմենտների և անջատումների դաշտային փաստագրման ու քարտեզագրման աշխատանքներ (նկ.8), որի արդյունքում ընտրվել է ՓՍՍ խզվածքի ու սեգմենտների՝ F 80NE, իսկ անջատումների համար 2 հիմնական ուղղություն՝ joint1 88SW, joint2 42NE: Դեպի Սևանա լիճ անկող անջատումների՝ 88SW, բաշխվածությունը կրկնակի խիտ է:



Նկ.8. Առանձնացված 3-րդ բլոկի հատվածում անջատումների անկման ուղղությունները Շմիդտի գնդի վրա:

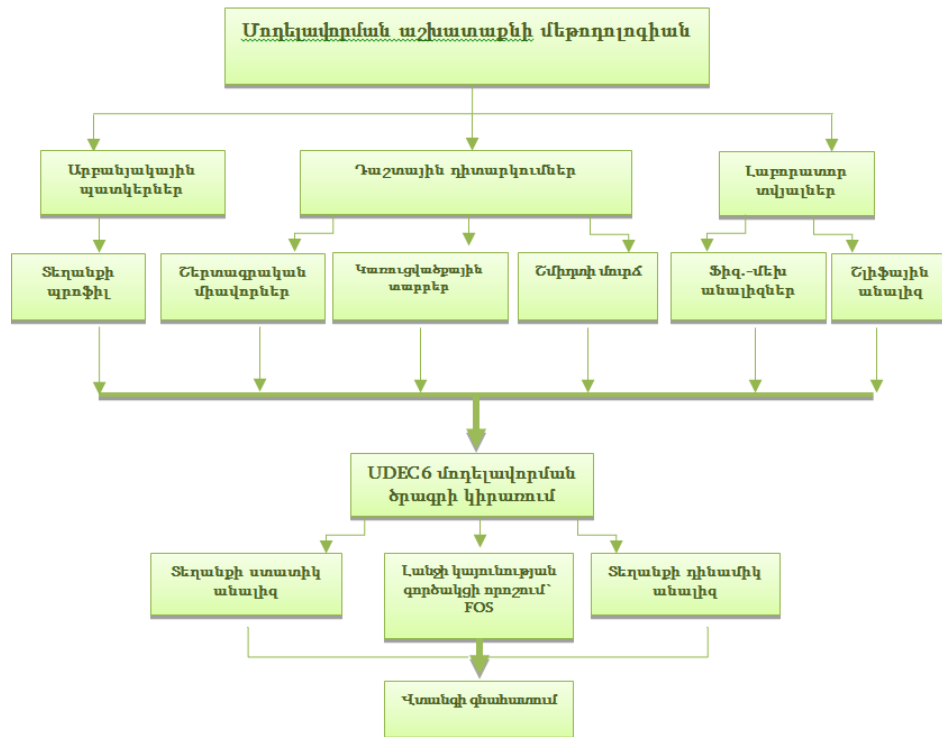
Այնուհետև, տեղանքի թվային մոդելավորման համար իրականացրել ենք ապարների անջատումների ազիմուտային չափագրում և ֆիզիկամեխանիկական պարամետրերի որոշում.

1. դաշտում՝ կիրառվել է Շմիդտի մուրճ /Schmidt Rebound Value/՝ ապարների առաձգականության ետդարձի ուժի (R) որոշման համար (նկ.8):
2. լաբորատոր պայմաններում՝ կատարել է նմուշների ֆիզիկամեխանիկական անանալիզ: Լաբորատոր անալիզները կատարվել են Շինսերտիֆիկատ ՍՊԸ-ի կողմից ԳՕՍՏ 30629-2011 կանոնների և ԵՊՀ երկրաբանության և աշխարհագրության ֆակուլտետի հիդրոերկրաբանության և ճարտարագիտական երկրաբանության ամբիոնի լաբորատորիայի վարիչ Հրաչյա Շահնազարյանի կողմից ԴՕՇՏ21153.2-75 ի կանոնների համաձայն: Կատարվել է նաև նմուշառված ապարների շիվֆային անալիզ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Լիթոլոգիայի և ռեգիոնալ երկրաբանության լաբորատորիայում:

