

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԱՐՏԱԿ ՓԻԼՈՅԱՆ ՍԱՐԳՍԻ

ԳԵՈՄՈՐՓՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՌԵԼԻԵՖԻ
ՇՐՋԱՆԱՑՈՒՄ ԵՎ ՇՐՋԱՆԱՁԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՏԱՐԱՆՋԱՏՈՒՄ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ՝ ԱՏՀ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ
ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

ԻԴ. 03.01 – «Աշխարհագրություն» մասնագիտությամբ աշխարհագրական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Գիտական ղեկավար՝
Աշխարհագրական գիտությունների դոկտոր,
պրոֆեսոր Վ. Ռ. Բոյնագրյան

Երևան 2018

Բովանդակություն

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4
ԳԼՈՒԽ 1. ՌԵԼԻԵՖԻ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԷՈՒԹՅՈՒՆԸ	10
1.1 Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության նպատակն ու խնդիրները	10
1.2 Գեոմորֆոմետրիայի՝ որպես աշխարհագրական գիտելիքի զարգացման հիմնական փուլերը.....	11
1.3 Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության փուլերը	14
1.3.1 Գոյություն ունեցող քարտեզագրական ինֆորմացիայի նախնական գնահատում.....	14
1.3.2 Ելակետային ինֆորմացիայի հավաքագրում և քարտեզագրական կապակցում.....	14
1.4 Ռելիեֆի ներկայացումը թվային միջավայրում	16
1.4.1 Ռելիեֆի թվային մոդելների ստեղծման հիմնական մեթոդներ.....	20
ԳԼՈՒԽ 2. ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ	
ԿԻՐԱՌՎԱԾ ՌԹՄ-Ի ԵՎ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՎԱՔԱԾՈՒԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄ	24
2.1 Ռելիեֆի թվային մոդելի ընտրության հիմնավորումը	24
2.2 Ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական բնութագրիչներ	30
ԳԼՈՒԽ 3. ՀՀ ՌԵԼԻԵՖԻ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ	38
3.1 Հայաստանի Հանրապետությունում իրականացված գեոմորֆոմետրիական հետազոտությունների համառոտ ակնարկ	38
3.2 Հայաստանի Հանրապետության ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների տարածական փոփոխականության վերլուծություն.....	42
3.2.1 Բացարձակ բարձրություններ	43
3.2.2 Մակերևույթի թեքություններ	52
3.2.3 Կողմնադրություններ.....	61
3.2.4 Պլանային և պրոֆիլային կորություններ.....	69
3.2.5 Հոսքի հետագծի երկարություն	85
ԳԼՈՒԽ 4. ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՀՀ ՌԵԼԻԵՖԻ ՇՐՋԱՆԱՑՈՒՄ ԵՎ ՇՐՋԱՆԱՁԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԲԱՅԱՀԱՅՈՒՄ	90
4.1 Ռելիեֆի բազմաչափ դասակարգում.....	90
4.2 ՀՀ ռելիեֆի բազմաչափ դասակարգման և շրջանացման արդյունքերի քննարկում	93

4.3 Երկրի մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքների ուսումնասիրության պատմությունն ու ներկա վիճակը	102
4.4 Գեոմորֆոմետրիական քարտեզների կիրառումը ՀՀ տարածքում՝ շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերման և քարտեզագրման նպատակով.....	106
ԵԶՐԱԿԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ.....	116
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	118
ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ	133
ՀԱՎԵԼՎԱԾՆԵՐ.....	134

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Աշխատանքի արդիականությունը: Ռեփեֆը հանդիսանում է Երկրի մակերևույթի վրա տարաբնույթ բնական պրոցեսների զարգացումն ապահովող կարևորագույն գործոններից մեկը: Այն մեծ հաշվով վերաբաշխում է Երկրի մակերևույթին հասնող արևային ռադիացիան, որոշում է մակերևույթային հոսքի ձևավորման առանձնահատկությունները և լանջային պրոցեսների ամբողջ սպեկտրը՝ դրանով պայմանավորելով լանդշաֆտային դիֆերենցիացիան՝ անգամ լոկալ տարածքներում:

Գեոհամակարգերի ֆունկցիոնալության մեջ ռեփեֆի ունեցած դերի վերլուծությունը պահանջում է դրա քանակական բնութագրումը: Այս տեսանկյունից ամենից արդյունավետ մեթոդներից է հանդիսանում ռեփեֆի գեոմորֆոմետրիական (երկրաձևաչափական) վերլուծությունը: Հենց այս մեթոդն է լայնորեն օգտագործվում գեոմորֆոլոգիայում և նախատեսված է հետազոտվող օբյեկտների էության փոփոխությունը՝ օբյեկտի ձևի միջոցով քանակական հաստատման համար: Սակայն գեոմորֆոմետրիական վերլուծության շրջանակները չեն սահմանափակվում միայն գեոմորֆոլոգիայով. դրա կիրառումը ավելի լայն է: Մասնավորապես, այն կիրառվում է տարաբնույթ գեոէկոլոգիական խնդիրները լուծելիս:

Ռեփեֆն ամենից լավ ձևով կարող է բնութագրվել գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշներով՝ որոնք հաշվարկվում են համապատասխան ելակետային քարտեզագրական նյութի վրա: Սակայն, ռեփեֆի քանակական ցուցանիշների հաշվարկումը և համապատասխան թեմատիկ քարտեզների կազմումը մեծ տարածքների համար ավանդական «ձեռքային» եղանակով զուգակցվում է մեծ աշխատատարությամբ:

Ներկայումս քարտեզագրական թեմատիկ շերտերի, տվյալների շտեմարանների ստեղծումը, տարբեր հիերարխիկ մակարդակների և տարածական ընդգրկման տեղեկատվական համակարգերի ներդրումն անհնար է պատկերացնել առանց ժամանակակից տեղեկատվական տեխնոլոգիաների օգտագործման: Դրանց կիրառումը հնարավորություն է ընձեռել գեոմորֆոմետրիական խնդիրների լուծումը բերել որակական նոր մակարդակի: Գեոտեղեկատվական տեխնոլոգիաների

ինտենսիվ զարգացումը թույլատրում է զգալիորեն պարզեցնել ռելիեֆի մասին քանակական մեծածավալ ինֆորմացիայի ստացումը:

Ռեգիոնալ առումով աշխատանքի արդիականությունը որոշվում է նրանով, որ Հայաստանի Հանրապետության տարածքի համար բավականին երկար ժամանակ իրականացված չէր ռելիեֆի քանակական բնութագրիչների համապարփակ վերլուծություն՝ տարածքների շրջանացման համատեքստում, իսկ Աշխարհագրական Տեղեկատվական Համակարգերի (ԱՏՀ) կիրառմամբ իրականացված վերլուծությունը գրեթե բացակայում է: Մինչդեռ նման հետազոտությունների արդյունքները կիրառական նշանակություն ունեն տարածքների արդյունավետ կառավարման գործընթացում:

Աշխատանքի նպատակն ու խնդիրները: Աշխատանքի նպատակն է գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիման վրա համակարգչային մոդելավորման կիրառմամբ՝ ՀՀ տարածքում ռելիեֆի ձևերի տարանջատում՝ ռելիեֆի շրջանացման համատեքստում, և գեոմորֆոմետրիական քարտեզների միջոցով ՀՀ ռելիեֆի շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերում և քարտեզագրում:

Աշխատանքի ընթացքում փորձ է կատարվել լուծել հետևյալ խնդիրները՝

- համեմատական գնահատման միջոցով հիմնավորել սկզբնաղբյուր հանդիսացող Ռելիեֆի Թվային Մոդելների (ՌԹՄ) ընտրությունը,
- գեոտեղեկատվական մեթոդների կիրառմամբ իրականացնել ՀՀ ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական համալիր վերլուծություն,
- նախօրոք ընտրված և հիմնավորված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների բազմաչափ համադրման հիման վրա իրականացնել ՀՀ տարածքի ռելիեֆի ձևերի շրջանացում՝ k-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմի կիրառմամբ,
- մշակել և կիրառել ռելիեֆի ձևերի դասակարգման նոր սխեմա,
- գեոմորֆոմետրիական մոտեցման միջոցով հայտնաբերել և քարտեզագրել ՀՀ մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքներ:

Օգտագործված ելակետային տվյալները: Աշխատանքում հետազոտություններ իրականացնելու համար որպես սկզբնաղբյուր օգտագործվել է ԱՄՆ Ազգային

տիեզերական ծառայության «Endeavour» տիեզերական մաքուր վրա տեղակայված SIR-C և X-SAR (Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar) ռադիոլոկացիոն սենսորների հանույթի արդյունքում ստեղծված SRTM (Shuttle radar topographic mission) 90 մ լուծաչափով ՌԹՄ-ն: Բացի այդ SRTM ՌԹՄ-ի ճշտությունը գնահատելու նպատակով օգտագործվել է նաև ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Երկրատեղեկատվության լաբորատորիայի աշխատակիցների կողմից ստեղծված 1:200000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզի թվայնացման ճանապարհով ստացված ՌԹՄ-ն:

Հետազոտության մեթոդները: Աշխատանքում կիրառվել են քարտեզագրական, համեմատա-աշխարհագրական, աշխարհատեղեկատվական, աշխարհավիճակագրական, տարածական վերլուծության և կլաստերային վերլուծություն հետազոտության մեթոդները:

Ծրագրային միջոցները: Հաշվարկները, քարտեզագրական, տարածական, կլաստերային վերլուծությունները իրականացնելու համար կիրառվել են ArcGIS 10.2, QGIS 2.12 “Lyon”, SAGA 2.12, Withbox GAT 2.2 “Iguazu” ծրագրային փաթեթները և ET Surface, TAPES-GIS, DEM Surface Tools ծրագրային հավելվածները:

Աշխատանքի հետազոտության օբյեկտն ու առարկան: Հետազոտության օբյեկտն է հանդիսանում ՀՀ ռելիեֆը, հետազոտության առարկան՝ դրա առանձին ձևաչափական տարրերը և դրանց տարածական փոփոխության օրինաչափությունները:

Գիտական նորույթը:

- ՀՀ տարածքում իրականացվել է ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համապարփակ տարածական վերլուծություն:
- Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիման վրա k-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմի կիրառմամբ իրականացվել է ռելիեֆի ձևերի բազմաչափ տիպոլոգիական դասակարգում և շրջանացում:
- Դասակարգման հիմքում ընկած գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների ներկայացված համադրումը գեոմորֆոմետրիական հետազոտություններում կիրառվել է առաջին անգամ:
- Կիրառվել է ռելիեֆի ձևերի դասակարգման նոր սխեմա, որը ՀՀ համար

ադապտացվել է մի քանի հեղինակների տարբեր սխեմաների համադրման արդյունքում:

- Գեոմորֆոմետրիական մոտեցման կիրառմամբ ՀՀ տարածքում հայտնաբերվել և քարտեզագրվել են շուրջ 50 շրջանաձև կառուցվածքներ: Փորձ է կատարվել նկարագրել դրանք երկրաբանական և գեոմորֆոլոգիական կառուցվածքի տեսանկյունից:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը: Տվյալ աշխատանքի արդյունքները կարող են օգտագործվել աշխարհագրական տարաբնույթ բնագավառներում: Ռելիեֆի ձևերի դասակարգման արդյունքները կարող են օգտագործվել հողի պոտենցիալ էրոզիան և կորուստները հաշվարկելիս, բնական աղետների վտանգների և ռիսկերի գնահատման ընթացքում (մասնավորապես ջրհեղեղների ընթացքում ջրածածկվող տարածքները որոշելիս, էկզոգեն պրոցեսների նկատմամբ լանջերի կայունությունը հաշվարկելիս և այլն) տարածքների էներգետիկ պոտենցիալը գնահատելու ընթացքում լանջերի վրա արևային ռադիացիայի ինտենսիվությունը հաշվարկելիս, ինչպես նաև տարածքների լանդշաֆտային շրջանացման ու պլանավորման ընթացքում:

Ներկայացված գեոմորֆոմետրիական մոտեցումը հնարավոր է կիրառել կառուցվածքային երկրաբանության այնպիսի հիմնարար խնդիրներ լուծելիս, ինչպիսին են գծային և շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերելը և քարտեզագրելը:

Մշակված մեթոդաբանությունը կարելի է օգտագործել բոլոր տեսակի և մասշտաբի ՌԹՄ-ների կիրառմամբ:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Պաշտպանության են ներկայացվում հետևյալ դրույթները՝

- Ցույց է տրված, որ ՀՀ տարածքում փոխադարձ կապ է նկատվում ռելիեֆի ծագումնա-տարիքային բնութագրի և դրա գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների տարածական տեղաբաշխման միջև:
- Ապացուցված է, որ բազմաչափ տվյալների հավաքածուների դասակարգման մոդելի (k-միջինների ալգորիթմ) կիրառմամբ գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համադրումը թույլատրում է իրականացնել ռելիեֆի տիպոլոգիական դասակարգում և շրջանացում:

- Ապացուցված է, որ մակերևույթների կողմնադրությունը՝ չնայած այն փաստին, որ հանդիսանում է բարձրությունների զանգվածի առաջին կարգի ածանցյալներից մեկը, մեր դեպքում չի կարող մասնակցել ռելիեֆի ձևերի դասակարգմանը, քանի որ դասակարգման արդյունքում այն առաջացնում է ռելիեֆի հավելյալ, կեղծ զոնավորում:
- Յույց է տրված, որ գեոմորֆոմետրիական մոտեցումը արդյունավետ միջոց է հանդիսանում մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերման և քարտեզագրման համար:

Աշխատանքի փորձահավանությունը և հրատարակումները:

Աշխատանքի մեջ ներառված ուսումնասիրությունների և հետազոտությունների մասին զեկուցվել է՝

- Ռուսաստանի Դաշնության Մոսկվա քաղաքում կայացած «Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты» 6-րդ միջազգային կոնֆերանսում (2010 թ.),
- Սլովակիայի Տատրանսկա Լոմնիցա քաղաքում կայացած «Carpatho-Balkan-Dinaric Conference on Geomorphology held on the occasion of the 50th anniversary of foundation of the Carpatho-Balkan Geomorphological Commission» միջազգային կոնֆերանսում (2013 թ.),
- Սանկտ Պետերբուրգում կայացած «III Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского» միջազգային կոնֆերանսի շրջանակներում (2013 թ.),
- ԵՊՀ Աշխարհագրության և երկրաբանության ֆակուլտետում և Չեխիայի Հանրապետության Բոնո քաղաքի Մասարիկի Համալսարանի Աշխարհագրության դեպարտամենտում կայացած սեմինարներում:

Ատենախոսության առանձին դրույթներ և արդյունքեր ներդրման են ընդունվել ՀՀ Ազգային Վիճակագրական Ծառայության և «Գեոմիներալ» ՍՊԸ կողմից:

Տպագրված աշխատանքները

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 5 գիտական հոդված, 2 թեզիս:

Աշխատանքի ծավալը:

Ատենախոսությունը տպագրված է 132 էջերի վրա, բաղկացած է ներածությունից, 4 գլխից, եզրակացություններից, 58 նկարներից, 10 աղյուսակներից, 165 անուն գրականության ցանկից:

Երախտագիտություն:

Ատենախոսության հեղինակն իր խորին շնորհակալությունն է հայտնում իր գիտական ղեկավար՝ աշխարհագրական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Վլադիմիր Բոյնագրյանին, Քարտեզագրության համաշխարհային ասոցիացիայի նախկին նախագահ, Չեխիայի Հանրապետության Մասարիկի Համալսարանի Աշխարհագրության դեպարտամենտի Գեոինֆորմատիկայի լաբորատորիայի տնօրեն, աշխարհագրական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Միլան Կոնեչնիին, ինչպես նաև ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Երկրատեղեկատվության լաբորատորիայի վարիչ, Երկրաբանահանքաբանական գիտ. թեկնածու Արշավիր Ավագյանին, ԵՊՀ Քարտեզագրության և գեոմորֆոլոգիայի ամբիոնի դասախոս Սամվել Նահապետյանին՝ աշխատանքի տարբեր փուլերի ընթացքում ցուցաբերած գիտական խորհրդատվության, իրականացված հետազոտությունների աջակցման և օգնության համար:

Մեր առանձնակի երախտագիտությունն ենք ցանկանում նաև հայտնել ԵՊՀ Քարտեզագրության և գեոմորֆոլոգիայի ամբիոն վարիչ՝ աշխարհագրական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ Պետրոս Դավթյանին, Աշխարհագրության և Երկրաբանության ֆակուլտետի դեկան՝ Երկրաբանական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ Մարատ Գրիգորյանին և դեկանի տեղակալ՝ տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Վահրամ Վարդանյանին:

ԳԼՈՒԽ 1. ՌԵԼԻԵՖԻ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԷՈՒԹՅՈՒՆԸ

1.1 Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության նպատակն ու խնդիրները

Յուրաքանչյուր գիտություն իր զարգացման տարբեր փուլերում ունենում է մեկ կամ մի քանի հիմնարար, համընդհանուր նպատակներ՝ ա) օբյեկտների կամ երևույթների նկարագրություն, բ) օբյեկտների կամ երևույթների առանձնահատկությունների և հատկանշների բացահայտում, գ) զարգացումների կանխատեսում, դ) կառավարում, ե) նոր օբյեկտի կամ երևույթի ստեղծում՝ համաձայն նախօրոք տրված հատկանիշների կամ առանձնահատկությունների [23]։

Գեոմորֆոմետրիան ներկայումս իր առջև կարող է դնել վերոհիշյալ նպատակներից առաջին երեքը։ Նպատակներին համաձայն էլ ձևավորվում են խնդիրների խմբերը՝ ռելիեֆի նկարագրման խնդիրների խումբ, ռելիեֆի առանձնահատկությունների և հատկանիշների բացատրման խնդիրների խումբ, ռելիեֆի զարգացումների կանխատեսման խնդիրների խումբ [51]։

Տվյալ աշխատանքում իրականացվել է տարածքի գեոմորֆոմետրիական վերլուծություն՝ ռելիեֆի առանձնահատկությունների բնութագրման նպատակով։ Բացի այդ, փորձել ենք ցույց տալ ստացված տվյալների պրակտիկ կիրառման հնարավորությունը՝ ռելիեֆի գեոմորֆոլոգիական շրջանացման խնդիրներ լուծելու ճանապարհով, մասնավորապես, ռելիեֆի ձևերի առանձնացում՝ գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիման վրա։

Ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական վերլուծություն կատարվում է 2 դեպքում՝ ա) եթե նախկինում չի կատարվել, կամ բ) եթե նախկինում իրականացված վերլուծությունների արդյունքները կասկած են հարուցում կամ բարոյապես հնացած են և անհրաժեշտություն կա նախկինում ստացված տվյալների ճշգրտման և հստակեցման [51]։

Ռելիեֆի նկարագրման խնդիրների խմբին հատուկ են հետևյալ 2 ուղղության աշխատանքները՝ ռելիեֆի քանակական նկարագրման աշխատանքներ և ռելիեֆի որակական նկարագրման աշխատանքներ։ Առաջին ուղղության աշխատանքներին են վերաբերվում տոպոգրաֆիական քարտեզներից և/կամ աերոտիեզերական նկարներից

բարձրությունների դուրս բերումը, անհրաժեշտ/հնարավոր ցուցանիշների հաշվարկը, քարտեզների, դիագրամների, աղյուսակների, տվյալների բազաների, թվային շտեմարանների ստեղծումը և այլն [36]: Ելակետային տվյալների մեծ քանակության դեպքում նպատակահարմար է կառուցել գեոմորֆոմետրիական քարտեզներ, առաջին հերթին այնպիսիները, որոնցում ռելիեֆը ներկայացվում է որպես բարձրությունների չընդհատվող, շարունակական դաշտ: Տվյալ աշխատանքում շեշտը դրված է նման մոտեցման վրա:

Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության արդյուքնում հնարավոր է լուծել խնդիրների լայն շրջանակ՝

- գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների քանակական գնահատում, դրանց միջոցով ռելիեֆի գեոմորֆոլոգիական առանձնահատկությունների բացահայտում՝ առանց առանձին մասերի բաժանման միջոցով,
- այնպիսի փոխակերպումների իրականացում, որոնց վերծանումը թույլ է տալիս մորֆոլոգիապես տարբեր ռելիեֆի ձևերի ու տարրերի հստակ առանձնացում, այդ թվում այնպիսիների, որոնց սահմանագծերն ու կոնտուրները հնարավոր չէ ճիշտ և միանշանակ ֆիքսել ելակետային քարտեզագրական նյութի վրա (մասնավորապես՝ գծային և շրջանաձև մորֆոկառուցվածքներ և այլն),
- ռելիեֆի տարանջատում որակական և քանակական բնութագրիչներով իրարից հստակորեն տարբերվող մասերի (ռելիեֆի շրջանացում):

1.2 Գեոմորֆոմետրիայի՝ որպես աշխարհագրական գիտելիքի զարգացման հիմնական փուլերը

Գեոմորֆոմետրիան գիտական ուղղություն է գեոմորֆոլոգիայում, որն ուսումնասիրում է Երկրի մակերևույթի ռելիեֆի քանակական (երկրաչափական) հատկանիշները՝ դրանց հայտնաբերելու և նկարագրելու նպատակով: Այն իր մեթոդներով նպաստում է ռելիեֆի առաջացման և զարգացման պատմության ուսումնասիրությանը, ստեղծում է սեփական մորֆոլոգիական հիմքեր, որոնք անհրաժեշտ են ռելիեֆի ձևավորման և զարգացման հիմնական օրինաչափությունները

բացահայտելու համար [13]: Գիտելիքի այս ուղղության կարևորագույն մեթոդներից է գեոմորֆոմետրիական վերլուծությունը: Այն նաև գեոմորֆոլոգիական հետազոտության մեթոդներից է, որում ռելիեֆի քանակական հատկանիշները ուսումնասիրվում են հատուկ չափումների միջոցով: Քանակական հատկանիշների հավաքածուն կարող է լինել բազմազան՝ կախված գեոմորֆոմետրիական վերլուծության նպատակներից և թիրախային տարածական միավորի հատկանիշներից: Ստացված տվյալները մշակվում են ըստ հատուկ ծրագրի, որից հետո հաշվարկվում են ուսումնասիրվող տարածքը բնութագրող գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշներն ու գործակիցները [50]:

Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության պատմության մեջ առանձնացվում են 3 հիմնական փուլ, որոնցից յուրաքանչյուրը ներկայացված է հետազոտողների համապատասխան շրջանակով: Ա. Բոլիգի [16] և Ի. Շուկինի [57] կարծիքով առաջին փուլին կարելի է վերագրել բոլոր այն աշխատանքները, որոնք կապված են երկրի մակերևույթի ռելիեֆի բարձրությունների, երկարությունների, բարդ էլեմենտների տարածքների չափագրման հետ: Պետք է շեշտել, որ դա կապված է տարաբնույթ չափող գործիքների հայտնաբերման հետ: Որպես առաջին փուլի արդյունք՝ գեոմորֆոմետրիական վերլուծության հիմքը դրվեց, կամ ավելի կոնկրետ ստեղծվեցին երկրի մակերևույթի տոպոգրաֆիական նկարագրությունները: Մշակվեցին ռելիեֆի պատկերման նոր մեթոդներ (օրինակ, հորիզոնականների մեթոդը) [13, 14]:

Գեոմորֆոմետրիական զարգացման երկրորդ փուլը նշանավորվեց ռելիեֆի քանակական բնութագրիչների գեոմորֆոլոգիական իմաստավորման առաջին փորձերով: Երկրորդ փուլի առաջին աշխատանքներից են լեռնաչափական աշխատանքները Անդերում, որոնք 18-րդ դարի վերջին հենց տեղում իրականացրել է Ա. Հումբոլդտը: Տվյալ ժամանակահատվածի գեոմորֆոմետրիական հետազոտությունների առանձնահատկություններից էր ռելիեֆի բնական ձևերի և երկրաչափական տարրական ֆիգուրների միջև անալոգների անցկացումը: Այս փուլում ստեղծվում են նաև առաջին գեոմորֆոմետրիական քարտեզները, առաջ են քաշվում դրույթներ գեոմորֆոմետրիական գործակիցների մասին: Օրինակ, 1926թ. Կարլ Ռիտտերը շրջանառության մեջ մտցրեց «մայրցամաքների կոմպատություն»

հասկացությունը, որն իրենից ներկայացնում է պարագծի հարաբերությունը մակերեսին:

Այս փուլում աճում է այն հետազոտողների թիվը, որոնք տարաբնույթ գործակիցներ են առաջարկում՝ ռելիեֆի ձևերը մեկ թվով բնութագրելու համար: Այսպես, Կ. Կորիցկան միջին բարձրության հաշվարկման նոր մեթոդ է առաջարկում: Ա. Պենկ հիպսոգրաֆիական կորեր է կառուցում տարածքների համար [56]: XIX դարի կեսերին գեոմորֆոմետրիայի զարգացման գործում հատկապես մեծ է Ա. Պենկի ներդրումը:

Չնայած գեոմորֆոմետրիայի զարգացման երկրորդ փուլի ձեռքբերումներին՝ XX դարի առաջին կեսերին նկատվում է հետաքրքրության անկում գիտական այս ուղղության նկատմամբ:

Զարգացման երրորդ փուլը գեոմորֆոմետրիայի համար հանդիսանում է վերածննդի և կտրուկ առաջընթացի ժամանակաշրջան: Դա մեծապես կապված էր նախորդ դարի երկրորդ կեսերից սկսած թվային և հաշվողական տեխնոլոգիաների, հետազոտման աէրո-տիեզերական մեթոդների, դիստանցիոն զոնդավորման մեթոդների ձևավորման և զարգացման հետ: Երրորդ փուլի համար բնորոշ է քարտեզագրության և գեոմորֆոմետրիական վերլուծության մերձեցումը: Գեոմորֆոմետրիական վերլուծական մեթոդների հիման վրա ի հայտ են գալիս ռելիեֆի մաթեմատիկական մոդելները, որի արդյունքում էլ գեոմորֆոլոգիայում առանձնանում է մաթեմատիկական ուղղությունը: Գեոմորֆոմետրիայում ներդրվում են ռելիեֆի ուսումնասիրման համակարգա-կառուցվածքային մոտեցումները: Քարտեզա-մաթեմատիկական մոդելավորման զարգացումը աջակցում է գեոմորֆոմետրիական աշխատանքներում նոր գաղափարների և մոտեցումների կիրառմանը, նոր ճանապարհներ են բացվում գեոմորֆոմետրիական տվյալների հավաքագրման, մշակման և վերափոխման ժամանակակից հաշվողական միջոցների ներդրման համար [50]: Վստահորեն կարելի է նշել, որ գեոմորֆոմետրիա գիտական ուղղության զարգացման երրորդ փուլը դեռևս շարունակվում է և գտնվում է իր՝ առավել բեղմնավոր և արդյունավետ ժամանակահատվածում:

1.3 Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության փուլերը

1.3.1 Գոյություն ունեցող քարտեզագրական ինֆորմացիայի նախնական գնահատում

Կախված գեոմորֆոմետրիական վերլուծության վերջնական նպատակից՝ ելակետային քարտեզագրական ինֆորմացիայի ծավալը խիստ փոփոխական է: Մի խնդրի դեպքում (հիմնականում՝ նկարագրական) բավարար է միայն մեկ տոպոգրաֆիական քարտեզը: Իսկ ահա այլ՝ վերլուծական բնույթի խնդիրներ լուծելիս անհրաժեշտ է լինում հստակ կանոնակարգված, համապատասխան մասշտաբի ու բովանդակության քարտեզների հավաքածու: Ուստի քարտեզագրական ինֆորմացիայի նախնական գնահատման համար առաջին քայլը դառնում է անհրաժեշտ քարտեզագրական ինֆորմացիայի քանակական բավարարվածության գնահատումը:

Սկզբնաղբյուրների գնահատման երկրորդ փուլն է հանդիսանում նրանց որակի վերաբերյալ գնահատականը՝ համաձայն հետևյալ չափանիշների՝

1. տարբեր թեմատիկ քարտեզների քարտեզագրական պրոյեկցիաների համապատասխանություն,
2. մասշտաբի համապատասխանություն,
3. քարտեզների վրա պատկերվող օբյեկտների գեներալիզացիայի աստիճանի համապատասխանություն:

Վերջինս հատկապես կարևոր է միջին և փոքր մասշտաբի քարտեզների հիման վրա իրականացվող վերլուծական աշխատանքների ընթացում [50]:

1.3.2 Ելակետային ինֆորմացիայի հավաքագրում և քարտեզագրական կապակցում

Ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական քարտեզներ կազմելիս ամենից պատասխանատու պահը ելակետային ինֆորմացիայի հավաքագրումն ու քարտեզագրական կապակցումն է: Վստահորեն կարելի է շեշտել, որ այս փուլն ամենից աշխատատարն է: Քարտեզագրական նյութի կապակցման համապատասխան մեթոդների առկայությունը թույլ է տալիս ստանալ բարձրորակ տարածական

կապացումով և կոնտուրների հստակ տարանջատումով ինֆորմացիա: Քարտեզների վրա առանձնացված տարածքները կհամապատասխանեն տվյալ տարածքի ռելիեֆի բնութագրիչների կոնկրետ մեծություններին: Սակայն ռելիեֆի բնութագրիչների քանակական արժեքները կաղավաղվեն՝ միջին և փոքր մասշտաբի ելակետային քարտեզների կազմման առանձնահատկությունների պատճառով: Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների աղավաղումների վերացման համար արդյունավետ գեներալիզացիայի մեթոդ է հանդիսանում կետային-վիճակակագրական մեթոդը [50]:

Ռելիեֆի՝ որպես բարձրությունների դաշտի դիտարկման պայմանում և ԱՏՀ տեխնոլոգիաների կիրառմամբ, նրա՝ առանց բացառության բոլոր քանակական բնութագրիչների վերլուծության համար օգտագործվում է գրեթե մեկ ընթացակարգ, որի քայլերը ներկայացված է ստորև,

1. ընտրվում է որոշակի ամրագրված չափսով քառակուսիների (կարող է լինել այլ երկրաչափական կանոնավոր պատկեր՝ մասնավորապես հեքսագոն) ցանց կամ հանգույցների ցանց,
2. յուրաքանչյուր քառակուսիում չափվում է հետաքրքրող ցուցանիշը (օրինակ, բացարձակ բարձրությունը),
3. չափագրման արդյունքները ներկայացվում են կանոնավոր ընտրության տեսքով,
4. ցանցի հանգույցում արժեքների միջինացումը կատարվում է «լողացող պատուհանի» մեթոդով [24],
5. կատարվում է արդյունքների վիզուալացում:

Այս ընթացակարգը մեթոդապես և մեթոդոլոգիապես հիմնավորված է Վ. Ա. Չերվյակովի կողմից [55]:

Փաստացի, որպես տարածական միավոր օգտագործվում է կանոնավոր ցանցի բջիջը, իսկ բոլոր բջիջները միասին կազմում են ստատիստիկ մակերևույթ, տոպոգրաֆիական մակերևույթ կամ դետերմինա-ստատիստիկ մոդել [54, 136]:

Ստատիստիկ մակերևույթների ուսումնասիրությունը ենթադրում է դրանց պատկերումը աշխարհագրական քարտեզների վրա: Ներկայումս ստատիստիկ

մակերևույթները աշխարհագրական քարտեզների վրա պատկերվում են երեք հիմնական մեթոդներով՝ 1) հորիզոնականներ (իզոգծեր) մեթոդով, 2) գունային քարտեզագրամաների տեսքով, 3) լուսա-ստվերային մեթոդով: Հնարավոր են նաև այլ մեթոդներ [14]:

Ա. Ռոբինսոնը արդարացիորեն ընդգծում է ստատիստիկ մակերևույթների բացառիկ դերը աշխարհագրության համար [136]: Այս քարտեզները ոչ միայն հեշտացնում են երևույթների տարածական տեղաբաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունը, այլ նաև նպաստում են մաթեմատիկայի առավել էֆեկտիվ կիրառմանը աշխարհագրության մեջ:

Չնայած ստատիստիկ մակերևույթների քարտեզների բավական մեծ քանակությանը՝ դրանց կազմելիս խորհուրդ է տրվում առաջնորդվել որոշակի ընդհանուր կանոններից, որոնց հիմքում ընկած է քարտեզագրվող տարածքի անընդհատության և տեղանքի յուրաքանչյուր կետում չափագրում իրականացնելու անհնարության գաղափարները:

1.4 Ռելիեֆի ներկայացումը թվային միջավայրում

Ռելիեֆի՝ թվային միջավայրում մոդելավորման արդյունքում ստացված բարձրությունների զանգվածների վերլուծությունը վաղուց դարձել է Երկրի մասին գիտություններում (գեոմորֆոլոգիա, երկրաֆիզիկա, տեկտոնիկա, հիդրոլոգիա և այլն), էկոլոգիայում, հողային կադաստրում, տարածա-ինժեներական նախագծերում իրականացվող հետազոտությունների բաղկացուցիչ մաս:

Տարածական տվյալների համակարգչային վերլուծությունը լայնորեն կիրառվում է աղտոտված տարածքների դինամիկայի վերլուծության, հանքավայրերի մոդելավորման և տարածքների կայուն զարգացմանն ուղղված բազմաթիվ այլ նախագծերում:

Նշվածից երևում է, որ առաջին հերթին որևէ կերպ պետք է ստանալ, պահպանել և վերլուծել ռելիեֆի վերաբերյալ ինֆորմացիան: Նմանատիպ խնդիրներ լուծելուն են միտված Աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերը (ԱՏՀ):

ԱՏՀ կարևորագույն խնդիրներից է ռելիեֆի վերաբերյալ տվյալների պահպանումն (save) ու ներկայացումը (visualisation): Տարածական տվյալներն ընդհանրապես, և ռելիեֆը մասնավորապես ԱՏՀ համատեքստում ներկայացվում են թվային տվյալների 2 տիպի մոդելների ձևով՝ ռաստրային մոդելների միջոցով (ռելիեֆի թվային մոդել (Digital Elevation Model – DEM), անկանոն եռանկյունավորման ցանցերի (Triangulated Irregular Network – TIN)), կամ վեկտորային մոդելների միջոցով (հորիզոնականների միջոցով):

ԱՏՀ միջավայրում տվյալների վեկտորային մոդելը կազմվում է 3 երկրաչափական պարզագույն տարրերից (պրիմիտիվներից) մեկի՝ կետերի, գծերի կամ բազմանկյունների (պոլիգոնների) միջոցով: Վեկտորային մոդելն ունի իր առավելություններն ու թերությունները՝ համեմատած ռաստրային մոդելի հետ:

Ամենից հաճախ ռելիեֆը նկարագրվում է վեկտորային մոդելի այնպիսի տարրերով, ինչպիսիք են կետերը և գծերը, հազվադեպ բազմանկյունները:

Կետերի միջոցով ներկայացվում է ռելիեֆի կետային բնութագրիչների մասին ինֆորմացիան (օրինակ, լոկալ մաքսիմումներ և մինիմումներ): Գծերի միջոցով, օրինակ, ներկայացվում են նախօրոք տրված ուղղահայաց մասշտաբով հորիզոնականներ, ռելիեֆի կառուցվածքային գծեր (տալվեգներ, ջրբաժաններ): Բազմանկյունների միջոցով ներկայացվում են տարբեր կարգի գետային ավազաններ, բարձրությունների տարբեր ինտերվալների տարածման զոնաներ, գեոմորֆոլոգիական միավորներ (օբյեկտներ):

Ռաստրային մոդելների դեպքում տարածական օբյեկտների մոդելավորման հիմքում ոչ թե օբյեկտների առանձնացումն է, այլ տարածքների տարանջատումը ֆիքսված չափսով տարածական միավորների ամբողջականությամբ:

Ընդհանուր առմամբ, ռելիեֆի ներկայացման համար գոյություն ունեն ռաստրային 3 մոդելներ: Առաջին մոդելը TIN-ն է (Triangulated Irregular Network)՝ անկանոն գծային ցանց, որն իրենից ներկայացնում է Դելունեի տրիանգուլյացիային համապատասխան չփակվող եռանկյունիների համակարգ [80]: Երկրորդ մոդելն անվանվում է GRID (Grid Referenced Information Display)՝ բարձրությունների արժեքների

կանոնավոր մատրիցա [98]: Երրորդը TGRID մոդելն է, որն իր մեջ ներառում է TIN և GRID մոդելների տարրեր:

TIN մոդելում եռանկյունների գագաթներն հանդիսանում են ելակետային հենակետերը: Այս դեպքում ռելիեֆը ներկայացվում է որպես բազմանկյուն մակերևույթ, որի յուրաքանչյուր անկյունը բնորոշվում է կամ գծային ֆունկցիայով, կամ պոլինոմալ մակերևույթով, որի գործակիցները սահմանվում են եռանկյունիների գագաթների արժեքներով [40, 80]: Եռանկյունային մոդելի տարբերակող հատկությունն ու առավելությունը հանդիսանում է այն, որ նրանում ելակետային տվյալների փոխակերպման կարիք չկա: Դա մի կողմից թույլ չի տալիս նմանատիպ մոդելներն օգտագործել հետագա մանրակրկիտ վերլուծության համար, սակայն, մյուս կողմից հետազոտողը միշտ գիտի, որ այս մոդելում չկան «դրսից ներկրվող» սխալներ, որոնք հատուկ են այն մոդելներին, որոնց կառուցման համար օգտագործվում են ինտերպոլյացիոն մեթոդներ:

GRID-ը մոդել է, որն իրենից ներկայացնում է բարձրությունների արժեքների կանոնավոր ցանց՝ ստացված ելակետային տվյալների ինտերպոլյացիայի միջոցով, ընդ որում ինտերպոլյացիայի «ենթարկված» ցուցանիշների արժեքները ներկայացված են մատրիցայի յուրաքանչյուր բջիջում [12]: Եթե ԱՏՀ փաթեթների մեծամասնության վաղ տարբերակներում տրիանգուլյացիոն մեթոդով կառուցված մոդելները հանդիսանում էին հիմնական մոդելներ, ապա այժմ պատկերն այլ է, և բարձրությունների արժեքների մոդելավորման համար մեծապես կիրառվում են կանոնավոր մատրիցայի տեսքով մոդելներ:

Վիրտուալ տարածքի՝ բջիջների բաժանման առավել տարածված ձևն է կանոնավոր ցանցերի օգտագործումը, որտեղ բջիջները կամ քառակուսիների, կամ ուղղանկյունների տեսքով են:

Ինֆորմացիայի ներկայացման պարզագույն ձևը բոլոր բջիջների թվարկումն է՝ նշելով ինչպես նրանց տարածական տեղադիրքը, այնպես էլ ատրիբուտային տվյալները: Ներկայումս բազմաթիվ ԱՏՀ փաթեթներում օգտագործվում է նմանատիպ ցուցադրման եղանակը: Այս եղանակը թույլատրում է իրականացնել բազմաթիվ գործողություններ՝ կապված առաջին հերթին ատրիբուտային ինֆորմացիայի հետ:

Եթե վեկտորային մոդելները թույլատրում են ցուցադրել հիմնականում դիսկրետ, հստակ սահմանազատում ունեցող օբյեկտներ, ապա ռաստրային մոդելների միջոցով հնարավոր է ներկայացնել շարունակական՝ տարածական միավորի ամբողջ տարածքում անընդհատ երևույթներ, օրինակ, բացարձակ բարձրությունների կամ օդի ջերմաստիճանի տարածական տեղաբաշխումը:

Կանոնավոր ցանցերի միջոցով ներկայացվող ռելիեֆի մաթեմատիկական նկարագրմանը նվիրված առավել հետաքրքիր և հիմնարար են Մ. Հաթչինսոնի [103] և Զ. Վուդի [157, 158] աշխատանքները:

Ինչպես նշվեց վերևում, թվային միջավայրում ռելիեֆի ներկայացման ևս մեկ տեխնոլոգիա է TGRID-ը (trinagulated grid), որն իր մեջ ներառում է TIN և GRID մոդելների տարրեր: Այս մոդելներն ունեն իրենց հստակ առավելությունները, մասնավորապես, ելակետային տվյալների ինտերպոլյացիայի ընթացքում թույլ են տալիս օգտագործել հավելյալ տվյալներ՝ այսպես կոչված մակերևույթային խոչընդոտները (breaks, barriers) նկարագրելիս: Ռելիեֆի մոդելներում այդպիսի խոչընդոտներ կարող են լինել ձորերը, ժայռերի ելուստները և այլ՝ ռելիեֆին հատուկ գծային ձևեր: Ցավոք պետք է նշել, որ այս մոդելները ոչ բոլոր ԱՏՀ փաթեթներում են ներառված:

Ռաստրային մոդելների բնութագրումն արժե ավարտել դրանց առավելությունների և թերությունների թվարկմամբ:

Ռաստրային մոդելի առավելություններն են՝

- ինչպես բուն մոդելի, այնպես էլ դրա կառուցման պարզությունը,
- անալիտիկ գործողությունների և դրա արդյունքերի մեկնաբանման հնարավորությունը, ընդ որում այդ գործողությունների մեծ մասը անհնար է իրականացնել վեկտորային մոդելներում,
- դիստանցիոն զոնդավորման տվյալների անմիջական մուտքագրման հնարավորությունը:

Ռաստրային մոդելի թերություններն են՝

- տվյալների մեծ ծավալը, որը կախված է ռաստրի պարամետրերից, այլ ոչ թե բուն ինֆորմացիայի ներկայացման բարդությունից,

- տարածական օբյեկտների միջև տոպոլոգիական կապերի (օբյեկտների փոխկապվածություն, հարևանություն և այլն) ներկայացման դժվարությունները,
- երկրաչափական յուրաքանչյուր փոխակերպման բարդությունը, օրինակ պրոյեկցիայի փոփոխությունը (չնայած վերջինիս բարդության աստիճանը ժամանակակից ԱՏՀ փաթեթների զարգացման հետ խիստ նվազել է):

1.4.1 Ռելիեֆի թվային մոդելների ստեղծման հիմնական մեթոդներ

Քանի որ վերևում մենք կողմնորոշվեցինք ԱՏՀ-ում ռելիեֆի ներկայացման հարցում, ուստի անհրաժեշտություն կա առավել մանրամասն քննարկել կանոնավոր ցանցերի միջոցով ներկայացվող մոդելները:

Արտասահմանյան գրականությունում նման ներկայացումը անվանվում է DEM - digital elevation model, որը կարելի թարգմանել որպես բարձրությունների թվային մոդել (ԲԹՄ) կամ DTM – Digital Terrain Model՝ ռելիեֆի թվային մոդել (ՌԹՄ): Օրինակ, սահմանումներից մեկը կարելի է ձևակերպել այսպես. ՌԹՄ-ն տարածության մեջ ռելիեֆի շարունակական փոփոխման ներկայացումն է կանոնավոր մատրիցայի տեսքով [63]: Նման մատրիցայի բջիջների աշխարհագրական կոորդինատները որոշվում են (ելնելով նման մատրիցայի բջիջների ուղղանկյուն կանոնավոր տեղաբաշխումից) բջջի դիրքով (մատրիցայի տողով և սյունով):

Ա. Բերլյանտն իր հերթին, ՌԹՄ-ն սահմանում է որպես՝ Z բարձրությունների նշագրումներ՝ վերցված X և Y կոորդինատներով կետերից, որոշակի ցանցի հանգույցում և կոդավորված թվային ֆորմատով [14]:

ՌԹՄ մոդելը շատ պարզ է: Միակ տարբերությունը կարող են լինել մատրիցայի բջջի չափսը: Եթե բջիջը կետ է, ապա բարձրության արժեքը վերաբերվում է համապատասխան բջջին: Եթե մատրիցայի բջիջը ուղղանկյուն մակերևույթ է, ապա բարձրության համապատասխան արժեքը միջինացվում է ամբողջ մակերևույթով:

ՌԹՄ-ների կառուցվածքային պարզությունը, սկսած 70-ական թվականներից, պատճառ է հանդիսացել դրանց լայն կիրառմանը լանդշաֆտային

հետազոտություններում ռելիեֆի համակարգչային վերլուծության համար [83] և աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերում [156]:

Ներկայումս կան ՌԹՄ-ների ստեղծման երկու սկզբունքորեն տարբեր եղանակներ:

Առաջին եղանակը դիստանցիոն զոնդավորման, ֆոտոգրամմետրիայի, ռադարագրամմետրիայի և լազերային սքանավորման (LIDAR) մեթոդներն են: Այս ոլորտում գոյություն ունեն բազմաթիվ մշակված տեխնոլոգիաներ և մոտեցումներ: Վերջին տասնամյակի ընթացքում Երկրի մակերևույթի դիստանցիոն զոնդավորման և չափագրման մեթոդների զարգացումը ընթանում է շատ արագ և դրանց արդյունքերի հիման վրա ստեղծվող բարձրությունների թվային զանգվածները համարվում են առաջնային ելակետային տվյալներ Երկրի մասին գիտություններում անցկացվող հետազոտություններում: Մեր աշխատանքի մեջ ևս մենք կօգտվենք նման մեթոդով ստեղծված՝ ազատ օգտագործման ռելիեֆի թվային մոդելից, որի ստեղծման մեթոդիկան կքննարկենք հաջորդ գլուխներում:

Երկրորդ մեթոդը՝ թվայնացված տոպոգրաֆիական քարտեզների ինտերպոլյացիայի միջոցով ՌԹՄ-ների կառուցումն է: Նման մոտեցումը ևս նոր չէ, և նույնպես ունի իր դրական և բացասական կողմերը:

Ներկայումս բազմաթիվ մեթոդներ կան հորիզոնականների (որպես ելակետային տվյալ) հիման վրա ՌԹՄ-ի հաշվարկման համար:

Գոյություն ունեն անկանոն բաշխված կետերի բազմության հիման վրա ՌԹՄ-ի ստեղծման 4 ամենից շատ օգտագործվող մոդելավորման մեթոդներ՝ 1) հիմնված տրիանգուլյացիայի վրա, 2) անալիտիկ սպլայների մեթոդ, 3) ընդհանրացված կշռային ինտերպոլյացիայի մեթոդ և 4) բազմանդամային (մաս առ մաս) հարթեցումների մեթոդ [39, 48]:

Բոլոր 4 մեթոդներն էլ ունեն և՛ առավելություններ, և՛ թերություններ: Դրանք բոլորն էլ քիչ թե շատ միանման կիրառելի են և ունեն նմանություններ: Տրիանգուլյացիայի օգտագործման ժամանակ ստացվում է սահմանների աղավաղում: Հետևաբար կարիք է լինում օգտագործել այն ինֆորմացիան, որն առկա է ներքին եռանկյունիներում, սակայն դա հազվադեպ է հնարավոր՝ տարածքների

սահմանափակության պատճառով: Միջինացված ինտերպոլյացիայի ժամանակ աղավաղումները, որպես կանոն, ի հայտ են գալիս ըստ հեռավորության: Այս մեթոդը լավ արդյունքներ է տալիս տարածքների հենակետերով բավականաչափ խիտ և համաչափ ծածկման և ճիշտ ընտրված հարթեցման գործակցի կիրառման դեպքում: Եթե այս նախապայմանը չի պահպանվում, առաջ է գալիս այսպես կոչված «ցլան աչքի» երևույթը [76]: Դա նշանակում է, որ ՌԹՄ որոշ հենակետերի շուրջ ի հայտ կգան համաչափ շրջանագծեր: Բազմանդամային (մաս առ մաս) հարթեցումները, ինչպես երևում է անվանումից, իրականացվում է տարբեր աստիճաններ բազմանդամների միջոցով: Դրանց «մաս առ մասությունը» կայանում է նրանում, որ յուրաքանչյուր հստակ հատվածի համար գործակիցները ընտրվում են կետերի նոր բազմության հիման վրա: Այսինքն տարածքի տարբեր հատվածները կառուցվում են առանձին բազմանդամային ֆունկցիաների միջոցով: Նման ձևով կառուցված մակերևույթը լինում է ամենից հարթը [47]:

Բոլոր այս մաթեմատիկական մեթոդները իրենց արտացոլումն են գտել այս կամ այն ծրագրային հավելվածներում, որոնք ներկայումս բավականին շատ են՝ ArcGIS, eCognition, PCI Geomatica, QGIS, IDRISI, Surfer, MagSurf, Whitebox GAT և այլն:

Ռելիեֆի թվային մոդելների կառուցման ամենահայտնի գործիքներից է ամերիկյան ESRI (Environmental Systems Research Institute) ընկերության ArcGIS ծրագիրը:

ArcGIS-ում ՌԹՄ կառուցումը իրականացվում է TopoToRaster գործիքի միջոցով, որը հանդիսանում Մ. Հաթչինսոնի ANUDEM ծրագրի անալոգը [103].