Տարածքը հիմնականում բնութագրվում է Պալեոգենի անդեզիտային լավային հոսքերով, տեղ-տեղ դեղնավուն երանգավորմամբ, ինչը հուշում է տվյալ ապարի հողմնահարման ու փոփոխման մասին: Պորֆիրիտային տեքստուրայով անդեզիտային լավաները, ֆենոկրիստալները, ներկայացված են պլագիոկլազով և պիրոքսենով: Պլագիոկլազը գերակշիռ ֆենոկրիստալն է: Պլագիոկլազային դաշտային

սպաթները, ամենայն հավանականությամբ, ենթարկվել են հիդրոթերմալին փոփոխության:

Այսպիսով, հավաքագրված դաշտային տվյալների և իրականացված լաբորատոր վերլուծությունների արդյունքների 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 ստորև:



Սխեմա 1. Մոդելավորման աշխատանքի սխեման

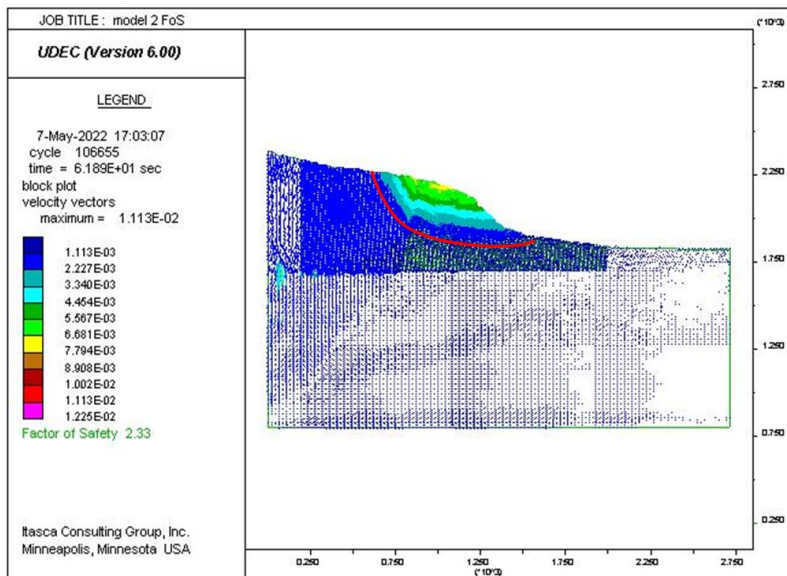
Աղյուսակ 1.

Rockmass parameters	Values	Rockmass-soil interface (joint) parameters	Values
¹ Density, γ (kg/m ³)	2700	⁴ Normal Stiffness, kn (MPa/m)	1E4
¹ Uniaxial Compressive Strength, σ_{ci} (MPa)	167,75	Shear Stiffness, ks (kn/10)	1E3
² Poisson's Ratio	0,32	⁵ Cohesion, c (MPa)	66.2
² Young's Modulus, E	3.49E4	^{5j} -Cohesion, c (MPa)	0.1

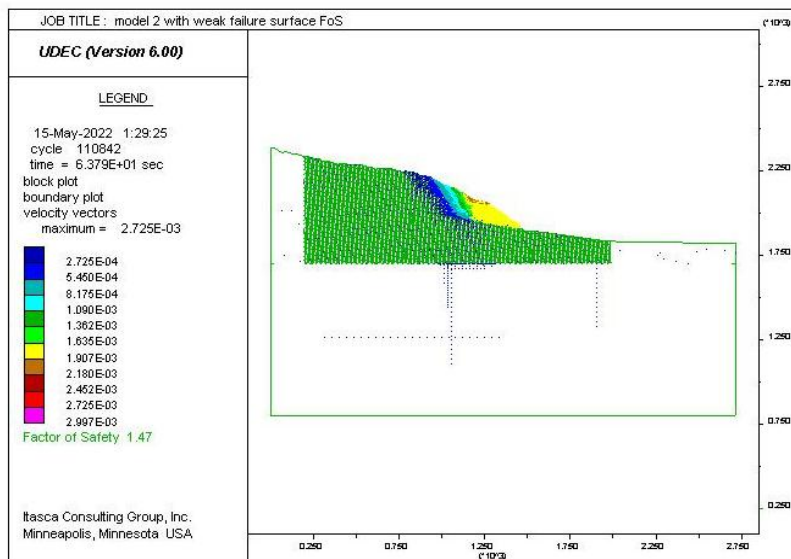
(MPa)			
² Bulk Modulus, K (MPa)	3.231E4	⁶ Friction angle, Ø	31
² Shear Modulus, G (MPa)	1.322E4	⁶ j-Friction angle, Ø	35
³ GSI	58	⁷ Schmidt Hammer Rebound (SHR) values	51,2
m _b	1.8594	¹ Laboratory based ² Based on UDEC v.6 (2019). ³ Based on Hoek and Brown (1997) and field observation. ⁴ It was inferred from 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	
s	2.08E-3		
a	0.5042		
³ D	0,7		

Այսպիսով, ստատիկ վիճակում որոշվել է լանջի կայունության գործակիցն ու լանջի պոտենցիալ տեղաշարժը, մինչդեռ դինամիկ պայմաններում գնահատվել է լանջի պոտենցիալ տեղաշարժը, որոշվել արագացման (PGA) արժեքները: Հաշվարկները կատարվել են լանջի էյաստո-պլաստիկ մոդելի համար: Էյաստո-պլաստիկ պայմաններում ապարագանգվածի 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 աղյ. 1-ում:

Ստատիկ մոդելավորման համար կատարել ենք լանջի կայունության գործակցի որոշում: Կայունության գործակցի արժեքը (FoS) որոշվել է 2.33, ինչը պատկերված է նկար 9-ում, որտեղ լավ տեսանելի է լանջի հնարավոր սահքի մակերեսը: Որպես կայուն լանջի նվազագույն գործակից ընդունված է 1 արժեքը, որը որոշվում է լանջի կրողականության և այդ լանջի ծանրաբեռնվածության հարաբերակցությամբ: Համաձայն այս սահմանման, FoS=1 կայունության գործակից ունեցող կառույցը կդիմանա միայն նախագծային բեռին և ոչ ավելին: Ցանկացած լրացուցիչ ծանրաբեռնվածություն կհանգեցնի կառույցի ձևախախտմանը:



Նկ.9. Ստատիկ մոդելավորում՝ լանջի կայունության 2.33 կայունության գործակցով, որտեղ երևում է հնարավոր սահքի մակերեսը՝ նշված կարմիր գծով:

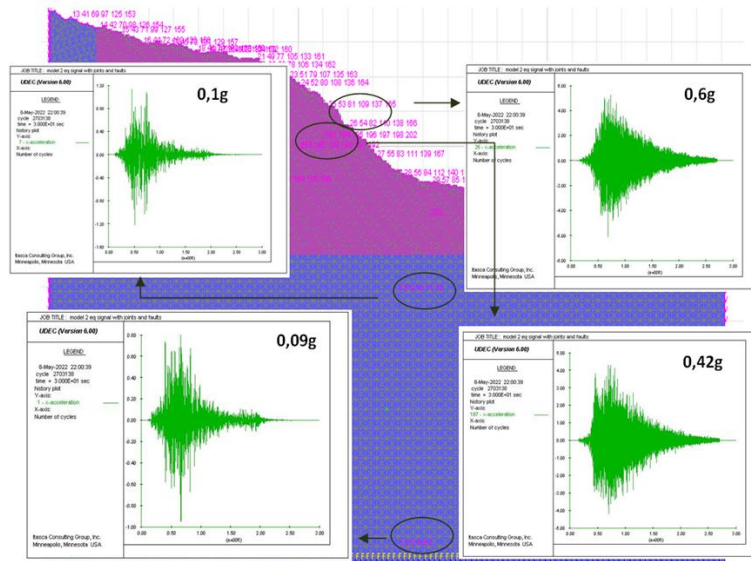


Նկ.10. Ստատիկ մոդելավորման պարամետրիկ անալիզ՝ լանջի կայունության 1.47 կայունության գործակցով, սահքի մակերեսի 10 անգամ թույլ պարամետրերի կիրառման դեպքում:

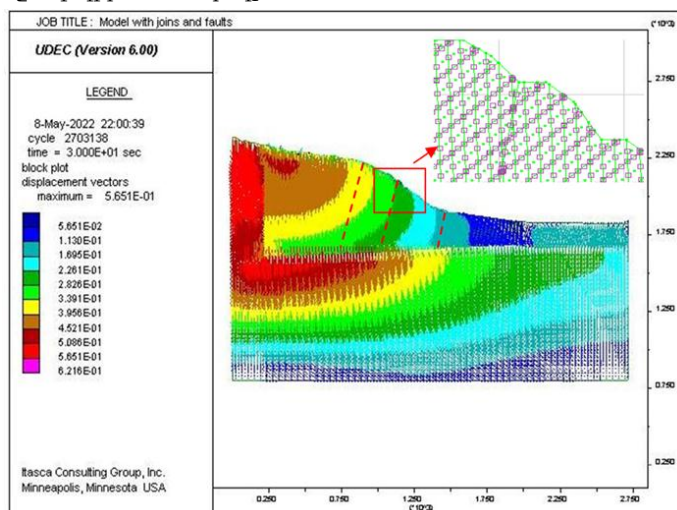
Կատարել ենք նաև ստատիկ մոդելավորման պարամետրիկ անալիզ՝ սահքի մակերեսի 10 անգամ թույլ պարամետրերի կիրառմամբ, որի դեպքում նույնպես լանջը ցուցաբերում է կայունություն՝ 1-ից բարձր 1.47 գործակցով (նկ.10):

Դինամիկ վերլուծության համար օգտագործվել է 1976 թվականի Ֆրիուլիի երկրաշարժի ազդանշանային գրառումը (1976թ. Ֆրիուլի, Իտալիա 6,5 Mw), որի դեպքում ստացել ենք 0,6մ առավելագույն տեղաշարժ և արագացման մոտ 0,6g առավելագույն արժեք (նկ.11,12):

Նկար 12-ում պատկերված են արագացման արժեքները 4 կետերում՝ հիմքում, բլոկի խորքում, խզվածքի սեգմենտի վրա՝ բլոկի ներսում և լանջի ամենագաղափարի հատվածում: Մելամիկ ազդանշանը տարածվում է բլոկի հիմքից՝ 750մ խորությունից, տարածվելով ամբողջ բլոկի ծավալով: Արագացման արժեքներն աճում են հիմքից դեպի լանջի մակերևույթ՝ ամենաբարձր արժեքին հասնելով լանջի ամենագաղափարի կետում՝ 0,6g համապատասխան արժեքով :



Նկ.11. Արագացման արժեքները Ֆրիուլիի 6,5Mw ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում:



Նկ.12. Տեղաշարժի վեկտորները Ֆրիուլիի 6,5Mw ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում, կարմիր կետագծերով նշված են խզվածքն ու խզվածքի սեգմենտները:

Եզրակացություն

Այսպիսով, լանջային գործընթացների ամբողջական գնահատումը նորագույն մոտեցումներով հնարավորություն է տալիս գնահատել ժայռային զանգվածների հնարավոր տեղաշարժը՝ պայմանավորված խզվածքի առանձնահատկություններով՝ այդպիսով ցույց տալով նման ապագա գործընթացների հնարավորությունը ավիամերձ տարածքներում, որտեղ առկա է ավտոճանապարհ և երկաթուղի:

Ստատիկ պայմաններում այս լանջի համար կայունության գործակիցը (FoS) որոշվել է 2.33, ինչը ցույց է տալիս, որ լանջը ստատիկ վիճակում բավականին կայուն է՝ $2.33 > 1$: Պարամետրիկ անալիզը սահքի մակերեսի 10 անգամ ավելի թույլ պարամետրերով հաշվարկված, նույնպես ցույց է տալիս լանջի կայունության գործակցի բարձր արժեք, ինչը մեկ անգամ ևս հաստատում է ստատիկ վիճակում լանջի կայունությունը՝ $1.47 > 1$:

Դինամիկ վերլուծությունը ցույց է տալիս տարածքի մոտ 0,6մ առավելագույն տեղաշարժ Ֆրիուլիի 6,5Mw ուժգնությամբ երկրաշարժի ազդանշանի կիրառման դեպքում: Սա ենթադրում է, որ դինամիկ պայմաններում լանջը մասնակիորեն անկայուն է:

Աշխատանքը կատարվել է ՀՀ ԿԳՄՄՆ Գիտության Կոմիտեի 2021թ.-ի 21T-1E145 պայմանագրային (թեմատիկ) ֆինանսավորման ծրագրի և 2022թ.-ի Erasmus+ Հայաստան-Բելգիա երկկողմ ծրագրի շրջանակում՝ Բելգիայի Լիեժի համալսարանի հետ համատեղ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ավագյան Ա.Վ.** 2019. Ակտիվ խզվածքների մերձակերտության դրսևորումները, ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակություն, 277 էջ:
- Ավագյան Ա.Վ., Սահակյան Լ.Հ., Աթայան Թ.Պ., Հովակիմյան Հ.Գ., Թոգալաքյան Պ.Վ.** 2017. Նոր տեկտոնական տվյալներ Նորատուս-Քանաքեղ ակտիվ խզվածքի տարածման գոտում: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, 70, N1, էջ. 60-75:
- Авакян Л.С., Арутюнян М.А., Саакян К.А.** 1976. 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, Ереван, с.2-30.
- Капелян П. М., Галстян А.Р., Григорян Л. А., Карапетян А. И., Шагинян Г.В., Эксузян Ц. О.** 2001. «Геохимия природных вод бассейна оз. Севан, Издательство НАН РА, Ереван, 1997, с.1-13.
- 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, 246p.
- 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.** 2020. New evidences of Holocene tectonic and volcanic activity of the western part of Lake Sevan (Armenia). Geo logical Quarterly, 64 (2): p.288–303, doi:<http://dx.doi.org/10.7306/gq.1530>.