Տվյալ գործիքը, ամենայն հավանականությամբ, հանդիսանում է ՌԹՄ կառուցման համար ամենից շատ կիրառվողը: Առաջին հերթին դա պայմանավորված է ԱՏՀ ծառայությունների շուկայում ArcGIS-ի լայնածավալ առաջխաղացմամբ, ինչպես նաև տոպոգրաֆիական քարտեզից թվայնացած ինֆորմացիայի առավելագույն օգտագործման հնարավորությամբ: Առավել հաճախ օգտագործվող ինֆորմացիան հորիզոնականներն են, լոկալ մաքսիմումների և մինիմումների նիշերը, ինչպես նաև հիդրոգրաֆիական ցանցը և այլ երկրորդական տվյալներ, ինչն էլ հանդիսանում է տվյալ գործիքի առավելությունը:

Սակայն գեոմորֆոմետրիական վերլուծության ժամանակ մակերևույթի ձևերի մասին առավելագույն ինֆորմացիան կրում են հորիզոնականները: Ուստի ամենից կարևոր է դառնում ՌԹՄ-ի ճիշտ կառուցումը հորիզոնականների հիման վրա: TopoToRaster-ի օգտագործման ընթացքում կիրառվում է ձգման եղանակով սալային-ինտերպոլյացիա, որը հաճախ առաջացնում է «տերրասի էֆեկտ»: Կանոնավոր ցանցի վրա սրանք հարթ հատվածներ են, ինչը կապված է ցանցի քայլի հետ (բջջի չափս) համեմատ չափից ավելի ցրվածությամբ (հարևան հորիզոնականների միջև առկա հեռավորությամբ): ՌԹՄ-ի կառուցման ընթացքում առաջանում է նաև, այսպես կոչված «sink»՝ ոչ մեծ տեղական գոգավորություններ, որպես կանոն՝ հորիզոնականին զուգահեռ տեղակայումով: Եվ վերջապես, TopoToRaster-ի թերություններից է, որ ստեղծված մոդելների վրա՝ ելակետային հորիզոնականների երկայնքով առաջանում են մակերևույթի կորություններ: Սակայն պետք է նշել, որ ներկայիս տեխնոլոգիական նորույթները թույլ են տալիս վերացնել այս թերությունները՝ առանց որևէ բարդությունների և ՌԹՄ որակական փոփոխության՝ անգամ տվյալ ծրագրային հավելվածի ներսում (մասնավորապես ArcGIS-ի պարագայում ստեղծված են վերոհիշյալ թերությունները վերացնող առանձին գործիքներ):

Ցավոք պետք է շեշտել, որ Հայաստանում օբյեկտիվ պատճառների հետևանքով համակարգչային տեխնոլոգիաների ներդրումը գիտության այս ուղղության մեջ ընթանում է ավելի դանդաղ, քան՝ արևմուտքի երկրներում: Դժվարությունները հիմնականում պայմանավորված են ազգային եւ տարածաշրջանային տարածական տվյալների բազաների բացակայությամբ, ինչպես նաև առաջնային կարգի ծրագրային ապահովման միջոցների բարձր գնով, համեմատաբար հին աէրո և տիեզերական նկարների թանկարժեքությամբ, նորագույնների անհասանելիությամբ և այլն: Ուստի հետազոտողների մեծ մասը ՌԹՄ-ների ստեղծման համար օգտագործում են թվայնացված հորիզոնականներ, կամ, ինչպես մեր դեպքում, ազատ օգտագործման համաշխարհային ՌԹՄ-ներ, որոնց որակը շատ դեպքերում չի համապատասխանում տվյալ հետազոտության պահանջներին:

ԳԼՈՒԽ 2. ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ ԿԻՐԱՌՎԱԾ ՌԹՄ-Ի ԵՎ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՎԱՔԱԾՈՒԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄ

2.1 Ռելիեֆի թվային մոդելի ընտրության հիմնավորումը

ՌԹՄ ստեղծումը կապված է ժամանակի և միջոցների զգալի ծախսերի հետ, ուստի իմաստ կա օգտագործել գոյություն ունեցող գլոբալ ՌԹՄ-ները, եթե, իհարկե, դրանց որակը և ճշտությունը բավարարում են տվյալ հետազոտության պահանջներին:

Ռելիեֆի գլոբալ մոդելների մեջ (որոնք ընդգրկում են Երկրի ամբողջ կամ գրեթե ամբողջ մակերևույթը) կան ինչպես անվճար, որոնք ազատ հասանելիության պայմանով տեղադրված են ինտերնետում, այնպես էլ կոմերցիոն հիմունքներով արտադրվող, վճարովի մոդելներ:

Գլոբալ ՌԹՄ-ները հիմնականում ստեղծվում են օպտիկա-ստերեոսկոպիկ և ինտերֆերոմետրիկ-ռադիոլոկացիոն տիեզերական հանույթների տվյալներով [69]:

ՌԹՄ-ի երկրաչափական ճշտությունը կապված է նրանից, թե ինչպիսի ելակետային նկարներից և կողմնորոշման տարրերից է դա ստացվել: Գլոբալ ՌԹՄ-ների ճշտությունը որպես կանոն գնահատվում է որոշակի այլ տարածքների համար առկա ավելի ճշգրիտ մոդելների միջոցով և արտահայտվում է տարաբնույթ միջինացված ցուցանիշներով, ինչպես, օրինակ, միջին քառակուսային սխալը (ՄՔՍ) և գծային սխալը (Linear Error 90 (LE90)) [19, 53].

LE90-ը շեմային արժեքն է 90% տարբերության համար [81]: ՄՔՍ-ն՝ միջին քառակուսային սխալն է, որը հաշվարկված է ուսումնասիրվող գլոբալ և էտալոնային մոդելների միջև առկա բարձրությունների արժեքների տարբերության հիման վրա [53]: Մոդելների ինֆորմատիվությունը որոշվում է նաև այն կետերի միջև հեռավորությամբ (բջջի չափսով կամ ցանցի քայլով), որոնցում կանխորոշված է բարձրությունը:

Աղյուսակ 1-ում ամփոփի ձևով ներկայացված են շուկայում առկա գլոբալ ՌԹՄ-ների հիմնական բնութագրիչները:

ՀՀ տարածքի ռելիեֆի համալիր գեոմորֆոմետրիական վերլուծության համար անհրաժեշտ է ռելիեֆի թվային մոդել, որն ամբողջական, բավարար ճշգրտության ինֆորմացիա կպարունակի ռելիեֆի մորֆոլոգիայի վերաբերյալ: Այսօրվա դրությամբ ամենից տարածված ազատ օգտագործման գլոբալ մոդելներն են դարասկզբին

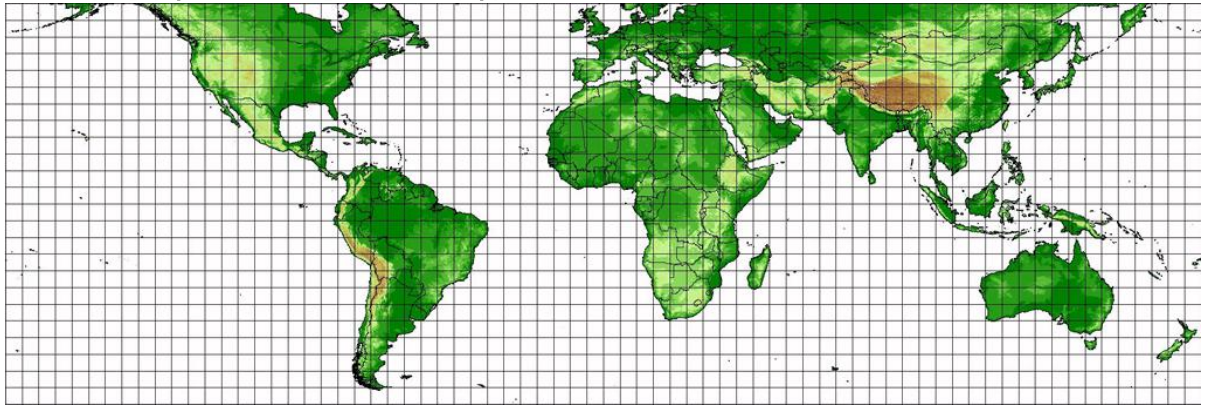
ստեղծված SRTM 90 մ լուծաչափով ՌԹՄ-ն [60, 84, 134] և համեմատաբար ավելի նոր 30 մ լուծաչափով ASTER GDEM –ը [94]: Այնուամենայնիվ, չնայած ավելի փոքր լուծաչափին SRTM-ի մոդելի դեպքում որակը անփոփոխ է բոլոր տարածքների համար, իսկ ահա ASTER GDEM-ի դեպքում այն ըստ տարածքի փոփոխական է [71, 101]: Այս տարբերությունը մասամբ պայմանավորված է տվյալ համակարգերում օգտագործվող ալիքների երկարությունից: ASTER սենսորը հանույթն իրականացնում է մոտ ինֆրակարմիր հաճախականության տիրույթում, որն ենթակա է ամպերի ազդեցությամբ պայմանավորված աղավաղումներին, իսկ ահա SRTM-ն աշխատում է միկրոլիքային հաճախականության տիրույթում և զերծ է ամպերի որևէ ազդեցությունից [100, 149]: Իհարկե, SRTM ՌԹՄ-ի փոքր լուծաչափը նվազեցնում է ռելիեֆի փոքր տարրերի ուսումնասիրման հնարավորությունները, սակայն պետք է շեշտել, որ ռելիեֆի մեծ տարրերը ներկայացված են պատշաճ կերպով [79, 161], ինչը մեր կարծիքով լիովին բավարար է ՀՀ ամբողջ տարածքի մորֆոմետրիական վերլուծության համար:

Ելնելով շարադրվածից՝ մեր աշխատանքի շրջանակներում իրականացված բոլոր ուսումնասիրությունների համար՝ որպես ելակետային հիմնարար ինֆորմացիայի աղբյուր ընտրվել է SRTM ռելիեֆի թվային մոդելը:

Shuttle radar topographic mission (SRTM) –ը Երկրի մակերևույթի ռադարային հանույթ է, որն իրականացվել է 2000թ. Փետրվարին՝ 11 օրերի ընթացքում՝ ամերիկյան «Endeavour» տիեզերական մաքուր վրա տեղակայված SIR-C և X-SAR (Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar) ռադիոլուկացիոն սենսորների միջոցով [137]: Հանույթն իրականացված է Երկրի գրեթե ամբողջ տարածքով՝ հյուսիսային լայնության 60° և հարավային լայնության 56° միջակայքում (Նկ. 1): Արդյունքում ստացվել է Երկրի մակերևույթի 85% ռելիեֆի թվային մոդելը:

Գոյություն ունի SRTM տվյալների 3 տարբերակ՝ նախնական, մշակված (տարբերակ 2, 2005թ.), վերջանական (տարբերակ 3, 2007) և ընդլայնված (տարբերակ 4, 2008) [106, 135]: Պետք է սակայն շեշտել, որ SRTM-ի տվյալները անընդհատ կատարելագործվում են տարբեր անհատներ և կազմակերպությունների (հատկապես

ԱՄՆ Ազգային տիեզերական ծառայություն (NASA), Երկրաբանական ծառայության (USGS)) կողմից՝ մասնավոր, կոմերցիոն և պետական նախագծերի շրջանակերում:



Նկ. 1 SRTM տվյալների աշխարհագրական ծածկույթը (աղբյուրը, Արևադարձային գյուղատնտեսության միջազգային կենտրոն, CIAT)

Ըստ լուծաչափի՝ տվյալները հասանելի են երկու տարբերակով՝ 1 անկյունային վայրկյան բջջի չափսով (30 մ) և 3 անկյունային վայրկյան բջջի չափսով (90 մ): Առավել ճշգրիտ 1 վայրկյանանոց տվյալները (SRTM1) ամբողջ աշխարհի համար ամբողջությամբ հասանելի են միայն 2015 թ. օգոստոսից:

SRTM-ի ռելիեֆի թվային մոդելի տվյալը իրենից ներկայացնում է 16 բիթանոց ռաստրային ֆորմատի ֆայլ (առանց վերնագիր): Պիքսելի արժեքը հանդիսանում է իրականության մեջ տվյալ կետի բացարձակ բարձրությունը, որը կարող է ունենալ նաև -32768 արժեքը, որը համապատասխանում է no data արժեքին (տվյալ չկա): Տվյալները ստեղծված են WGS 84 ռեֆերենց-էլիպսոիդի հիման վրա [84, 137]:

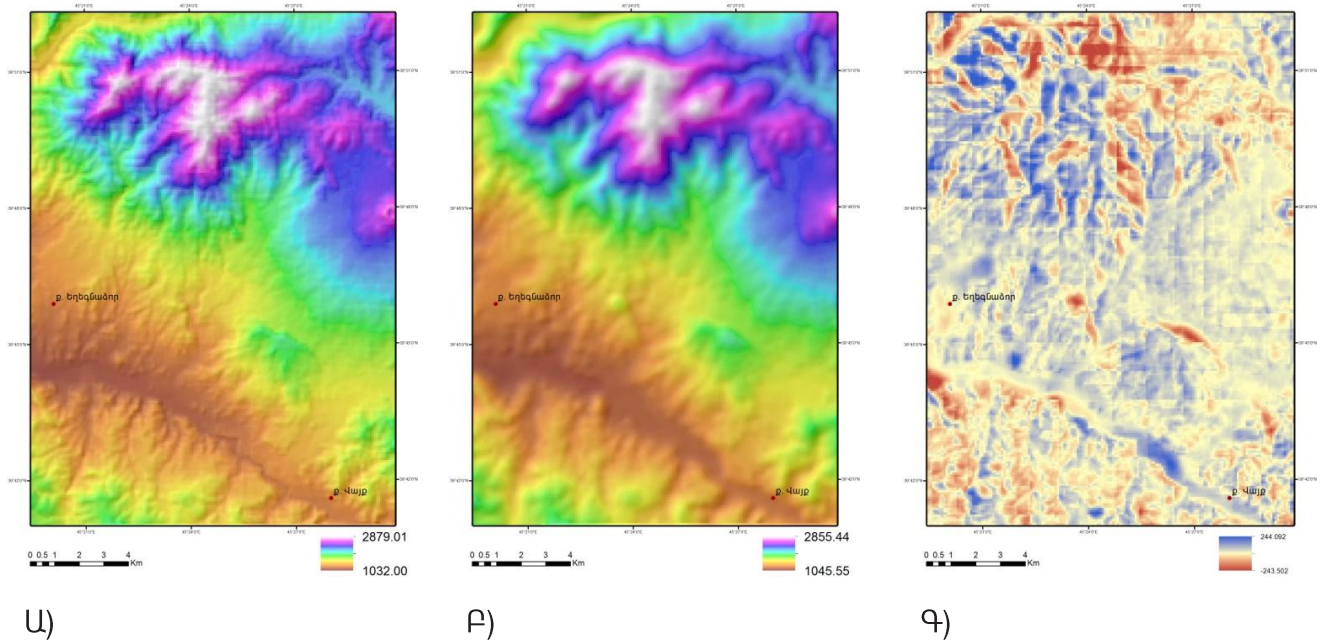
Համընդհանուր հասանելիության 3-վայրկյանանոց ՌԹՄ-ի հայտարարագրված ճշտությունը 16 մետրից պակաս չէ: Սակայն այս մեծության տիպը (միջին, առավելագույն, ՄՔՍ) չի հստակեցվում [84, 137], ինչը տրամաբանական է, քանի որ ճշտության հստակ գնահատման համար անհրաժեշտ են գրեթե նույն աստիճանի ընդգրկվածության էտալոնային տվյալներ:

Այս պատճառով SRTM ՌԹՄ-ի ճշտության գնահատում իրականացվել է և իրականացվում է աշխարհի տարբեր երկրներում բազմաթիվ հետազոտողների կողմից [26, 68, 92, 95, 107, 108]:

Գլոբալ ռելիեֆի թվային մոդելների հիմնական բնութագրիչները

Մոդել	Տարի	Տվյալներ	Հեղինակներ	Հասանելիությունը / մանրամասն նկարագրությունը	Ծածկույթ	Բջջի չափսերը	Բացարձակ ճշտությունը ըստ բարձրության	
							LE90	ՄՔՍ
GMTED 2010	2010	Ստեղծված է տարբեր աղբյուրների տվյալների հիման վրա (հիմնականում SRTM, ինչպես նաև, CDED, Reference 3D, NED, GEODATA 9 և այլն) Հանդիսանում է հենցած GTOPO30 փոխարինողը	USGS, NGA	Ազատ հասանելիության https://ita.cr.usgs.gov/GMTED2010	84° հյս. կ. - 56° հվ.կ.	7,5" (250 մ) 15" (500 մ) 30"(1000 մ)	56-60 մ 58-64 մ 50-82 մ	26-30 մ 29-32 մ 25-42 մ
ASTER GDEM2	2011	Terra ամերիկյան արբանյակի ASTER զոնդից ստացված օպրիկական նկարների ստերեոզուգվեր: ASTER GDEM2-ը ASTER GDEM-ի կատարելագործված տարբերակն է: Ավելացված են նոր տիրույթներ, ուղղված են սխալները: Անոմալ արժեքների ճշգրտման համար օգտագործվել են այլ մոդելների տվյալներ՝ SRTM, NED, CDED, Alyaska DEM.	METI, NASA	Ազատ հասանելիության http://earthexplorer.usgs.gov/ Կան օգտագործման որոշակի սահմանափակումներ	83 ° հյս. կ. - 83 ° հվ.կ. (Երկրի մակ. 99%)	1" (30 մ)	12-30 մ	6-15 մ
SRTM C-band	2003	Բազմակի օգտագործման «Shuttle» տիեզերանավում տեղակայված SIR-C և X-SAR սենսորներից 2000թ. կատարված հանույթի արդյունքում ստացված ռադիոլուկացիոն նկարների ինտերֆերոմետրիկ զույգեր	NASA, NGA	Ազատ հասանելիության http://earthexplorer.usgs.gov/	60° հյս. կ. - 56° հվ. կ. (Երկրի մակ. 80%)	1" (30 մ, ԱՄՆ) 3" (90 մ, աշխարհ)	11,2-18 մ	5,6-9,0 մ
SRTM X-band	2011	Բազմակի օգտագործման «Shuttle» տիեզերանավում տեղակայված SIR-C և X-SAR սենսորներից 2000թ. կատարված հանույթի արդյունքում ստացված ռադիոլուկացիոն նկարների ինտերֆերոմետրիկ զույգեր	DLR	Ազատ հասանելիության http://eoweb.dlr.de:8080/index.html (DLR-ի գեոպորտալ) Կան օգտագործման որոշակի սահմանափակումներ	60° հյս. կ. - 56° հվ. կ. (Երկրի մակ. 80%)	1" (30 մ)	16 մ	8 մ
SPOT DEM (Reference 3D)	Ստեղծվում է 2002թ սկսած	Ֆրանսիական SPOT5 արբանյակի HRS զործիքից ստացված օպրիկական նկարների ստերեոզուգվեր (90% ավելին): Բացթողումները լրացված են SRTM-ի տվյալներով	Spot Image/IGN	Կոմերցիոն հիմունքներով (Կարելի է պատվիրել Astrium ընկերության մոտ)	Երկրի մակ. 43% (80 մլն կմ² 2014 թ. դրույամբ)	1" (30 մ, որոշ տարածքների համար 20 մ)	10-30 մ (կախված ռելիեֆի թեքություններից)	5-15 մ (в зависимости от уклона рельефа)
NextMap World 30	2012	Երկրի մակերևույթի մոդել ստեղծված է տարբեր աղբյուրների տվյալների հիման վրա (հիմնականում SRTM Модель поверхности, полученная по данным нескольких источников: SRTM X-band, ASTER GDEM2, GTOPO30, ICESat LIDAR տվյալներ	Intermap	Կոմերցիոն հիմունքներով (1 ԱՄՆ ցենտ 1 կմ² համար). https://store.intermap.com/MapShop.aspx?GeoLocation=World#	Երկրի մակ. 100%	1" (30 մ)	Սկսած 10 մ (Հշտությունը տարբերվում է՝ կախված տվյալների աղբյուրից և տարածքից)	Սկսած 5 մ (Հշտությունը տարբերվում է՝ կախված տվյալների աղբյուրից և տարածքից)
TanDEM-X Global DEM (WorldDEM™)	2014	Գերմանական TerraSAR-X և TanDEM-X արբանյակներից կատարված հանույթի արդյունքում ստացված ռադիոլուկացիոն նկարների ինտերֆերոմետրիկ զույգեր	Astrium	Կոմերցիոն հիմունքներով (Կարելի է պատվիրել Astrium ընկերության մոտ)	Երկրի մակ. 100%	0.4" (12 մ), հատուկ դեպքերում՝ 0.2" (6 մ)	10 մ	5 մ
World 3D Topographic Data (AW3D)	2015	Ճապոնիայի տիեզերական հետազոտությունների գործակալության (JAXA) ALOS արբանյակի տվյալներ և ամերիկյան DigitalGlobe առևտրային ընկերության արբանյակների (WorldView-1, WorldView-2, QuickBird, GeoEye-1 և IKONOS) տվյալներ	NTT DATA և RESTEC (Ճապոնիա)	Կոմերցիոն հիմունքներով	Սկսած 2016 մարտից՝ Երկրի մակ. 100%	5 մ 4 մ 2 մ	7 մ	3,5 մ

Ըստ Ա. Կարվելի և Ի. Էվիակի գնահատականի SRTM ՌԹՄ-ում առկա է սխալ, որը հարթավայրային տարածքների համար հավասար է միջինը 2.9 մ և 5.4 մ՝ բլրային տեղանքում, ընդ որում, այս սխալների հիմնական մասը կազմում են սիստեմատիկ սխալները: Համաձայն նրանց եզրակացությունների՝ SRTM ՌԹՄ-ն տոպոգրաֆիական քարտեզների վրա հորիզոնականներ անցկացնելու համար հարմար է օգտագործել 1:50000 և փոքր մասշտաբների դեպքում, ինչպես նաև նադիրից աննշան շեղումով հանույթից ստացված բարձր լուծաչափի տիեզերական նկարների (SPOT 5, Ikonos և QuickBird) հիման վրա օրթոֆոտոպլաններ ստեղծելիս [107]:



Նկ. 2 SRTM-ից և տեղագրական քարտեզից ստացված ՌԹՄ-ներն ու նրանց տարբերությունը: Ա) SRTM 3-վայրկյանանոց ՌԹՄ, Բ) 1:200000 մասշտաբի տեղագրական քարտեզից ստացված 90 մ լուծաչափով ՌԹՄ, Գ) Երկու ՌԹՄ-ների տարբերության սիստեմատիկ քարտեզ: Սանդղակների չափման միավորը՝ մետր

Հայաստանի տարածքի համար SRTM ՌԹՄ-ի ճշգրտության գնահատականի վերաբերյալ ևս հետազոտություն է իրականացվել ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Երկրահինֆորմատիկայի լաբորատորիայի գիտաշխատող Հ. Երիցյանի կողմից [26]: Քննարկված են 1:200000, 1:100000, 1:50000 տոպոգրաֆիական քարտեզներից ստացված և SRTM ռելիեֆի թվային մոդելների համեմատական վերլուծության արդյունքներն՝ այդ տվյալների ճշգրտության գնահատման նպատակով: Համեմատական վերլուծությունն իրականացվել է տոպոքարտեզների և SRTM ՌԹՄ-

ների (բարձրությունների, լանջերի թեքությունների, կողմնադրությունների) զույգերի համեմատության միջոցով: Համաձայն տվյալ հետազոտության եզրակացությունների՝ SRTM ՌԹՄ-ն իր ճշգրտությամբ ավելի մոտ է 1:100000 մասշտաբի տոպոքարտեզներից ստացված ՌԹՄ-ին և կարող է օգտագործվել այդ մասշտաբի քարտեզների ստեղծման նպատակով:

Մենք նույնպես իրականացրել ենք SRTM-ի և տոպոգրաֆիական քարտեզի թվայնացման արդյունքում ստեղծված ՌԹՄ-ի համեմատություն: Նկ. 2-ում ներկայացված են հատվածներ SRTM-ի և 1:200000 տեղագրական քարտեզից ստացված ՌԹՄ-ներից և դրանց տարբերությունը, իսկ Աղյուսակ 2-ում՝ բարձրությունների տարբերության քարտեզի վիճակագրական ցուցանիշները: Որպես թեստային տարածք վերցրել ենք 544 կմ² կամայական ուղղանկյունաձև տարածք Վայոց Ձորի մարզում, որը հիմնականում ընդգրկում է Արփա գետի միջին հոսանքի աջափնյա հատվածը՝ Վայք-Եղեգնաձոր հատվածում:

Աղյուսակ 2

SRTM և 1:200000 տեղագրական քարտեզից ստացված ՌԹՄ-ների տարբերության վիճակագրական ցուցանիշները

Վիճակագրական ցուցանիշը	Նվազագույն արժեքը	Առավելագույն արժեքը	Միջին արժեքը	Ստանդարտ շեղումը
Արժեքը	-243.5	244.1	-0.28	39.73

Ինչպես երևում է ներկայացված նկարից SRTM ՌԹՄ-ի դեպքում ռելիեֆի դետալիզացիան ավելի մանրամասն է, իսկ ահա 1:200000 ՌԹՄ-ի դեպքում ակնհայտորեն նկատվում է ռելիեֆի տարրերի հարթեցման, ընդհանրացման տենդենց՝ ինչն առաջին հերթին կապված է ինտերպոլյացիայի մեթոդի հետ:

Հարկ է նշել, որ տեղագրական քարտեզից թվայնացված հորիզոնականներից ՌԹՄ ստանալու համար օգտագործվել է Մ. Հաթչինսոնի կողմից մշակված բարձրությունների արժեքների ինտերպոլյացիայի (ANUDEM) մեթոդը [103]: Ինչպես արդեն նշել ենք նախորդ գլխում, այս մեթոդը, չնայած որոշ առկա թերությունների (հաշվի չի առնվում հորիզոնականների տոպոլոգիական կառուցվածքը, հաշվարկի ժամանակը կարող է շատ երկար տևել և այլն), այօրվա դրությամբ հանդիսանում է ամենից տարածվածը, քանի, որ մոդելավորման ընթացքում օգտագործվում են նաև հիդրոգրաֆիական ցանցի օբյեկտները, և արդեն պատրաստ ՌԹՄ-ի վրա ուղղվում են լոկալ բնույթի սխալները՝ հիդրոգրաֆիական տեսանկյունից ճշգրիտ ՌԹՄ ստանալու

նպատակով [26]: Ներկա պահին այս մեթոդը ինտեգրված է ArcGIS ԱՏՀ փաթեթների ընտանիքում «TopoToRaster» անվանմամբ:

2.2 Ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական բնութագրիչներ

Ռելիեֆի՝ որպես բարձրությունների դաշտի ներկայացման ժամանակ, գեոմորֆոմետրիական բնութագրիչները հաշվարկվում են այն կետերում, որոնք առավել հաճախ տեղաբաշխված են կանոնավոր ցանցի հանգույցներում: Այստեղ արժե նշել, որ «շարունակական» մոտեցումը ենթադրում է որևէ պարամետրի հստակ որոշվածությունը տարածության յուրաքանչյուր կետում, իսկ ահա կանոնավոր ցանցի դեպքում նման բան չի ենթադրվում: Վերջինս ապահովում է անընդհատությունը միայն ԱՏՀ համատեքստում:

Այս պահի դրությամբ մշակված են բազմաթիվ մեթոդներ և ծրագրային միջոցներ, որոնք թույլատրում են իրականացնել կանոնավոր ցանցի ձևով ներկայացված ռելիեֆի վերլուծություն և ստանալ տարբեր հագեցվածության և ուղղվածության գեոմորֆոմետրիական քարտեզների հավաքածու: Որպես կանոն ժամանակակից հետազոտողները, ովքեր առաջարկում են այս կամ այն գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համակարգ, այն իրականացնում են «ռաստրային» ԱՏՀ ծրագրային ապահովման միջոցի համատեքստում:

Բազմաթիվ հետազոտողներ են առաջարկում իրենց սեփական գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համակարգ, որոնք, ըստ իրենց կարծիքի, լավագույնն են բնութագրում ռելիեֆը: Այսպես, օրինակ, Ի. Էվանսը առաջարկում է բնութագրել ռելիեֆը ըստ 5 ցուցանիշներից բաղկացած համակարգի՝ բացարձակ բարձրություն, լանջի թեքություն, կողմնադրություն, պլանային և պրոֆիլային կորություններ [83]: Նշվածին մոտիկ ցուցանիշներ են առաջարկում և այլոք [109, 128, 157, 158]: Նմանատիկ մոտեցումներ են առաջարկում նաև ռուսական դպրոցի ներկայացուցիչներ Ա. Ն. Լաստոչկինը [35] և Պ. Ա. Շարիին [141]:

Մասնավորապես Պ. Ա. Շարին առաջարկում է 16 գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համակարգ (Աղյուսակ 3), որոնք ժամանակին ածանցվել են հետազոտողի կողմից:

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համակարգը ըստ Պ. Ա. Շարիի [141]

Բանաձևի համարը	Մեծության անվանումը	Չափի միավորը	Բանաձևը	Հեղինակները
1	Մակերևույթի թեքություն	աստիճաններ	$GA = \arctg(p^2 + q^2)^{1/2}$	[83]
2	Լանջի կողմնադրություն (կամ ուղղություն)	աստիճաններ	$A_0 = -90[1 - \text{sign}(q)](1 - \text{sign}(p)) + 180[1 + \text{sign}(p)] - 180\text{sign}(p)\arccos[-q/(p^2 + q^2)^{1/2}]/\pi$	[83]
3	Ռոտոր	1/մ	$rot = [(p^2 - q^2)s - pq(r - t)]/(p^2 + q^2)^{3/2}$	[141]
4	Ոչ սֆերիկություն	1/մ	$M = \{[r(1 + q^2)/(1 + p^2)]^{1/2} - t/[(1 + q^2)/(1 + p^2)]^{1/2}/(1 + p^2 + q^2) + \{pqr[(1 + q^2)/(1 + p^2)]^{1/2} - 2[(1 + q^2)(1 + p^2)]^{1/2}s + pqt/[(1 + q^2)/(1 + p^2)]^{1/2}\}^2/[2(1 + p^2 + q^2)^{3/2}]\}$	[141]
5	Տարբերության կորություն	1/մ	$E = (q^2r - 2pqs + p^2t)/[(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{1/2}] - [(1 + q^2)r - 2pqs + (1 + p^2)t]/[2(1 + p^2 + q^2)^{3/2}]$	[141]
6	Հորիզոնական կորություն	1/մ	$ch = -(q^2r - 2pqs + p^2t)/[(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{1/2}]$	[109]
7	Պլանային կորություն	1/մ	$cp = -(q^2r - 2pqs + p^2t)/(p^2 + q^2)^{3/2}$	[83]
8	Ուղղահայաց (պրոֆիլային) կորություն	1/մ	$cv = -(p^2r + 2pqs + q^2t)/[(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}]$	[83]
9	Հորիզոնական ավելցուկային կորություն	1/մ	$che = M - E$	[141]
10	Ուղղահայաց ավելցուկային կորություն	1/մ	$cve = M + E$	[141]
11	Նվազագույն կորություն	1/մ	$cmin = H - M$	[141]
12	Առավելագույն կորություն	1/մ	$cmax = H + M$	[141]
13	Ամբողջական գաուսյան կորություն	1/մ ²	$C = (rt - s^2)/(1 + p^2 + q^2)^2$	[88]
14	Ամբողջական շրջանային կորություն	1/մ ²	$CR = [(p^2 - q^2)s - pq(r - t)]^2/[(p^2 + q^2)^2(1 + p^2 + q^2)^2]$	[141]
15	Ամբողջական ակումուլյացիոն կորություն	1/մ ²	$CA = H^2 - E^2$	[141]
16	Լանջերի լուսավորվածություն	%	$F = 50\{1 + \text{sign}[\cos a - \sin a^*(p \sin b + q \cos b)]\} [\cos a - \sin a^*(p \sin b + q \cos b)]/(1 + p^2 + q^2)$	[83]

Աղյուսակում ներկայացված $p = \delta z / \delta x$; $q = \delta z / \delta y$; $r = \delta^2 z / \delta^2 x$; $s = \delta^2 z / \delta x \delta y$; $t = \delta^2 z / \delta^2 y$ մեծությունները հանդիսանում են մակերևույթի մասնավոր $z = f(x, y)$ ածանցյալների ցուցանիշները: $\text{Sign}(x)$ ֆունկցիան հավասար է 1, երբ $x > 0$, զրո, երբ $x = 0$ և -1, երբ $x < 0$:

Այստեղ մասնավոր և ամբողջական ածանցյալները հաշվարկվում են Էվանս-Յանգի մեթոդով [83, 125, 162]: Լոկալ բնույթի 3×3 չափերով ցանցը բացատրվում է երկրորդ կարգի բազմանդամով.

$$z = \frac{rx^2}{2} + sxy + \frac{ty^2}{2} + px + qy \quad (1):$$

Լուծելով այն՝ մենք կարող ենք ասել, որ հավասարման գործակիցները կարելի է հաշվարկել հետևյալ կերպ՝

$$p \approx \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6w} \quad (2) ;$$

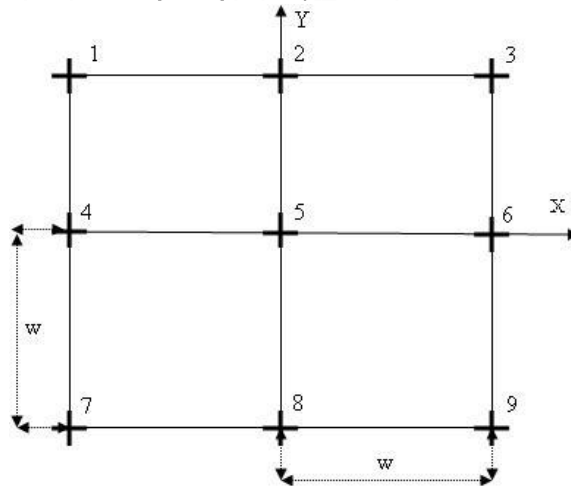
$$q \approx \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6w} \quad (3) ;$$

$$r \approx \frac{z_1 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9 - 2(z_2 + z_5 - z_8)}{3w^2} \quad (4) ;$$

$$s \approx \frac{-z_1 + z_3 - z_7 + z_9}{4w^2} \quad (5) ;$$

$$t \approx \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 + 2(z_4 + z_5 + z_6)}{3w^2} \quad (6) ,$$

որտեղ $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9$ -ը բարձրության արժեքներն են կանոնավոր ցանցի հանգույցներում, իսկ w -ն՝ ցանցի քայլը (Նկ. 3):



Նկ. 3 Ածանցյալների հաշվարկման համար օգտագործվող կանոնավոր ցանցի հանգույցների տեղաբաշխման սխեմա

Նշված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշներից յուրաքանչյուրն ունեն իրենց գեոմորֆոլոգիական իմաստը: Օրինակ, ակումուլյացիայի մեխանիզմներից մեկը կապած է լանջի վրա հոսքի մերձեցումից (Նկ. 4, ձախից): Մակերևույթի ինչ որ

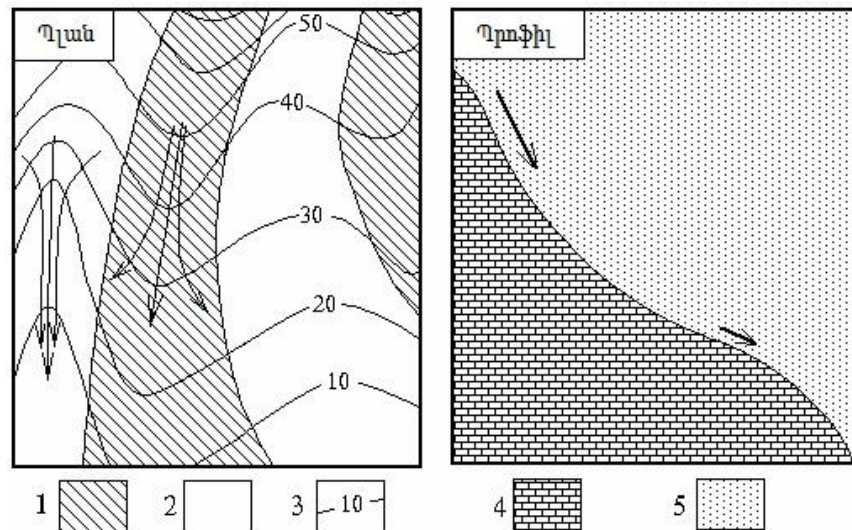
հատվածում հոսքի գծերը (նկարում ներկայացված է սլաքի տեսքով) կարող են մոտենալ, իսկ մյուսում՝ հեռանալ: Այն հատվածները, որտեղ հոսքի գծերը մոտենում են, գրականության մեջ ընդունված է անվանել կոնվենգենցիայի զոնաներ, և նրանց, որտեղ դրանք հեռանում են՝ դիվերգենցիայի զոնաներ [83, 141]:

Հայտնի է, որ հոսքի գծերի դիվերգենցիան հանդիսանում է հեռացման քանակական չափի միավորը: Այնտեղ, որտեղ դիվերգենցիան բացասական է, հոսքի գծերը մոտենում են, որտեղ դրական է՝ հեռանում են: Այս առնչությամբ ապացուցված է, որ հոսքի գծերի դիվերգենցիան հավասար է երկրի մակերևույթի պլանային (kp) կորությանը [141]:

Ակումուլյացիայի երկրորդ մեխանիզմը կապված է նյութի հոսքի հարաբերական դանդաղեցման հետ: Դրա էությունը կայանում է նրանում, որ լանջի՝ պրոֆիլում գոգավոր հատվածներում թեքությունը փոքրանում է վերից վար ուղղությամբ (Նկ. 4, աջից: Սլաքների երկարությունը ուղիղ համեմատական է լանջի թեքության աստիճանին): Լանջերի՝ ավելի վեր տեղակայված հատվածներում թեքությունը ավելի կտրուկ է, ուստի այստեղ գտնվող նյութի մասնիկները ավելի արագ են շարժվում, քան ներքևում գտնվողները: Դրա հետևանքով, մակերևույթի որոշ հատվածներում նյութի հոսքերը համեմատաբար թուլանում են, իսկ այլ հատվածներում՝ արագանում:

Ապացուցված է, որ պրոֆիլային կորությունը՝ cv -ն, հանդիսանում է հոսքի հետագծի երկայնքով թեքության գործոնի ածանցյալը [141]: Ակումուլյացիայի երկրորդ մեխանիզմը գործում է պրոֆիլում գոգավոր լանջերում, որտեղ $cv < 0$: Այն կարող է նկարագրվել պրոֆիլային կորության քարտեզի միջոցով:

Առավելագույն և նվազագույն կորությունները կարող են օգտագործվել լանջատակ (килевых) և կատարային գծերի քարտեզներ կառուցելիս, որոնք շատ էֆեկտիվ են լինեամենտների և շրջանաձև կառուցվածքների վերաձևման ընթացքում: Վերջիններս կառուցվածքային երկրաբանությունում հանդիսանում են կենտրոնական տիպի կառուցվածքներ [32]:



Նկ. 4 Ակումուլյացիայի երկու մեխանիզմները: Ձախից՝ ակումուլյացիայի առաջին մեխանիզմը (հոսքերի մերձեցման հաշվին), աջից՝ ակումուլյացիայի երկրորդ մեխանիզմը (հոսքերի հարաբերական դանդաղեցման հաշվին): 1) դիվերգենցիայի հատվածներ, 2) կոնվենգենցիայի հատվածներ, 3) հորիզոնականներ, 4) գրունտ, 5) օդ (սխեման ըստ՝ [142, 143])

Մոտավորապես նմանատիպ սխեմա է առաջարկում անգլիացի հետազոտող Զ. Վուդը [157, 158, 160]: Սակայն Վուդը նաև առաջարկում է ռելիեֆի կառուցվածքային տարրերի վերծանման ցուցանիշների համակարգ, որոնք ռեալիզացված են նրա «LandSurf» ծրագրային միջոցում: Վերջինիս շնորհիվ կարելի է ամբողջ ռելիեֆը տարանջատել առանձին մասերի և դուրս բերել ռելիեֆի բոլոր կառուցվածքային տարրերը:

Մոտ համակարգ է առաջարկում նաև Ա. Ն. Լաստոչկինը [35]: Նրա կարծիքով գեոմորֆոմետրիական հիմնական ցուցանիշներին է վերաբերվում նաև բացարձակ բարձրությունը (խորությունը), որը դիտարկվում է $H=f(x,y)$ պլանային կոորդինատների անընդհատ ֆունկցիայի տեսքով: Տվյալ ցուցանիշի էքստրեմալ արժեքները ֆիքսում են ամենակարևոր, ամենակայուն կատարային և լանջատակ գծերը: Այս ֆունկցիայի առաջին ածանցյալը $H'(x,y)$ է, որի էքստրեմալ արժեքներով անցնում են առավելագույն և նվազագույն թեքությունների գծերը, իսկ երկրորդ ածանցյալն է ռելիեֆի նորմալ (ուղղահայաց) կորությունը՝ $H''(x,y)$: Երկրորդ ածանցյալի նվազագույն արժեքներով կետերը երկրաչափականորոն անցնում են լանջի գոգավոր և ուռուցիկ կորացումների (линии перегибов) գծերով, այսինքն, գեոմորֆոլոգիական վերլուծական քարտեզներում՝ սահմանների գծերով:

Նշված կառուցվածքային գծերից յուրաքանչյուրը կարող է դիտարկվել որպես տարրական գեոմորֆոլոգիական սահմանները հստակորեն ֆիքսող ցուցանիշներ: Հիմնական գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս լուծել ռելիեֆի քվանտավորման խնդիրները և թույլատրում է տարանջատել այն սահամանափակ տարածական միավորների:

Մասնավորապես ուղղահայաց և հորիզոնական կորությունների արժեքները հստակորեն տալիս են տարանջատված միավորների գեոմորֆոմետրիական բնութագիրը՝ դրանց ձևը պրոֆիլում և պլանում ու կորության աստիճանը: Միևնույն ժամանակ $H=f(x,y)$, $H'(x,y)$ ցուցանիշների վերլուծությունը թույլատրում է բնութագրել տվյալ միավորների փոխադարձ տեղադիրքը՝ ըստ հարաբերական թեքության և ուղղահայաց հարթության:

Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության մեկ այլ մոտեցում իրականացված է «Surfer» ընդհանուր անվանումով միավորված ծրագրային փաթեթների շարքում (Աղյուսակ 4): Որպես գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշներ այստեղ առաջարկվում են բացարձակ բարձրությունը, մակերևույթի թեքությունները, կողմնադրությունները, պլանային, պրոֆիլային և տանգենսիալ կորությունները (իմաստով նման է պլանային կորությանը): Նաև այստեղ կարելի է առանձնացնել այնպիսի մեծություններ, ինչպիսիք են՝ գրադիենտը, որը ցույց է տալիս բարձրության ֆունկցիայի առավելագույն փոփոխության մեծությունն ու ուղղությունը, և Լապլասի օպերատորը, որի քարտեզը նույնականացնում է այն տարածքները, որոնցում կարող է ձևավորվել մակերևույթային հոսքը [90]:

Ինչպես տեսնում ենք առաջին չորս ցուցանիշները ներկայացված էին նաև Շարիի մոտ: Սակայն նրանց հաշվարկման համար օգտագործված են այլ բանաձևեր, ինչպես նաև տարբեր է մասնավոր ածանցյալների հաշվարկման ալգորիթմը:

Աղյուսակ 4

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համակարգը ըստ «Surfer» ծրագրային փաթեթի

Մեծության անվանումը	Չափի միավորը	Բանաձևը	Հեղինակները
Մակերևույթի թեքություն	աստիճաններ	$S = \frac{360}{2\pi} \arctan(\sqrt{p^2 + q^2})$	[118]
Լանջի կողմնադրություն	աստիճաններ	$A_T = 270 - \frac{360}{2\pi} * \alpha \tan 2(p, q)$	[118]

Մեծության անվանումը	Չափի միավորը	Բանաձևը	Հեղինակները
Պլանային կորություն	1/մ	$K_H = \frac{rq^2 - 2spq + tp^2}{\sqrt{p^2 + q^2}}$	[118]
Պրոֆիլային կորություն	1/մ	$K_P = \frac{rq^2 - 2spq + tp^2}{(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}}$	[118]
Գրադիենտ	-/-	$ g = (\sqrt{p^2 + q^2})$	[131]
Լապլասի օպերատոր	-/-	$\nabla^2 Z(x, y) = r + t$	[131]
Ուղղորդված ածանցյալ կամ ածանցյալ ըստ ուղղության	-/-	$\frac{df}{ds} = \frac{df}{dx} \cos(\alpha) \frac{df}{dy} \sin(\alpha)$	[118]

Աղյուսակում ներկայացված $p = \partial z / \partial x$; $q = \partial z / \partial y$; $r = \partial^2 z / \partial x^2$; $s = \partial^2 z / \partial x \partial y$; $t = \partial^2 z / \partial y^2$ մեծությունները հանդիսանում են մակերևույթի մասնավոր $z=f(x,y)$ ածանցյալների ցուցանիշները:

Այս մեթոդիկայում ածանցյալների հաշվարկման մեթոդիկան առաջարկվել է ավստրալացի հետազոտողների կողմից [120]: Գլխավոր տարբերությունը կայանում է նրանում, որ ածանցյալների հաշվարկի համար օգտագործվում են 9 հանգույցանի ցանցից կազմված լոկալ շրջակայքի այլ հանգույցները: Ածանցյալները որոշվում են ինչպես՝

$$\frac{dx}{dy} = \frac{Z_4 - Z_6}{2\Delta x}; \quad \frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{Z_6 - 2Z + Z_4}{x^2}; \quad \frac{d^2 z}{dy^2} = \frac{Z_2 - 2Z + Z_8}{y^2}; \quad \frac{d^2 z}{dxdy} = \frac{Z_3 - Z_1 - Z_9 + Z_7}{4\Delta x \Delta y};$$

որտեղ $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9$ -ը բարձրության արժեքներն են կանոնավոր ցանցի հանգույցներում, ինչպես ցույց է տրված Նկ. 3-ում:

Ինչպես երևում է, ածանցյալների դուրս բերման ընթացքում օգտագործվում է միայն երկու ուղղություն հյուսիս-հարավ, արևելք-արևմուտք կամ հյուսիս-արևմուտք-հարավ-արևելք, հյուսիս-արևելք-հարավ-արևմուտք: Այն դեպքում, երբ Շարիի և Վուդի մեթոդներում օգտագործվում են միանգամից 4 ուղղություն, ինչը մոդելը դարձնում է առավել իզոտրոպ՝ այսինքն ունենում է պակաս կախվածություն կոորդինատների առանցքի ուղղության ընտրությունից:

Պետք է նշել, որ ռելիեֆի՝ որպես բարձրությունների դաշտ ներկայացնելիս, բոլոր հետազոտողների կողմից առաջարկվում է գրեթե միևնույն ցուցանիշների համակարգ, որոնք դուրս են բերվում հենց ֆուկցիայից և նրա առաջին երկու

ածանցյալներից: Հաշվարկելով այս երեք ցուցանիշները՝ մենք կարող ենք ստանալ գրեթե յուրաքանչյուր գործակից:

Բացի ներկայացված մեթոդներից կան բազմաթիվ այլ գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հաշվարկման մեթոդներ, որոնք ռեալիզացված են ծրագրային փաթեթների տեսքով՝ WhiteBox [111, 112], GRASS [97], SAGA [123], MicroDEM [93] և այլն:

Վերջում հավելենք, որ ՌԹՄ-ների օգտագործմամբ տարածական տվյալների զանգվածների համակարգչային մշակումը, մեծ հեղափոխություն իրականացրեց և արմատապես փոխեց մոտեցումները տարածական մոդելավորման երկու հիմնական բաղկացուցիչների՝ գեոմորֆոմետրիական վերլուծության և վիզուալիզացիայի նկատմամբ: Դրանից հետո երևան եկած աշխարհատեղեկատվական համակարգերը ավելի հեռուն գնացին՝ հնարավորություն տալով համադրել մոդելավորման արդյունքները և թեմատիկ ոչ տոպոգրաֆիական տվյալները [76, 126, 127, 128].