- Avagyan A., Sosson M., Sahakyan L., Sheremet Y., Vardanyan S., Martirosyan M., Muller C.** 2018. Tectonic evolution of the South-Eastern margin of the Ararat basin, (Lesser Caucasus, Armenia). *Journal of Petroleum geology*, vol. 41, n.4.
- Avagyan A., Sosson M., Karakhanian A., Philip H., Rebai S., Rolland Y., Melkonyan R. & Davtyan V.** 2010. Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions. In: *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Special Volume*. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, and V. Starostenko. Geol. Soc. of London, Special Volume 340, p.393-408.
- Avagyan, A.** 2001. 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, 246p.
- Barton N. and Choubey V.** 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 10(1), p.1-54.
- Barton N. R.** 1972. A model study of rock-joint deformation, *Int. J. Rock Mech. Min.*, 9, p.579–602.
- Barton N., Bandis S.** 1982. Effects of block size on the shear behavior of jointed rock. In: *Proc. 23rd US Symposium on Rock Mechanics*. American Rock Mechanics Association, p.739-760.
- Coulomb C. A.** 1776. 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* 7: p.343-382.
- Fenton C., P. Charusiri and S. H. Wood.** 2003. Recent pleoseismic investigations in northern and western Thailand, *Ann. Geophys.*, 46(5), p.957–981.
- Hamblin B. K.** 1976. Patterns of displacement along the Wasatch Fault, *Geology*, 4, p.619–622.
- Hoek E. and Brown E.T.** 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 34(8), p.1165-1186.
- Hoek E. and Diederichs M.S.** 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), p.203-215.
- Hoek E., Carranza-Torres C. and Corkum B.** 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 1(1), p.267-273.
<https://app.visiblegeology.com/stereonetApp.html>
- Karakhanian A.S., Trifonov V.G., Philip H., Avagian A., Hessami K., Jamali F., Bayraktutan S.M., Bagdassaria N H., Arakelian S. & Davtian V.** 2004. Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-western Iran. *Tectonophysics*, 380, p.189– 219.
- Karakhanian A., Arakelyan A., Avagyan A., and Sadoyan T.** 2016. Aspects of theseismotectonics 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 Special Paper 525*, © The Geological Society of America, p. doi:10.1130/2016.2525(14).
- Keller E. A. and N. Pinter.** 1996. *Active Tectonics: Earthquake, Uplift, and Landscape*, 338p., New Jersey, Prentice Hall.
- Mohr O.** 1914. *Abhandlungen aus dem Gebiete der Technischen Mechanik* (2nd ed). Ernst, Berlin.
- Philip H., Avagyan A., Karakhanian A., Ritz J.-F. & Rebai S.** 2001. Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault: example of the Pambak-Sevan-Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, 343, p.205-232.
- Sosson M., Rolland Y., Muller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia Sh., Babazadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan Gh., Mosar J.** 2010. Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. In: *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Special Volume*. Eds. M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, and V. Starostenko. Geol. Soc. of London, 340, p.329-352.
- Wiegwin W., Sugiyama Y., Hisada K. and Charusiri P.** 2011. Re-evaluation of the activity of the Thoen Fault in the Lampang Basin, northern Thailand, based on geomorphology and geochronology, *Earth Planets Space*, 63, p.975–990.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

Авагян С.А.

Резюме

В статье впервые обсуждаются результаты статического и динамического моделирования склоновых процессов в северо-восточной части бассейна озера Севан с учетом гористого рельефа местности, существующих молодых активных разломов с высоким сейсмическим потенциалом. В статических условиях был определен коэффициент устойчивости склонов выделенного нами блока в южной части гор Арегуни: $FoS=2,33$, а в динамических условиях в случае подачи сигнала землетрясения магнитудой 6,5 (1976г., Фриули, Италия 6,5 Mw), максимальное смещение 0,6м и максимальное ускорение 0,6g. И, несмотря на более плотное размещение озеропadaющих разломов (88° ЮЗ), существующие разломы противоположного направления (42° СВ) и разлом ПСС (Памбак-Севан-Сюник) с его сегментами (80° СВ), по-видимому, выступают в качестве противовеса и уравнивают значительные движение горных массивов в сторону озера.

THE SEISMOTECTONIC INFLUENCE ON THE SLOPE PROCESSES OF THE NORTHEASTERN SECTION OF SEVAN LAKE BASIN

Avagyan S.A.

Abstract

The article discusses for the first time the results of static and dynamic modeling of slope processes in the northeastern part of the Sevan Lake basin, taking into account the mountainous relief of the area, and the existing young active faults with high seismic potential. In static conditions, the coefficient of slope stability of the separated block in the southern part of the Areguni Mountains was determined: $FoS=2.33$. The maximum displacement of 0.6m and maximum acceleration of 0.6g are obtained for the dynamic conditions, in the case of applying an earthquake signal of magnitude 6.5 (1976, Friuli, Italy 6.5 Mw). Despite the denser distribution of the lakeward dipping joints (88° SW), the existing layers (42° NE) and the PSS (Pambak-Sevan-Syunik) fault segment (80° NE) opposite dipping seem to act as a counterbalance to the significant rock-mass movement towards the lake.