ԳԼՈՒԽ 3. ՀՀ ՌԵԼԻԵՖԻ ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

3.1 Հայաստանի Հանրապետությունում իրականացված գեոմորֆոմետրիական հետազոտությունների համառոտ ակնարկ

Մեր հանրապետությունում, դեռևս 70-ական թվականներից, գեոմորֆոլոգիայում սկսվել են կիրառվել գեոմորֆոմետրիական մեթոդները, որոնք, մի կողմից նպաստում էին ռելիեֆի վերլուծության պրոցեսին, մյուս կողմից օգտագործվում էին դրա քանակական գնահատականը տալու նպատակով [29]: Հենց այս ժամանակահատվածին են վերաբերվում Դ. Պողոսյանի և Ֆ. Գևորգյանի բազմակողմանի գեոմորֆոմետրիական աշխատանքները [2, 28, 43, 44]: Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության մեթոդները կիրառվում էին ռելիեֆի ձևավորման առանձնահատկությունները ուսումնասիրելիս [22, 27], դրա տնտեսական [18] և գյուղատնտեսական [44] գնահատականը տալիս:

Վերը թվարկված աշխատանքներից հատկապես առանձնանում են Դ. Պողոսյանի և Ֆ. Գևորգյանի աշխատանքները [2, 44]: Նրանց կողմից առաջին անգամ Հայաստանում կազմվեց հանրապետության տարածքի համալիր մեծամասշտաբ (1:200000) գեոմորֆոմետրիական քարտեզ, որտեղ միաժամանակ ցուցադրված են ռելիեֆի գլխավոր քանակական ցուցանիշները՝ (մակերևույթի թեքություն, կողմնադրություն և մասնատվածություն): Ստացված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համալիրի հիման վրա տրված է Հայաստանի գյուղատնտեսական հողերի որակական գնահատական և քարտեզի վրա առանձնացված են 6 հողային խմբեր՝ 1) լավագույն հողեր, 2) լավ որակի հողեր, 3) ցածր որակի հողեր, 4) ինտենսիվ գյուղատնտեսության համար դժվար օգտագործելի հողեր, 5) գյուղատնտեսության համար բավական դժվար օգտագործելի հողեր, 6) գյուղատնտեսության համար ոչ պիտանի հողեր:

Դ. Պողոսյանի ևս մեկ նմանատիպ աշխատանքը վերաբերվում է գեոմորֆոմետրիական վերլուծության հիման վրա ՀՀ տարածքի էրոզիոն գործակցի հաշվարկմանն ու քարտեզագրմանը [43]: Քարտեզի կազմման համար օգտագործված է մեծամասշտաբ տոպոգրաֆիական քարտեզ (1:200000), որի վրա

կառուցված է հավասարաչափ քառակուսիների կանոնավոր ցանց (1600 հա յուրաքանչյուրը): Այս քառակուսիների սահմաններում որոշված են հորիզոնական և ուղղահայց մասնատվածության գործակիցները: Էրոզիոն գործակիցը ստացվել է Ս Սիլվեստրովի [49] կողմից առաջարկված ամփոփիչ բանաձևի միջոցով՝

$$\Theta = \frac{H \cdot R \cdot S}{10^4 \sqrt{P}},$$

որտեղ Θ -ն էրոզիոն գործակիցն է, H -ը՝ մասնատման խորությունը (էրոզիայի բազիսի խորությունը մետրերով), R -ը՝ հորիզոնական մասնատման գործակիցը ($\text{կմ}/\text{կմ}^2$), S -ը՝ տարածքի հերկվածության գործակիցը, P -ն՝ քառակուսու մակերեսը հա-ով: Դ. Պողոսյանի կողմից օգտագործված է հաշվարկման քառակուսային մեթոդը, որտեղ համաձայն Սիլվեստրովի կողմից առաջարկված մեթոդի, ածանցյալն է հանդիսանում արմատը քառակուսու մակերեսից: Հետևաբար, վերը ներկայացված բանաձևն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\Theta = \frac{H \cdot R \cdot S}{10 \sqrt{P}} :$$

Ստացված գործակիցների հիման վրա դասակարգվել և քարտեզագրվել է ՀՀ տարածքը՝ ըստ էրոզիացվածության աստիճանի:

Ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական վերլուծությանն նվիրված Լ. Զոհրաբյանի և Ֆ. Գևորգյանի ևս մեկ աշխատանք, որը վերաբերվում է «ռելիեֆի էներգիային» և նրա քարտեզագրմանը [28]: «Ռելիեֆի էներգիա» ասելով, հեղինակները նկատի ունեն այնպիսի գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշ, որն ամենից օբյեկտիվն է արտահայտում տեղատարման նկատմամբ ռելիեֆի դիմադրող կամ խթանող կարողությունը՝ ընդ որում հաշվի են առնվում թե՛ ուղղահայաց, թե՛ հորիզոնական մասնատվածությունները, ինչպես նաև՝ մակերևույթի թեքությունները: Հեղինակների կողմից կազմված է «ռելիեֆի էներգիայի» քարտեզ, որը թույլ է տալիս մեկ մեծության միջոցով ֆիքսել ռելիեֆի այն հիմնական քանակական ցուցանիշները և առանձնահատկությունները, որոնք ազդեցություն են ունենում գեոմորֆոլոգիական պրոցեսների վրա և պայմանավորում են դրանց ուղղվածությունը:

Որոշ աշխատանքներում գեոմորֆոմետրիական մեթոդները կիրառվում են ռելիեֆի ձևավորման որոշ առանձնահատկությունների բացահայտման նպատակով: Նման մոտեցում է կիրառված Ֆ. Գևորգյանի ուսումնասիրությունում [22]: Դրա շրջանակներում փորձ է կատարված մորֆոլոգիական վերլուծության միջոցով կապ հաստատել Արարատյան գոգավորության արևմտյան հատվածի ժամանակակից ռելիեֆի թաղված կառուցվածքների միջև, բացահայտել և քարտեզագրել դրա մորֆոկառուցվածքային միավորները: Այս խնդիրների լուծման համար հեղինակի կողմից օգտագործված են մորֆոլոգիական ու մորֆոմետրիական մեթոդների հավաքածու՝ հենվելով այն փաստի վրա, որ դրանցից միայն մեկի կիրառումը թույլ չի տալիս ամբողջապես բացահայտել թաղված մորֆոկառուցվածքների բնույթն ու հատկանիշները և դրանց նեոտեկտոնական զարգացումը:

Համալիր գեոմորֆոմետրիական քարտեզների կազմման է վերաբերվում նաև Վ. Ղարիբյանի աշխատանքը, որի հիմքում ընկած է Դ. Պողոսյանի և Ֆ. Գևորգյանի կողմից առաջարկված հավասարաչափ քառակուսիների մեթոդը: Հետազոտությունը իրականացված է Դեբեդ գետի ավազանի օրինակով [21]: Վերը նշված մեթոդի կիրառմամբ հաշվարկված և քարտեզագրված են ռելիեֆի գլխավոր գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշները և գործակիցները մակերևույթի թեքությունները, կոմնադրությունները, մասնատման խտությունն ու խորությունը:

Վերջին տարիներին Հայաստանում լուրջ գեոմորֆոմետրիական աշխատանքներ գրեթե չեն անցկացվել: Աչքի է ընկնում միայն Ն. Մանուկյանի աշխատանքը, որում դիտարկվում է 1:100000 մասշտաբի տոպոգրաֆիական քարտեզից հաշվարկված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիման վրա ռելիեֆի որակական գնահատման հնարավորությունները [5]:

Այսպիսով, պետք է եզրահանգել, որ ՀՀ-ում գեոմորֆոմետրիական հետազոտություններն իրականացվել են ոչ մեկ անգամ, սակայն միևնույն ժամանակ պետք է շեշտել, որ դրանց մեծ մասը իրականացվել են տարիների առաջ՝ մինչ գեոինֆորմացիոն տեխնոլոգիաների ակտիվ ներդրումը: Բացի այդ դրանց մեծ մասը չունեն անհրաժեշտ մանրամասնություն՝ ռեգիոնալ խնդիրներ լուծելու համար, ինչը օբյեկտիվորեն կապված է տվյալ ժամանակաշրջանում նմանատիպ աշխատանքների

աշխատատարության հետ: Պետք է նաև փաստել, որ բոլոր քննարկված աշխատանքներում չի բերվում գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների՝ մեկը մյուսի նկատմամբ տարածության մեջ փոփոխականության, ինչպես նաև ռելիեֆի հասակի ու ծագումնաբանության հատկանիշներից բխող վարքի վերլուծություն:

Մեր կողմից Հայաստանի Հանրապետության ռելիեֆի քանակական բնութագրման համար՝ բացի դիստանցիոն զոնդավորման տվյալներով կառուցված ՌԹՄ-ից բարձրությունների դուրս բերումից, առաջարկվում է նաև հաշվարկել այնպիսի ցուցանիշներ, ինչպիսիք են մակերևույթի թեքությունները, կողմնադրությունները, պրոֆիլային և պլանային կորությունները և հոսքի հետագծի երկարությունը: Ե. Նիկոլանսկայի [41], Ի. Էվանսի [83], Ա. Լաստոչկինի [35], Յու. Սիմոնովի [50] կարծիքով ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական վերլուծության ընթացքում պարտադիր են բացարձակ բարձրությունների, մակերևույթի թեքությունների և կողմնադրությունների քարտեզները: Սակայն մի շարք գեոմորֆոլոգիական և գեոէկոլոգիական խնդիրներ լուծելիս անհրաժեշտ է նաև ռելիեֆի պլանային կորության հաշվարկը, որի քարտեզը ցույց է տալիս մակերևույթային հոսքի կոնցենտրացիայի կամ ցրման ուղղությունը, ինչպես նաև ռելիեֆի պրոֆիլային կորության, որի քարտեզն էլ ցույց է տալիս հոսքի հարաբերական արագացման և դանդաղեցման տարածքները: Անվիճելի է նաև հոսքի հետագծի երկարության քարտեզի արդյունավետությունը, քանի որ տվյալ ցուցանիշը մակերևույթա-լանջային էրոզիայի հաշվարկի բազմաթիվ էմպիրիկ հավասարումների բաղկացուցիչ մաս է կազմում:

Բացարձակ բարձրությունից ածանցվող 5 գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հաշվարկի համար մեր կողմից օգտագործվել է Էվանս-Յանգի մեթոդը և Ադյուսակ 3-ի 1-2 և 7-8 բանաձևերը, և Հորթոնի մեթոդը [87, 99, 117, 164] հոսքի հետագծի երկարության համար:

3.2 Հայաստանի Հանրապետության ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների տարածական փոփոխականության վերլուծություն

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների տարածական փոփոխականության վերլուծությունն իրականացվել է համաձայն Լ. Ջոհրաբյանի [30] կողմից առաջարկված ՀՀ գեոմորֆոլոգիական շրջանացման (Նկ. 5):



Նկ. 5 ՀՀ գեոմորֆոլոգիական զոնաների քարտեզ

Նրա կողմից առնաձնացված են 4 խոշոր զոնաներ, որոնք տարբերվում են մորֆոլոգիայով, հասակով և ծագումնաբանությամբ: Համաձայն այս շրջանացման ՀՀ տարածքը բաժանվում է հետևյալ գեոմորֆոլոգիական-օրոգրաֆիական զոնաների՝

1. Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա,

2. Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա,
3. Հրաբխային բարձրավանդակ,
4. Միջին Արաքսյան գոգավորություն:

Մեր կողմից խնդիր է դրված գեոմորֆոլոգիական զոնաների ռելիեֆի առանձնահատկությունների տարածական վերլուծություն՝ հիմնված ռելիեֆի քանակական բնութագրիչների վրա: Այլ կերպ ասած, դիտարկել ռելիեֆի քանակական բնութագրիչների փոփոխականությունն ու վարքը՝ ոչ համասեռ տարածության մեջ: Յուրաքանչյուր գեոմորֆոլոգիական զոնայի համար՝ ՌԹՄ հիման վրա որոշված են մակերևույթի թեքությունների, կողմնադրությունների, պլանային և պրոֆիլային կորությունների այս կամ այն հաճախականության տարածական տեղաբաշխումը, քանզի հենց այս գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշներով են մեծ չափով պայմանավորված ռելիեֆի էրոզիոն պրոցեսները և նյութի տեղափոխման դինամիկան: Բացարձակ բարձրությունների առանձնահատկությունները մեր կողմից դիտարկվել են ՀՀ ամբողջ տարածքի համար, քանի որ այն հանդիսանում է բազային քանակական տվյալ՝ որի վիճակագրությունը գեոմորֆոլոգիայում և նրա կիրառական հավելվածներում օգտագործվում է որպես ռելիեֆի ամենից ընդհանուր բնութագրիչներ: Ելնելով այն հանգամանքից, որ հոսքի հետագծի երկարության տարածական տեղաբաշխման առանձնահատկությունները ցայտուն կերպով տարբերակված են տարբեր ծագումնաբանություն ունեցող գեոմորֆոլոգիական զոնաների միջև, դրանց տարածական տեղաբաշխում ևս դիտարկվում է ՀՀ ամբողջ տարածքի համար:

3.2.1 Բացարձակ բարձրություններ

Հաշվի առնելով, որ բարձրունքային բնութագրիչներին տրվում է զգալի գեոմորֆոլոգիական իմաստ, մեր կողմից ՌԹՄ-ի հիման վրա հաշվարկվել են ՀՀ բացարձակ բարձրությունների հիմնական վիճակագրական տվյալները, որոնցից շատերը չեն հանդիպում մինչ այժմ տպագրված գրականությունում:

ՀՀ բարձրունքային բնութագրիչների վիճակագրությանը նվիրված հետազոտությունների արդյունքների մասին տեղեկատվության հիմնականում կարելի է հանդիպել խորհրդային ժամանակաշրջանի անհատական կամ կոլեկտիվ ամփոփ մենագրություններում, որոնցից վերջինը լույս է տեսել մոտ 30 տարի առաջ [3, 4, 25, 30]: Համեմատաբար նոր վիճակագրական տվյալներ առկա է Հ. Գաբրիելյանի մենագրությունում, սակայն դրանք վերաբերվում են ընդհանրապես Հայկական լեռնաշխարհին [1]: Անհրաժեշտ է շեշտել, որ ներկայացված աշխատանքներում բացակայում են տվյալներ, ըստ որի կարելի է գնահատել բացարձակ բարձրությունների որոշման և բարձրությունների գոտիների տարածքների հաշվարկման ճշտությունը: Սակայն պարզ է, որ տվյալ ժամանակաշրջանում օգտագործվող պլանիմետրային և ձեռագործ ցանցավորման մեթոդները կարող էին զգալի տարբերություններ բերել տարբեր հեղինակների արդյունքների միջև: Ասվածի մասին վկայում է, օրինակ այն փաստը, որ վերը հիշատակված աղբյուրներում հանրապետության տարածքի միջին բացարձակ բարձրության մասին տվյալները տարբերվում են տասնյակ մետրերով [1, 4, 25, 30]: Ռելիեֆի նվազագույն և առավելագույն արժեքները այս կամ այն աղբյուրներում նույնպես տարբերվում են, նվազագույնը (Արաքս գետի հովիտ՝ Մեղրու կիրճում)՝ 379 մ-ը [4] մինչ 400 մ [25], և առավելագույն նիշը (Արագածի գագաթ)՝ 4090 մ [1, 4, 30] և 4095մ [25]:

Նշվածից հետևում է, որ հստակ անհրաժեշտություն կա ՀՀ ռելիեֆի բարձրունքային բնութագրիչների մասին վիճակագրական տվյալների թարմացման: Սակայն մեր համար ոչ պակաս կարևոր է թվում նաև մեթոդական միջավայրի ստեղծումը, որն իր մեջ ներառում է բարձրունքային տվյալների պատրաստումը և նրանց տարածական ու վիճակագրական վերլուծությունը, ինչը կթույլատրի գեոդեզիական տվյալների հավաքածուն տրանսֆորմացնել սկզբից գեոմորֆոմետրիական, ապա և գեոմորֆոլոգիական ինֆորմացիայի [8]:

Բարձրությունների ստացված տվյալները հետագա վերլուծության համար բաժանված են 100 մ ինտերվալով բարձրությունների գոտիների: Բացարձակ բարձրությունների համար հաշվարկված են տվյալների երկու հավաքածուներ՝

Հայաստանի ամբողջ տարածքի համար և առանց Սևանա լճի տարածքի (Աղյուսակ 5, Աղյուսակ 6):

Աղյուսակ 5

Հայաստանի Հանրապետության տարածքի բացարձակ բարձրությունների վիճակագրական ցուցանիշները

Վիճակագրական ցուցանիշներ		
Անվանումը	Արժեքը ¹⁾, մ	Արժեքը ²⁾, մ
Նվազագույն բարձր.	375	375
Առավելագույն բարձր.	4058	4058
Միջին բարձր.	1850.89	1853.32
Միջին քառակուսային շեղում	602.35	592.29
Մոդա	2020	1897
Մեդիան	1885	1897

1) Ցուցանիշները հաշվարկելիս հաշվի չի առնված Սևանա լճի մակերեսը,

2) Ցուցանիշները հաշվարկելիս հաշվի է առնված Սևանա լճի մակերեսը

Բացարձակ բարձրությունների նվազագույն (375 մ) և առավելագույն (4058) արժեքները զգալիորեն տարբերվում են համապատասխան գեոդեզիական չափումներից (379մ և 4090մ): Պարզ է, որ այս արժեքները չեն կարող ունենալ պրակտիկ կիրառում:

Միջին բարձրությունը հաշվարկված է, որպես ՌԹՄ բջիջներում բարձրությունների արժեքների ամբողջ բազմության միջին թվաբանական: Տպագիր գրականությունում ՀՀ տարածքի միջին բարձրության արժեքներն են՝ 1830 մ [4], 1800 մ [25; 30], 1850 մ [1]:

Մոդալ արժեքը գերիշխող բացարձակ բարձրությունն է, որն առանց Սևանա լճի տարածքի ՀՀ տարածքի համար հավասար է 2020 մ, Սևանա լճի հետ միասին 1897 մ: Ըստ հաշվարկման մեթոդի մոդալ արժեքը կարելի է մեկնաբանել՝ որպես այն բացարձակ բարձրությունը, որի վրա տեղակայված է ամենամեծ տարածքը՝ համեմատած բացարձակ բարձրությունների այլ արժեքների հետ: ՀՀ դեպքում մոդայի արժեքը մեծ է միջին թվաբանականից, ինչը վկայում է այն մասին, որ այստեղ գերակշռում են միջինից բարձր բարձրության մորֆոկառուցվածքային միավորները:

Մեդիալ արժեքը մեկնաբանվում է՝ որպես այն բացարձակ բարձրությունը, որից ցածր և բարձր գտնվում են ՀՀ տարածքի հավասար մասեր: Առանց Սևանա լճի տարածքը հաշվի առնելու այս վիճակագրական ցուցանիշը հավասար է 1885 մ,

Սևանա լճի հետ միասին՝ 1897 մ: Երկու դեպքում էլ մեղիալ արժեքը 35-45 մետրով ավել է միջին թվաբանական բարձրությունից: Հայաստանի ամբողջ տարածքի մոդայի և մեղիանի արժեքները հավասար են:

Ներկայացված տվյալները ցույց են տալիս, որ ՀՀ տարածքի բացարձակ բարձրությունների վիճակագրությունը և դրանց հարաբերակցությունները արտացոլում են ռելիեֆի անհամասեռության մասին: Պարզ է դառնում, որ ՀՀ ռելիեֆի առանձնահատկությունների լիակատար պատկերացման համար անհրաժեշտ է բարձրունքային բնութագրիչների վերլուծությունն իրականացնել ըստ նրա տարածքը կազմող առանձին մորֆոստրուկտուրաների և գետավազանների:

ՀՀ տարածքի տեղաբաշխումը ըստ բարձրության գոտիների հաշվարկված է համաձայն բացարձակ բարձրությունների խմբավորված արժեքների և ներկայացված է ստորև՝ աղյուսակի (Աղյուսակ 6), հիստոգրամի (Նկ. 6, Նկ. 7) և կոմոլյատիվ հիպսոմետրիկ կորի տեսքով (Նկ. 8): Երկու տիպի գրաֆիկներից յուրաքանչյուրը ցույց է տալիս բարձրությունների տեղաբաշխման որոշակի առանձնահատկություն:

Աղյուսակ 6

ՀՀ տարածքի տեղաբաշխումը ըստ բարձրությունների գոտիների

Բարձրունքային գոտիները, մ	Սևանա լճի տարածքի հետ		Առանց Սևանա լճի տարածքի	
	Գոտու մակերեսը, կմ ²	Գոտու մակերեսը, %	Գոտու մակերեսը, կմ ²	Գոտու մակերեսը, %
3500-4100	30.9	0.10	30.9	0.11
3400-3500	31.5	0.11	31.5	0.11
3300-3400	60.5	0.20	60.5	0.21
3200-3300	147.4	0.50	147.4	0.52
3100-3200	273.1	0.92	273.1	0.96
3000-3100	369.1	1.24	369.1	1.30
2900-3000	419.7	1.41	419.7	1.48
2800-2900	531.5	1.79	531.5	1.87
2700-2800	632.6	2.13	632.6	2.22
2600-2700	732.7	2.47	732.7	2.58
2500-2600	869.4	2.93	869.4	3.06
2400-2500	1049.9	3.53	1049.9	3.69
2300-2400	1290.4	4.34	1290.4	4.54
2200-2300	1536.4	5.17	1536.4	5.40
2100-2200	1802.3	6.07	1802.3	6.34
2000-2100	2075.5	6.99	2075.5	7.30
1900-2000	2130.5	7.17	2130.5	7.49
1800-1900	2768.6	9.32	1513.0	5.32
1700-1800	1555.2	5.24	1555.2	5.47

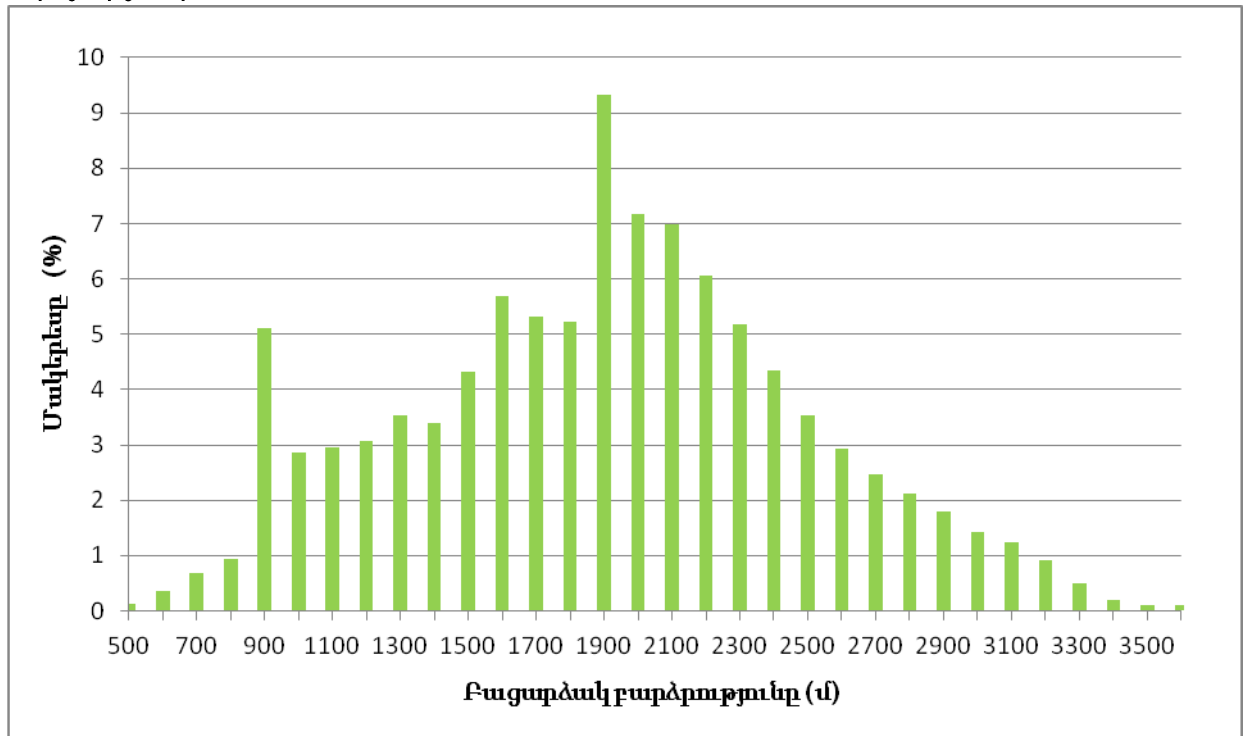
Բարձրունքային գոտիները, մ	Սևանա լճի տարածքի հետ		Առանց Սևանա լճի տարածքի	
	Գոտու մակերեսը, կմ ²	Գոտու մակերեսը, %	Գոտու մակերեսը, կմ ²	Գոտու մակերեսը, %
1600-1700	1581.5	5.32	1581.5	5.56
1500-1600	1689.6	5.69	1689.6	5.94
1400-1500	1284.7	4.33	1284.7	4.52
1300-1400	1010.9	3.40	1010.9	3.55
1200-1300	1052.2	3.54	1052.2	3.70
1100-1200	911.9	3.07	911.9	3.21
1000-1100	878.7	2.96	878.7	3.09
900-1000	850.8	2.86	850.8	2.99
800-900	1515.8	5.10	1515.8	5.33
700-800	275.9	0.93	275.9	0.97
600-700	201.7	0.68	201.7	0.71
500-600	105.8	0.36	105.8	0.37
375-500	35.5	0.12	35.5	0.12
Ամբողջը	29700	100.00	28500	100.00

Հիստոգրամն իրենից ներկայացնում է բացարձակ բարձրությունների արժեքների հաճախականության տեղաբաշխման գրաֆիկ՝ ըստ տրված միջակայքի:

ՀՀ տարածքի բացարձակ բարձրությունների տեղաբաշխման հիստոգրամին հատուկ է բացասական ասիմետրիա, որն արտահատված է նրանով, որ հիստոգրամի աջ մասը ավելի հարթ և կտրուկ է, իսկ ձախ մասը՝ խորդուբորդ, սակայն՝ մեղմ: Բացարձակ բարձրությունների տեղաբաշխման առանձնահատկությունների գեոմորֆոլոգիական մեկնաբանումը՝ այլ տարածքների հետ անալոգիայի կիրառմամբ, թույլ է տալիս ենթադրել նմանատիպ բացասական ասիմետրիայի պատճառների մասին: Յու. Սիմոնովը նման տեղաբաշխումը բացատրում է ռելիեֆի բացասական ձևերով (ծորակային ցանց) մասնատված, բացարձակ բարձրության տեսակետից բարձր տեղակայում ունեցող հարթեցված մակերևույթների առկայությամբ, որոնցում հանդիպում են նաև ոչ բարձր մնացորդային ձևեր (останцы) [50]:

Հիստոգրամի աջ և ձախ մասերը կտրուկ տարբերվում են նաև տեղաբաշխման այլ առանձնահատկությունով: Նվազագույն բացարձակ նիշերից մինչև տարածքի առումով գերակշիռ բարձրունքային գոտին ընկած (1800-1900 մ) հատվածում բարձրունքային գոտիների տարածքները մեծանում են ոչ հետևողականորեն՝ կտրուկ թռիչքներով: Հատկապես աչքի է ընկնում 800-900 մ բարձրունքային գոտին՝ որի միջակայքին է համապատասխանում Արարատյան դաշտի բացարձակ բարձրությունը

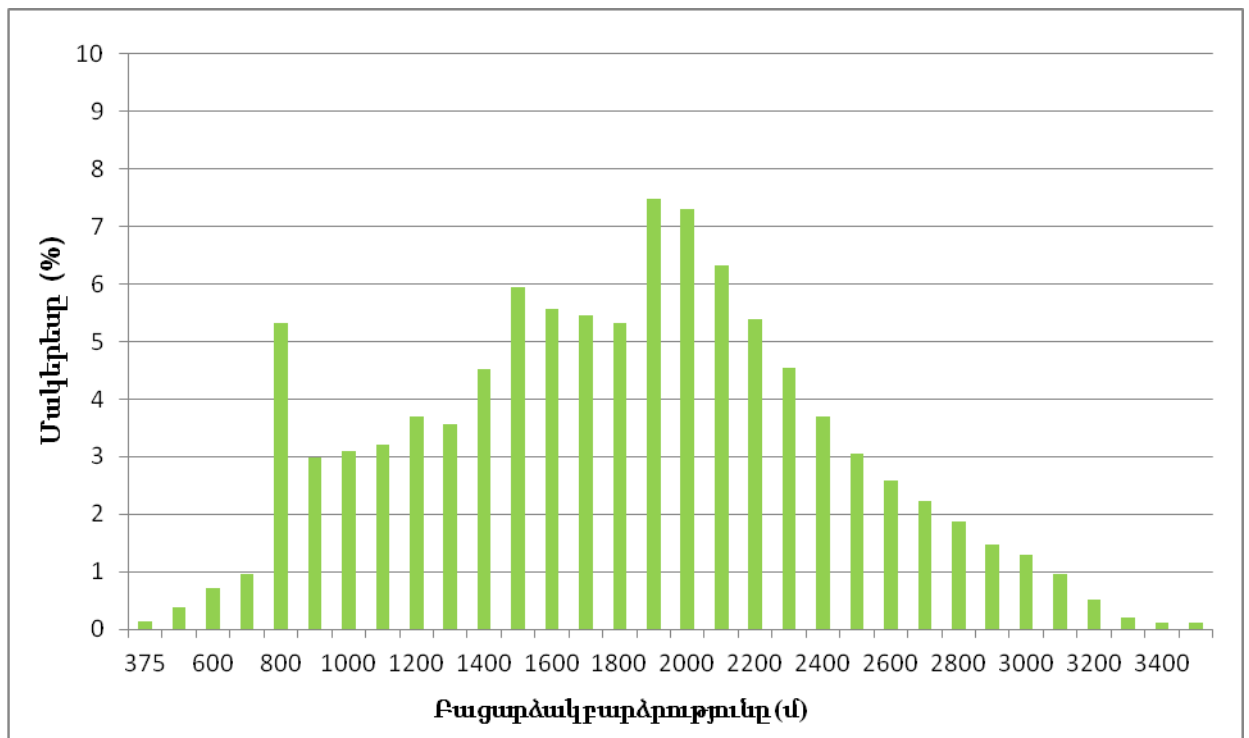
և 1400-1600 մ բարձրունքային գոտին, որի սահմաններում են տեղաբաշխված համեմատաբար խոշոր Լոռու (1400-1700 մ, 200 կմ²) և Շիրակի (1550-1600 մ, 60 կմ²) դաշտերը: Պարզ է, որ գոտիների մակերեսների հետևողական աճման այլ խախտումները ևս բացատրվում է իրական գեոմորֆոլոգիական միավորների առկայությամբ:



Նկ. 6 ՀՀ բարձրունքային գոտիների հաճախականության հիստոգրամ (Սևանա լճի մակերեսը ներառյալ)

Հակառակ պատկերն է նկատվում բարձր բացարձակ նիշերից դեպի տարածքով գերակշռող բարձրունքային գոտի ընկած հատվածում: Այստեղ բարձրունքային գոտիների մակերեսները հետևողականորեն մեծանում են: Հնարավոր է դա բացատրվում է նրանով, որ ՀՀ տարածքում բացակայում են 2250-2300 մ բարձր համեմատաբար խոշոր, հարթ տարածքները: Ամենաբարձր միջլեռնային գոգավորությունները (Ակնադաշտի և Արգիճիի) տեղակայված են 2200-2250 մ բացարձակ բարձրություններում:

Հենվելով հիստոգրամների տվյալների վրա՝ կարելի է ասել որ Հայաստանի Հանրապետության տարածքն իրենից ներկայացնում է միջին բարձրության լեռնային երկիր, որտեղ գերիշխում են 1500-2300 մ բացարձակ բարձրությունները:

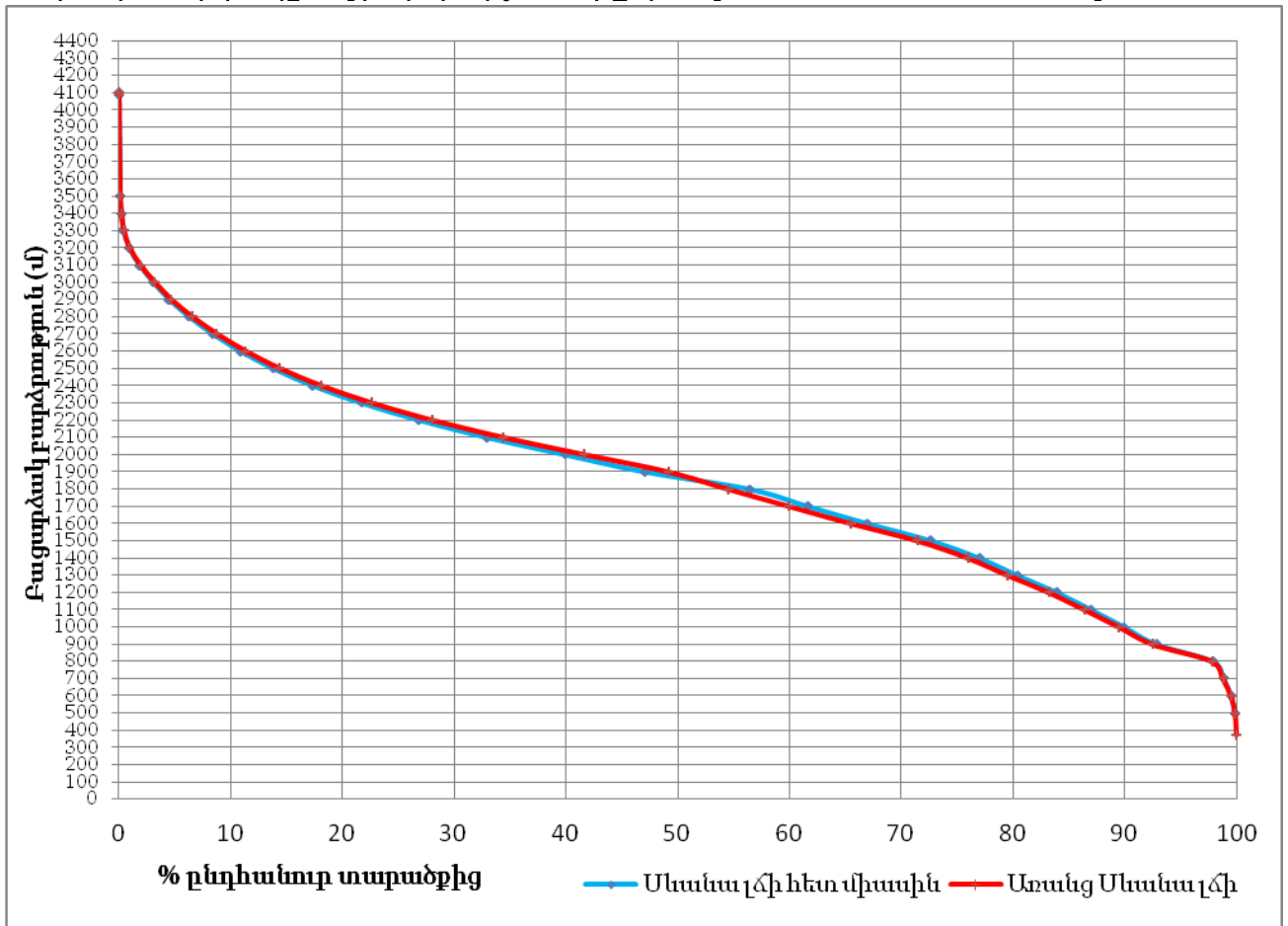


Նկ. 7 ՀՀ բարձրունքային գոտիների հաճախականության հիստոգրամա (առանց Սևանա լճի մակերեսի)

Հիպսոմետրիկ կորը կառուցված է կոմուլյատիվ գրաֆիկի սկզբունքով և իրենից ներկայացնում է ըստ միջակայքերի բարձրությունների տեղաբաշխում՝ հետևողականորեն ավելացող հաճախականություններով: Հիպսոմետրիկ կորերն ընդհանրապես հանդիսանում են ռելիեֆի բնութագրման ամենատարածված գրաֆիկական միջոցներից:

Համաձայն Յ. Զավոյանուի վկայության [163, էջ 185-190] Ստրահլերն [151] ու Շումմը [139] առաջինն են հաստատել հիպսոմետրիկ կորի ձևի կախվածությունը ջրահավաք ավազանի գեոմորֆոլոգիական զարգացման փուլից և ցույց են տվել ռելիեֆագոյացման պրոցեսների վերլուծման նպատակով՝ դրա ձևի մեկնաբանման հնարավորությունները: Մասնավորապես հաստատված է, որ հստակ կապ է առկա ռելիեֆի մորֆոլոգիական առանձնահատկությունների, հիստոգրամի և հիպսոմետրիկ կորի ձևի միջև: Երբ ռելիեֆում գերակշռում են մեծ բարձրությունները, ապա հիստոգրամն ունենում է ձախակողմյան ասիմետրիա, իսկ հիպսոմետրիկ կորը ունենում է ուռուցիկ ձև: Ռելիեֆում միջին և ցածր բարձրությունների գերակշռման դեպքում գրաֆիկները համապատասխանորեն ունենում են աջակողմյան ասիմետրիա և գոգավոր ձև: ՀՀ տարածքի բարձրությունների հիստոգրամն ունի թեթևակի

ծախսակողմյան ասիմետրիա և ըստ ձևի «չեզոք» (տերմինալոգիան ըստ Սրահլերի [151] և Շումմի [139]) հիպոտետորիկ կոր, ինչը, սակայն չի հակասում այն փաստին, որ ՀՀ տարածքում գերակշռող բարձրությունները գտնվում են 1500-3000 մ հատվածում:



Նկ. 8 ՀՀ տարածքի հիպոտետորիկ կորը

Պետք է նշել, որ ծալքաբեկորավոր լեռների հիպոտետորիան սովորաբար պայմանավորվում է նեոտեկտոնական շարժումներով, որոնք Հայաստանում դիֆերենցված են [30]: Երկրակեղևի առանձին բլոկների սահմաններում դրանք արտահայտվում են տարբեր աստիճանի ինտենսիվությամբ և տարաբնույթ ամպլիտուդայով, ինչը երիտասարդ լեռների մոտ առաջացնում է տարբեր բարձրության ռելիեֆի մակարդակներ: Նեոհրաբխային ռելիեֆի դեպքում հիպոտետորիայի ձևավորմանը նեոտեկտոնական շարժումների հետ միասին մասնակցություն է ունենում նաև լավային և տուֆային ծածկույթը: Սակայն Հայաստանի տարածքում դրանց հզորությունը մեծ չէ (առավելագույնը մի քանի հարյուր մետր), ուստի նման ռելիեֆի

հիմնական հիպսոմետրիական մակարդակները կրկնում են լավատակ ռելիեֆի հիպսոմետրիան [30]:

ՀՀ հիպսոմետրիային հատուկ է բարձրությունների սահմանային և բնորոշ մակարդակներով տարբեր, չորս խոշոր զոնաների հաջորդականություն (հյուսիսից հարավ)՝ Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա, Հրաբխային բարձրավանդակ, Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա, Միջին Արաքսյան գոգավորություն:

Աղյուսակի, հիստոգրամի և հիպսոմետրիկ կորի (Սևանա լճի տարածքի հետ միասին) վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ՀՀ տարածքի 10,49% գտնվում է մինչև 1000 մ բարձրություններում, գրեթե կեսը (47.84%)՝ 1000-2000 մ բարձրություններում: 2500 մ բարձր տարածքները զբաղեցնում են ընդհանուրի միայն 14.41 %: Համաձայն օրոգրաֆիական և մորֆոլոգիական զոնաների (անվանացանկը ըստ Զոհրաբյանի [30]) հանրապետության տարածքը բաժանվում է հետևյալ կերպով. 68.23 % զբաղեցնում են միջին բարձրության լեռներ (1500-3000 մ), քառորդից ավելին (28,56 %)՝ ցածր լեռներ և միջլեռնային հատվածներ: Տարածքի ոչ մեծ մասնաբաժին կազմում են սահմանային բարձրությունները. միայն 3.21 % բարձր լեռներ, որոնք հանդիսանում են ՀՀ տարածքի ամենանարձր գագաթները և 0.12 %՝ մինչև 500 մ բարձրության վրա գտնվող ցածր տարածքներ: ՀՀ տարածքի միջին բացարձակ բարձրությունը կազմում է 1853.32 մ:

Նշված արդյունքները ընդգծում են ՀՀ բարդ ռելիեֆի բացարձակ բարձրությունների վիճակագրական վերլուծության արդյունավետությունը, ինչպես նաև ցույց են տալիս դրա որոշ առանձնահատկություններ, որոնք արտահայտվում են վիճակագրական բաշխման կորի ասիմետրիայով: Հատկապես հետաքրքրություն է ներկայացնում ՀՀ տարածքի հիպսոմետրիկ մեդիալ արժեքից՝ 1897 մ, բարձր տեղակայված բարձրունքային գոտիների խիստ կանոնավոր տեղաբաշխումը, և, հակառակը, նվազագույն արժեքներից մինչև մոդալ արժեքը բացարձակ բարձրությունների հաճախականության անհամաչափ տեղաբաշխումը:

3.2.2 Մակերևույթի թեքություններ

Լանջի մակերևույթի թեքություններից կախված է լանջն ի վար նյութի տեղափոխման արագությունը՝ ծանրության ուժի ազդեցության տակ կամ մակերևույթային հոսքի հետ միասին (թափվածքներ, սողանքներ, ձորակային էրոզիա և այլն): Կարելի է ասել, որ մակերևույթի թեքությունը պայմանավորում է լանջային պրոցեսների արագությունը: Թեքման անկյունը հնարավոր է հաշվարկել 0° -ից 90° -ի սահմաններում: Երկրաչափորեն կարելի է ասել, որ մակերևույթի թեքությունը մակերևույթի նկատմամբ հորիզոնական և շոշափող հարթությունների միջև անկյունն է որևէ կետում: Այն հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$GA = \arctg(p^2 + q^2)^{1/2}:$$

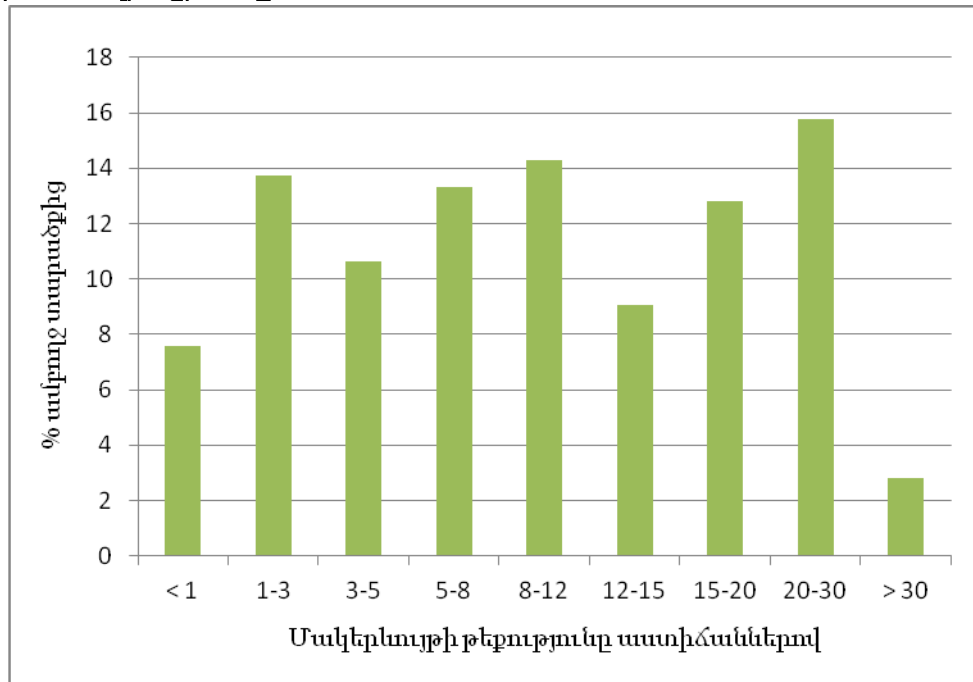
Բանաձևի բացատրությունը բերված է 1.6 ենթագլխում:

Այս ցուցանիշի հետագա աշխարհագրական վերլուծության համար, ինչպես նաև թեքությունների քարտեզների կազմման համար արժեքների ամբողջ շարքը բաժանվել է թեքման անկյան հետևյալ միջակայքերի՝ $0-1^\circ$; $1-3^\circ$; $3-5^\circ$; $5-8^\circ$; $8-12^\circ$; $12-15^\circ$; $15-20^\circ$; $20-30^\circ$; 30° -ից մեծ: Գրականության մեջ թեքման անկյունների համար կարելի է տեսնել միջակայքերի այլ հավաքածու՝ $0-0.5^\circ$; $0.5-1^\circ$; $1-2^\circ$; $2-5^\circ$; $5-10^\circ$; $10-15^\circ$; $15-29^\circ$; $29-45^\circ$; $45-90^\circ$: Սակայն այսպիսի միջակայքերը նախատեսված են ռելիեֆի ամբողջ բազմազանությունն ընդգրկող ավելի փոքր տարածքների նկարագրման համար: Ինչպես ցույց են տալիս բացարձակ բարձրությունների դաշտերի վերլուծության արդյունքները, << ռելիեֆն ունի միջին բարձրության, մեծ մասնատվածությունով աչքի ընկնող լեռների հատկանիշներ, ուստի, մեր կարծիքով, նպատակահարմար է կրճատել մակերևույթի մեծ թեքությամբ միջակայքերը և ավելացնել դրանք 2° -ց մինչև 10° միջակայքում:

Մակերևույթի թեքությունների գեոմորֆոմետրիական վերլուծության արդյունքում կարելի է ասել, որ ստացված քարտեզի վրա անկյունները փոփոխվում են 0° -ից 30° սահմաններում: Սակայն մենք գիտենք, որ իրականում ուսումնասիրվող տարածքի առավելագույն թեքությունը կարող է հասնել մինչև 90° (օրինակ, գետերի զառիթափ ավերին): Քարտեզի վրա նման թեքությամբ լանջերի չնչին մասնաբաժինը առաջին հերթին պայմանավորված է տվյալ դեպքում ելակետային հանդիսացող ռադարային

հանույթի առանձնահատկություններից, ՌԹՄ լուծաչափից և վերջնական քարտեզի գեներալիզացիայի աստիճանից:

Վերլուծության արդյունքներով կազմվել են հիստոգրամ (Նկ. 9) և թվային քարտեզ (Նկ. 10), որոնք ցույց են տալիս մակերևույթների թեքությունների տարածական տեղաբաշխումը ՀՀ-ում:



Նկ. 9 ՀՀ տարածքի մակերևույթի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

Ինչպես երևում է հիստոգրամից, ամենամեծ մակերեսն ունեն 20°-30° մակերևույթի թեքություն ունեցող տարածքները, ամենափոքր՝ 30°-ից մեծ թեքությամբ տարածքները: Հանրապետության տարածքի մակերևույթի միջին թեքությունը մոտ 10.6° է: Ընդ որում ամենամեծ միջին թեքությամբ բնութագրվում են Հյուսիսային և Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների գոտիները՝ 15.3° և 16.2° համապատասխանաբար: Միջին թեքության փոքր արժեքներով աչքի են ընկնում Արարատյան դաշտի, Լոռու սարավանդի, Մասրիկի դաշտի հատվածները, որոնցում նվազագույն միջին թեքությունը տատանվում է 1° շրջակայքում: Մակերևույթի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման ընդլայնված ու ամբողջական վերլուծություն մեր կողմից տրված է ըստ առանձին գեոմորֆոլոգիական գոտիների:

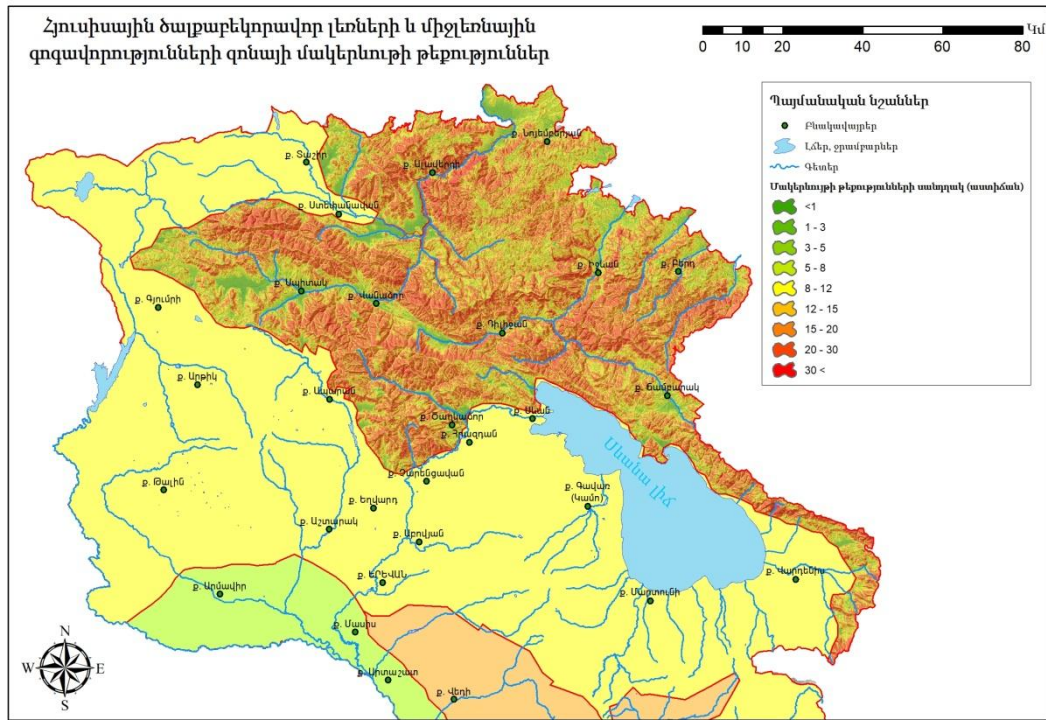


Նկ. 10 ՀՀ տարածքի մակերևույթի թեքությունների քարտեզ

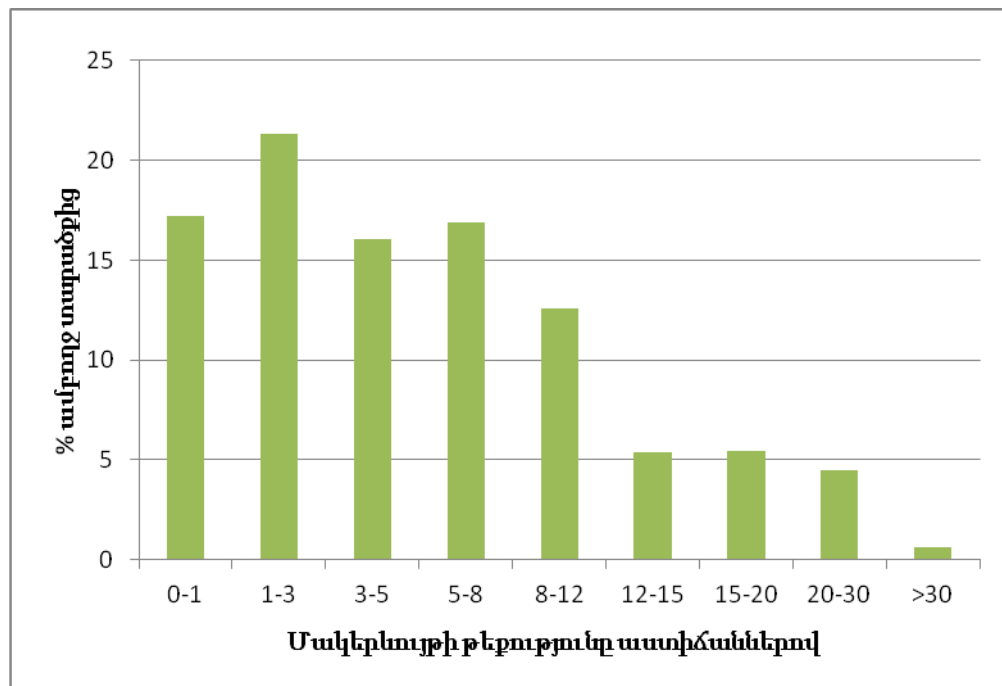
Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա: Այս զոնայի մակերևույթի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման

Մակերևութի թեքությունը սաստիճաններով	% ավելուց արագձիգ
0-1	0.5
1-3	3.5
3-5	4.8
5-8	9.8
8-12	16.5
12-15	13.5
15-20	21.5
20-30	26.2
>30	2.8

Մակերևույթի թեքության ամենամեծ արժեքները նկատվում են Փամբակ (Դեբեդ), Ձորագետ, Մարց, Աղստև գետերի կանիոնանման հովիտներում և ավելի փոքր գետերի վերին հոսանքների հատվածներում: Դեբեդ գոտի հովտի որոշ հատվածներում Հալաբի լեռնաշղթայի մեծագաթնյա հատվածներում թեքությունը որոշ տեղերում հասնում է մինչև 70° - 90° (Նկ. 12): Սակայն, ինչպես երևում է հիստոգրամից, 30° մեծ մակերևույթի թեքությամբ տարածքների մակերեսը շատ փոքր է: Ամենից փոքր միջին արժեքները դիտարկվում են միջլեռնային գոգավորությունների հատակային հատվածներում: Մասնավորապես, Փամբակ գետի վերին հովտում այն դրա արժեքը փոփոխվում է 0.5° - 1.5° սահմաններում:



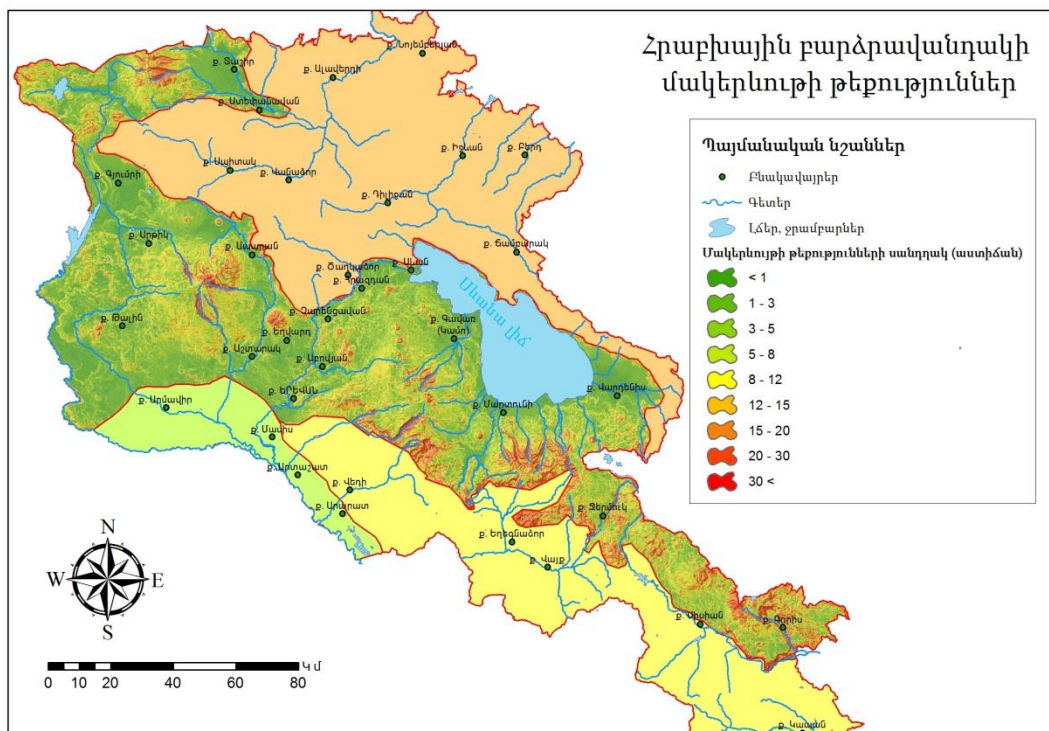
Նկ. 12 Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևութի թեքությունների քարտեզ



Նկ. 13 Հրաբխային բարձրավանդակում մակերևութի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

Հրաբխային բարձրավանդակ: Հրաբխային բարձրավանդակի տարածքում մակերևութի թեքության միջին արժեքը հավասար է 6.3° : Այստեղ մակերևութի թեքության առավելագույն արժեքը հասնում է մինչև 65° , սակայն նման թեքություն

ունեցող տարածքների մակերեսի մասնաբաժինը կազմում է ընդհանուր ընդամենը 0.3%: Արագած հրաբխային զանգվածի լանջերին առավելագույն արժեքները դիտարկվում են Քասախ գետի կանյոնի զառիթափ լանջերին: Գեղամա և Վարդենիսի լեռներում զառիթափ լանջերը (30° և բարձր) հանդիպում են լեռնային գետերի վերին հոսանքներում, որտեղ դրանք հիմնականում ձևավորում են կանխոնաձև հովիտներ: Նման պատկեր դիտարկվում է նաև Զավախքի լեռներում: Սյունիքի բարձրավանդակում 10° և մեծ թեքություններ հանդիպում են Որոտան գետի զառիթափ ձախ ափին և դրա ձախակողմյան վտակների վերին հոսանքներում:

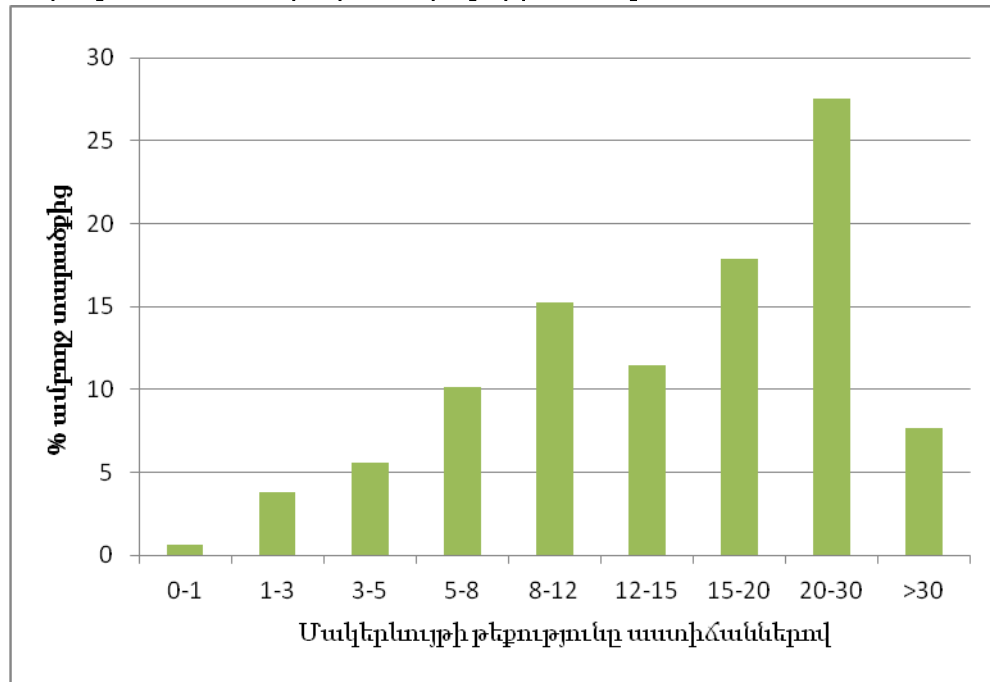


Նկ. 14 Հրաբխային բարձրավանդակի մակերևույթի թեքությունների քարտեզ

Այս զոնայում ըստ մակերևույթի թեքությունների տարածքների տեղաբաշխմանը առավել մանրամասն կարծիք կարելի է կազմել հաճախականությունների հիստոգրամից (Նկ. 13) և քարտեզից (Նկ. 14): Այստեղ մակերևույթի թեքությունների տեղաբաշխումը ըստ տարածքի ունի անկանոն բնութագիր: Հաճախականությունների մաքսիմումները դիտարկվում են 1° - 3° միջակայքում (ընդհանուր տարածքի մինչ 23 %), ինչպես նաև 0° - 1° և 5° - 8° միջակայքերը (յուրաքանչյուրը ընդհանուր տարածքի մոտ 17 %): Իսկ ահա թեքության 12° և բարձր արժեքով տարածքները կտրուկ նվազում են և զբաղեցնում են ամբողջ տարածքի ընդամենը 15%:

Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների

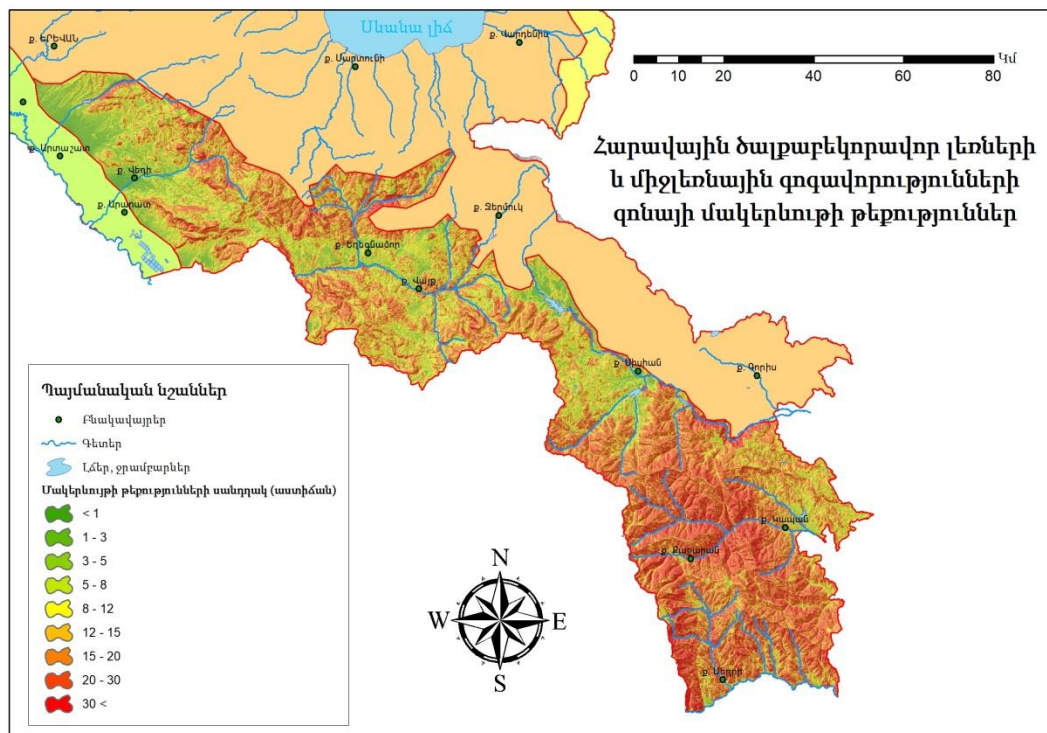
զոնա: Տվյալ զոնայի մակերևույթի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամը տրամաբանորեն նման է հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների հիստոգրամին՝ մինչ 20° - 30° ընկած միջակայքն ունի հետողականորեն ավելացող տեսք և միայն 12° - 15° միջակայքն է դուրս մնում ընդհանուր օրինաչափությունից (Նկ. 15): Միջին արժեքն աստեղ ՀՀ-ում ամենից բարձրն է և կազմում է 16.3° , իսկ Զանգեզուրի հատվածում՝ մոտ 20° :



Նկ. 15 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայում մակերևույթի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

Մակերևույթի թեքության առավելագույն արժեքը հասնում է 70° և դիտարկվում է Որոտանի կիրճի աջափնյա լանջին՝ Հարժիս-Հանլիժոր գյուղերի հատվածում: Սակայն նման արժեքով տարածքների մակերեսը չի գերազանցում ընդհանուրի 0.2%: Հարավային Զանգեզուրում առավելագույն արժեքները դիտարկվում են լեռնաշղթաների մերձգագաթնյա հատվածներում:

Ամենից փոքր միջին արժեքները դիտարկվում են միջլեռնային հովիտների հատակային հատվածներում, գետերի համեմատաբար ընդարձակ ողողատներում հնագույն համահարթեցման մակերևույթների շրջաններում (Նկ. 16):

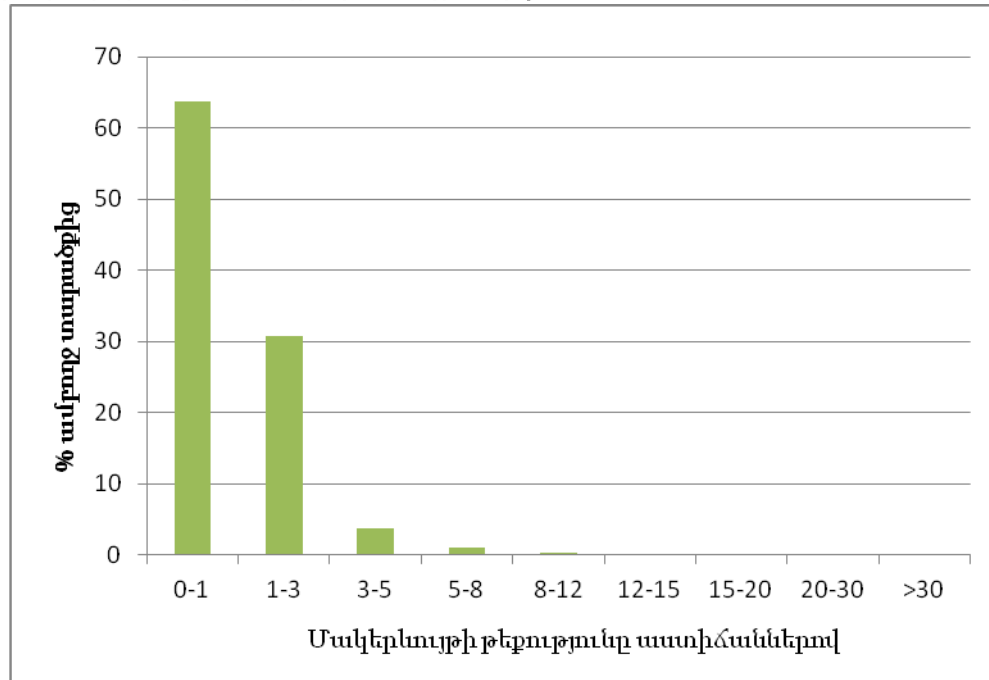


Նկ. 16 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևութի թեքությունների քարտեզ

Միջին Արաքսյան գոգավորություն: Արարատյան դաշտի հարթավայրային ռելիեֆի շնորհիվ այս զոնան բնութագրվում է մակերևութի թեքությունների փոքր արժեքներով, որի միջին արժեքը 1.1° : 5° -ից մեծ մակերևութի թեքություն ունեցող տարածքների մակերեսը չի գերազանցում ընդհանուրի 1% (Նկ. 17): Բացառություն են կազմում միայն հյուսիսային և հյուսիս-արևելյան հատվածները, որտեղ հարթավայրը աստիճանաբար վեր է ածվում նախալեռների (Նկ. 18): Միջին արժեքը այստեղ կազմում է մոտ 2.5° : Առանձին բլուրների լանջերին թեքությունը կարող է հասնել մինչև 15° - 20° :

Ամփոփելով մակերևութների թեքությունների աշխարհագրական տեղաբաշխման առանձնահատկությունների վերլուծությունը, կարելի է եզրակացնել, որ մակերևութի թեքությունների արժեքների հիման վրա հստակ կերպով ուրվագծվում է ծալքաբեկորավոր լեռների և հրաբխային բարձրավանդակի միջև ռելիեֆի առանձնահատկությունների տարբերությունը: Ասվածը առավել պատկերավոր է դարձնում այն փաստը, որ երկու ծալքաբեկորավոր զոնաների մակերևութների թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականությունների

հիստոգրամները ունեն միանման ձև, ընդ որում կտրուկ կերպով տարբերում են հրաբխային բարձրավանդակի հիստոգրամից:



Նկ. 17 Միջին Արաքսյան գոգավորության մակերևութի թեքությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

Ծալքաբեկորավոր լեռների զոնաները տարբերվում են մակերևութի թեքությունների կտրուկ կոնտրաստներով, և ընդհանուր առմամբ, ավելի մեծ արժեքների գերակշռմամբ (օրինակ, երկու զոնայում էլ գերիշխող են 20° - 30° միջակայքում մակերևութի թեքությունների արժեք ունեցող տարածքները): Նման պատկերը ամենայն հավանականությամբ կապված է լանջերի երկարաժամկետ էվոլյուցիայի հետ, որի արդյունքում հիմնականում փոփոխվում է դրանց թեքությունները [45, 46]: Մագմատիկ մարմինները և տեկտոնական խզումները էլ ավելի են բարդացնում ծալքավոր կառուցվածքները և ռելիեֆում դրանց արտահայտվածությունը:

Հրաբխային բարձրավանդակում դիտարկվում է հակառակ պատկերը: Այստեղ գերիշխում են 1° - 3° , 3° - 5° , 5° - 8° միջակայքերում մակերևութի թեքությունների արժեք ունեցող տարածքները: Տեսականորեն կարելի է պնդել, որ հրաբխային բարձրավանդակում լավային հոսքերը լցոնում են նախկին ռելիեֆի բացասական ձևերը, հանգեցնելով դրա՝ գրեթե իդեալական հարթեցմանը, ինչը և բացատրում է մակերևութի փոքր թեքության արժեքների գերակշռումը այստեղ: Սակայն, մյուս

նկատմամբ լանջի նորմալի պրոյեկցիայի ազիմուտին: Այն արտահայտվում է աստիճաններով կամ 4, 8, 16 կամ 32 ռումբերով: Հարթ լանջի (զրոյական թեքությամբ) կողմնադրությունը չի որոշվում:

Կողմնադրությունից կախված՝ փոփոխվում է լանջային պրոցեսների արագությունը, քանի որ փոփոխվում է ստացվող արեգակնային ռադիացիայի քանակը: Այս ամենի հանրագումարը պայմանավորում է տարածքի լանդշաֆտային դիֆերենցացիան:

Կողմնադրությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով (բանաձևի բացատրությունը գլուխ 1.6)՝

$$A_0 = -90[1 - \text{sign}(q)](1 - |\text{sign}(p)|) + 180[1 + \text{sign}(p)] - 180\text{sign}(p)\arccos[-q/(p^2 + q^2)^{1/2}]/\pi :$$

Գեոմորֆոմետրիական վերլուծության համար կողմնադրությունների ամբողջ շարքը բաժանվել է 8 ռումբերի յուրաքանչյուրը 45°. 337.5°-22.5° (հյուսիս), 22.5°-67.5° (հյուսիս-արևելք), 67.5°-112.5° (արևելք), 112.5°-157.5° (հարավ-արևելք); 157.5°-202.5° (հարավ) 202.5°-247.5° (հարավ-արևմուտք); 247.5°-292.5° (արևմուտք); 292.5°-337.5° (հյուսիս-արևմուտք): Ընդունված միջակայքերով կազմված է համապատասխան քարտեզ ՀՀ տարածքի համար (Նկ. 19):

Նախնական գնահատման արդյունքում կարելի է ասել, որ ՀՀ-ում գերիշխում են «տաք» (112.5°-247.5°), ինչը հստակ երևում է վարդ-դիագրամից (Նկ. 20) և հաստատվում է քանակապես՝ «տաք» կողմնադրության լանջերին բաժին է գալիս ամբողջ տարածքի 57 %, իսկ «սառը» կողմնադրության լանջերին համապատասխանաբար 43 %:

Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա: Այս զոնայի տարածքի մեծ մասում գերակշռում են հարավային, «տաք» կողմնադրության լանջերը (Նկ. 21, Նկ. 22):

Օրինակ Փոքր Կովկասի արտաքին լեռնաշղթաների ենթազոնայում հարավային կողմնադրության լանջերի մասնաբաժինը կազմում է ընդհանուրի 60 % և հյուսիսահայաց լանջերինը համապատասխանաբար՝ 40 %: Ընդ որում ամենից փոքր մասնաբաժինն ունեն 0° - 67.5° և 292.5° - 360° կողմնադրության արժեք ունեցող լանջերը՝ 10.8 % և 10.7 % համապատասխանաբար:

ՀՀ մակերևույթի կողմնադրություններ

Պայմանական նշաններ

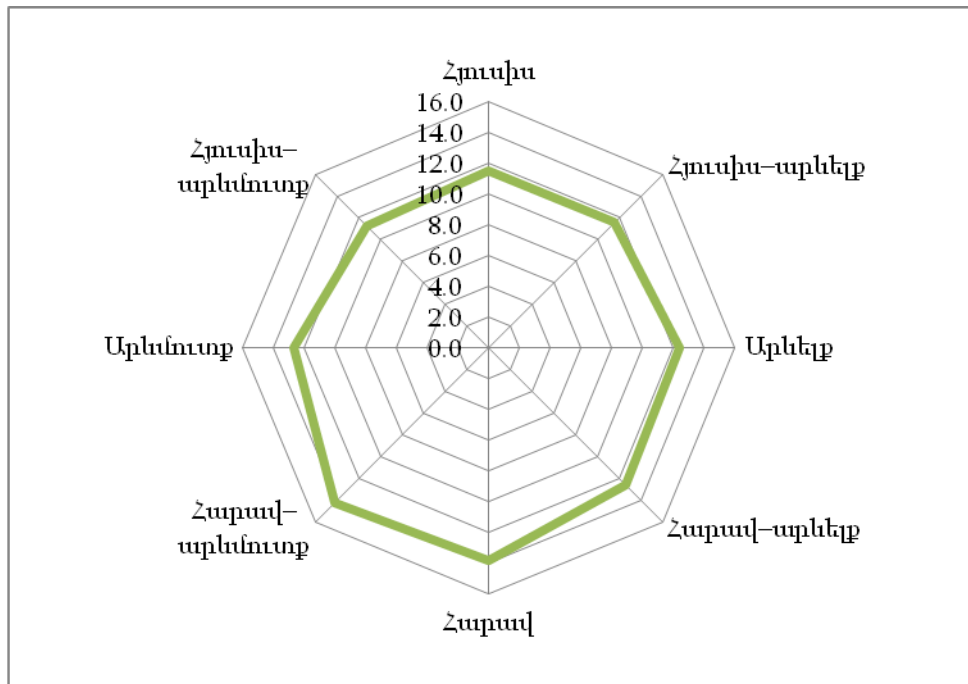
- Բնակավայրեր
- ~ Գետեր
- ~ Լճեր, ջրամբարներ
- ~ Գեոմորֆոլոգիական գոնաներ

Մակերևույթի կողմնադրություններ

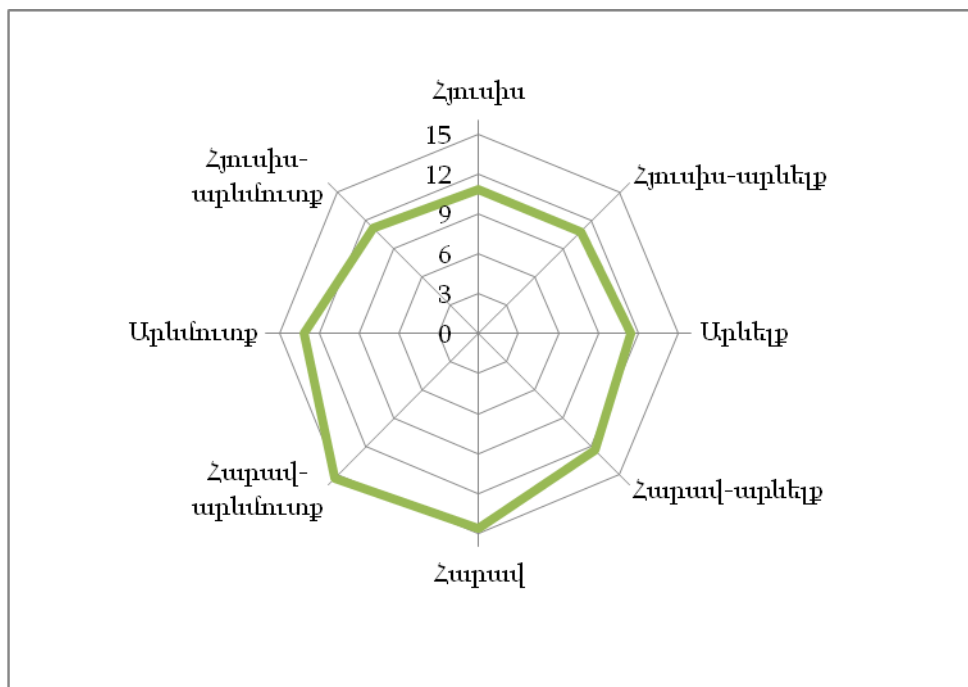
- Հարթ մակերևույթներ (-1)
- Հյուսիս (0-22.5)
- Հյուսիս-արևելք (22.5-67.5)
- Արևելք (67.5-112.5)
- Հարավ-արևելք (112.5-157.5)
- Հարավ (157.5-202.5)
- Հարավ-արևմուտք (202.5-247.5)
- Արևմուտք (247.5-292.5)
- Հյուսիս-արևմուտք (292.5-337.5)
- Հյուսիս (337.5-360)

0 15 30 60 90 120 կմ

63



Նկ. 20 ՀՀ տարածքի մակերևույթի կողմնադրությունների վարդ-դիագրամ



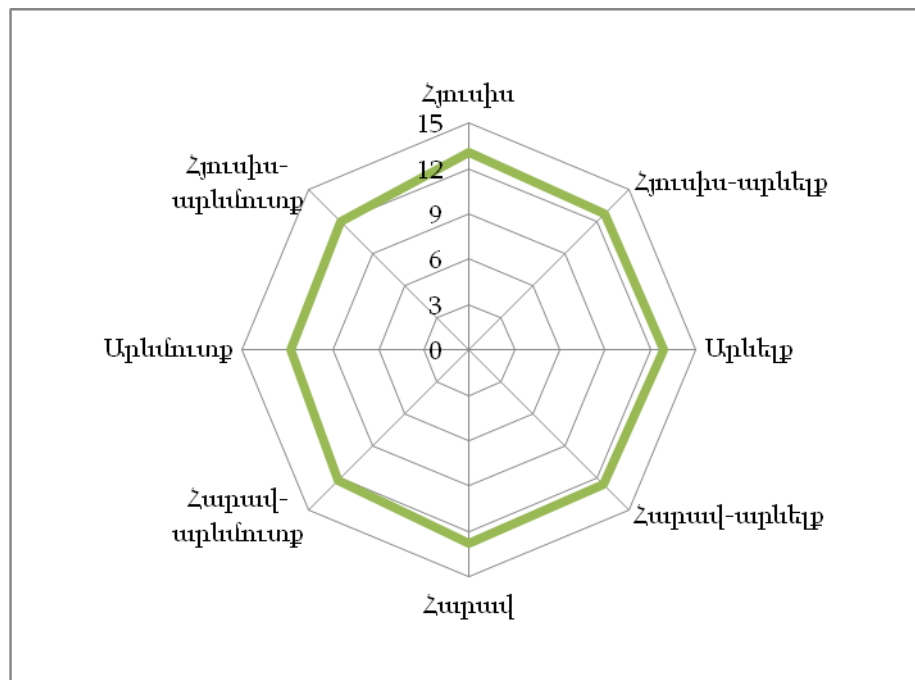
Նկ. 21 Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևույթի կողմնադրությունների վարդ-դիագրամ

Ներքին լեռնաշղթաների շրջանում հարավահայաց կողմնադրության լանջերի առավելությունը շատ մեծ է: Դրանց մասնաբաժինը այստեղ կազմում է 53.7 %: Ինչպես և արտաքին լեռնաշղթաների շրջանում, այստեղ նույնպես նվազագույն տարածք են

գրադեցնում $0^{\circ} - 67.5^{\circ}$ և $292.5^{\circ} - 360^{\circ}$ կողմնադրության արժեք ունեցող լանջերը՝ մոտ 10 %:



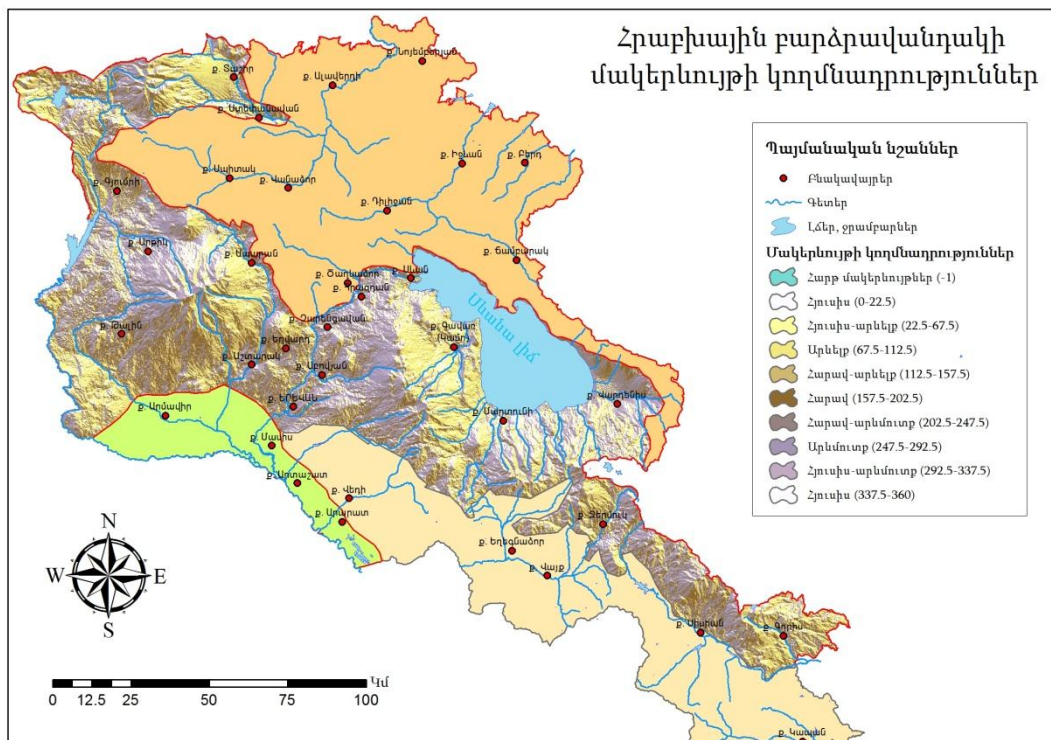
Նկ. 22 Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևույթի կողմնադրությունների քարտեզ



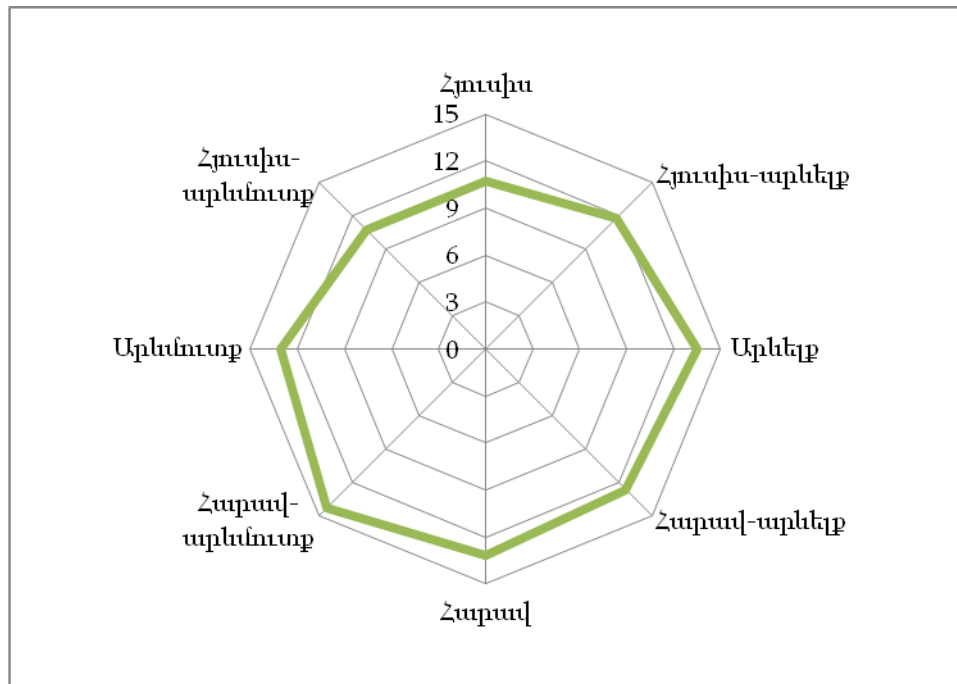
Նկ. 23 Հրաբխային բարձրավանդակի մակերևույթի կողմնադրությունների վարդ-դիագրամ

Հրաբխային բարձրավանդակ: Հրաբխային բարձրավանդակում հարաբերական հավասարություն է նկատվում բոլոր կողմնադրության լանջերի միջև՝ «սառը» լանջերի թեթևակի առավելությամբ (Նկ. 23, Նկ. 24): Նման հավասարությունը տրամաբանականորեն բացատրվում է տեղական ռելիեֆի հրաբխային բնույթով: Որպես կանոն, ռելիեֆի հրաբխային ձևերն ունեն թույլ մասնատվածություն, ինչը և կարող է պատճառ հանդիսանալ բոլոր կողմնադրությունների հաճախականությունների միջև առկա հարաբերական հավասարությանը:

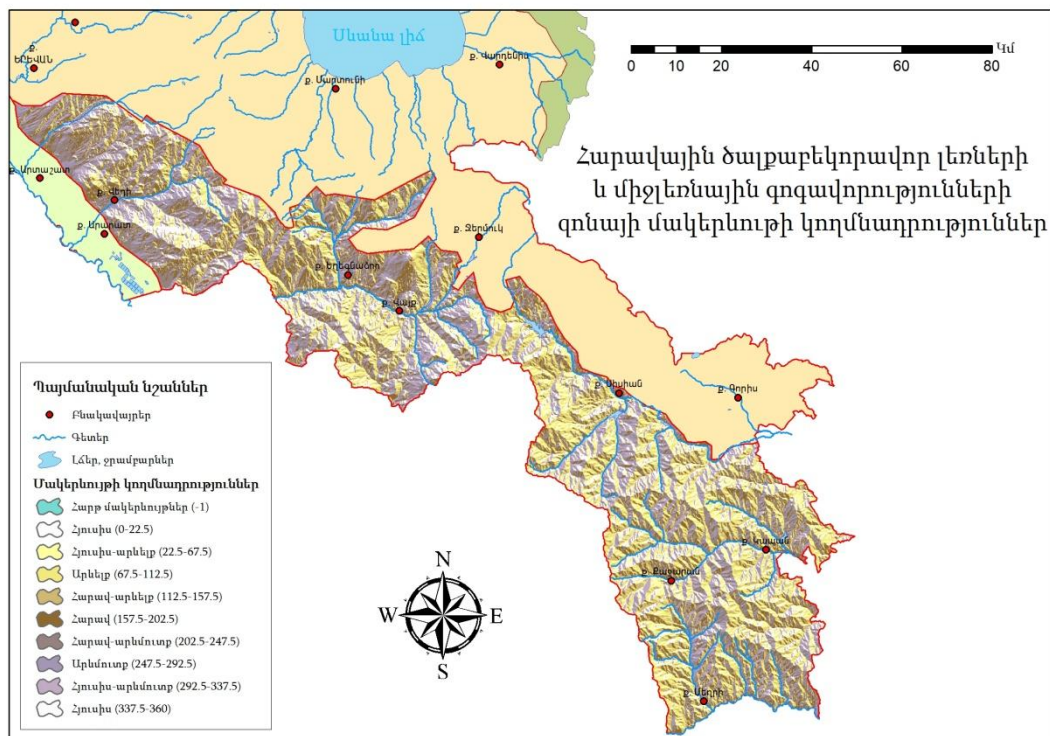
Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա: Այս զոնան, ինչպես Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնան, աչքի է ընկնում հարավահայաց կողմնադրության լանջերի գերիշխմամբ: Երկու զոնաների կողմնադրությունների հաճախականության վարդ-դիագրամները գրեթե միանման են: Այստեղ ևս գերակշռում են հարավ-արևելյան և հարավ-արևմտյան լանջերը (Նկ. 25, Նկ. 26):



Նկ. 24 Հրաբխային բարձրավանդակի մակերևույթի կողմնադրությունների քարտեզ



Նկ. 25 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևույթի կողմնադրությունների վարդ-դիագրամ



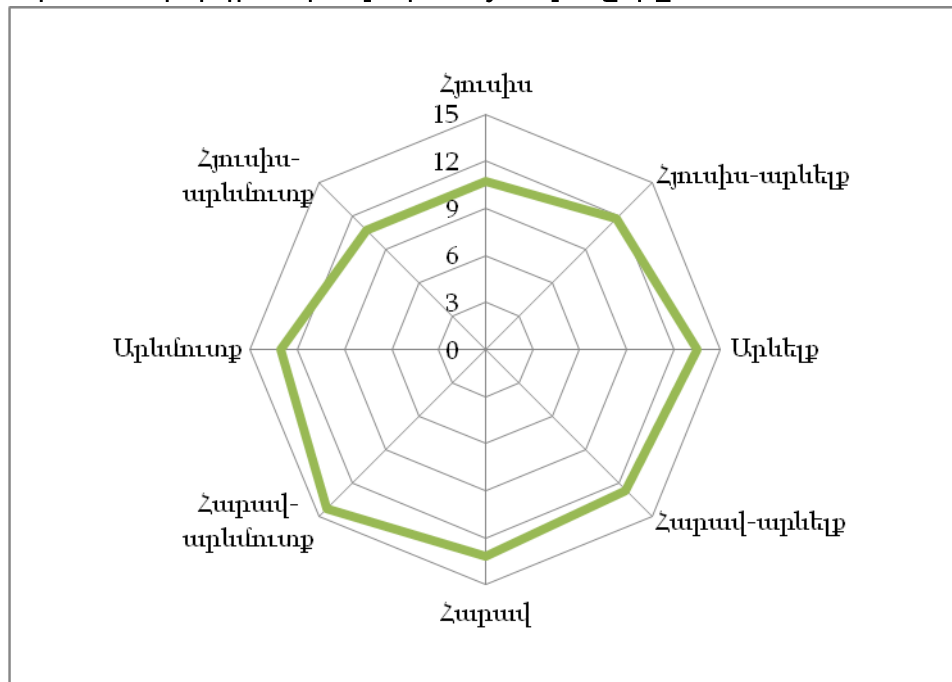
Նկ. 26 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայի մակերևույթի կողմնադրությունների քարտեզ

Հարավահայաց կողմնադրությունների նման գերիշխումը ծալքաբեկորավոր զոնաներում կարող է բերել, օրինակ, ձնհալքի ավելի կարճ ժամանակահատվածի և

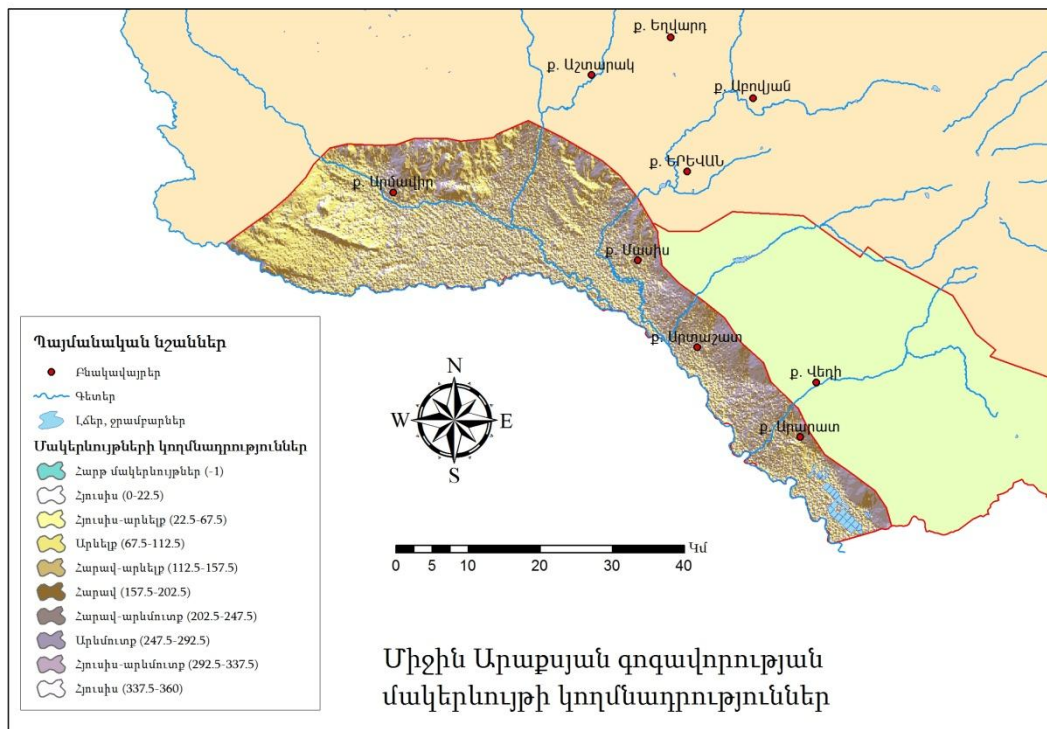
ավելի փոքր ստորերկրյա հոսքի: Բացի այդ հարավահայաց լանջերի սելավային պրոցեսների հավանականությունը շատ ավելի բարձր է:

Միջին Արաքսյան գոգավորություն: Միջին Արաքսյան գոգավորությունը աչքի է ընկնում հարավային ու հարավ-արևմտյան (157.5° - 247.5°) և հարավային ու հարավ-արևելյան (112.5° - 157.5°) ռումբերի միջև ընկած կողմնադրությամբ լանջերի գերկշռմամբ (Նկ. 27, Նկ. 28):

Սակայն Արարատյան դաշտի հյուսիսային հատվածին նշված օրինաչափությունը այդքան էլ հատուկ չէ: Այն հիմնականում վերաբերվում է դաշտի հարավային հատվածների (ընդամենը 37 % մնացած բոլոր ռումբերի մասնաբաժինը): Հարավային և արևմտյան ու հարավային և արևելյան ռումբերի միջև ընկած միջակայքերում կողմնադրությունների արժեքներով լանջերի նմանատիպ գերիշխումը պայմանավորված է նրանով, որ Միջին Արաքսյան գոգավորության սահմաններում են տեղակայված Արագածի հարավային նախալեռնային լանջերը, Գեղամա լեռների և Ուրծ-Երանոսի համակարգի հարավ-արևմտյան լանջերը:



Նկ. 27. Միջին Արաքսյան գոգավորության մակերևույթի կողմնադրությունների վարդ-դիագրամ

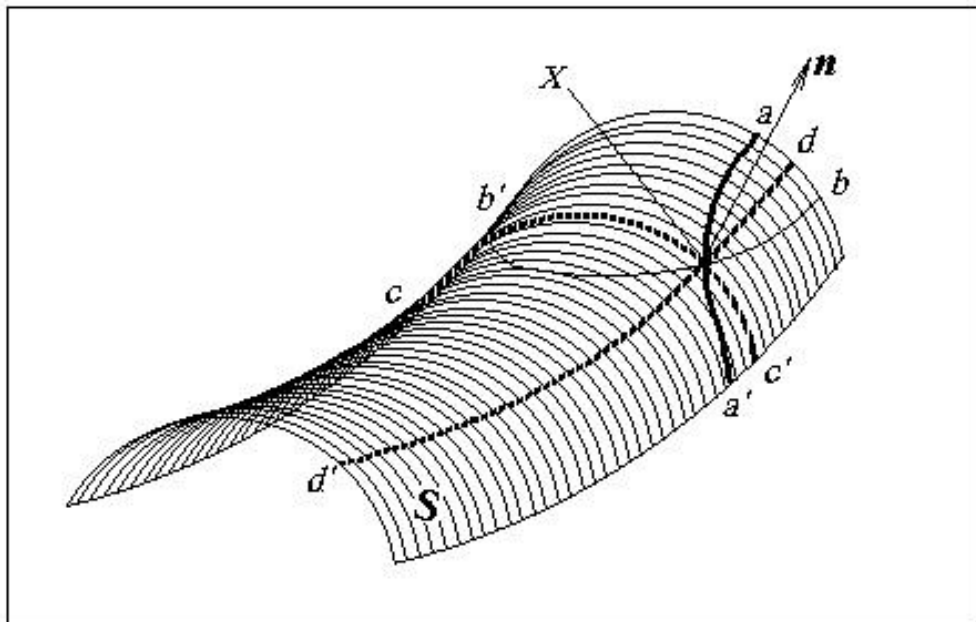


Նկ. 28 Միջին Արաքսյան գոգավորության մակերևույթի կողմնադրությունների քարտեզ

3.2.4 Պլանային և պրոֆիլային կորություններ

Կորությունների երկրաչափական իմաստը հասկանալու համար օգտակար է դիտարկել մակերևույթների՝ դիֆերենցիալ երկրաչափությունից հայտնի «մակերևույթների նորմալ հատում» հասկացությունը: Այս առումով հատկապես ուսանելի է Պ. Շարիի ներկայացրած սխեման (Նկ. 29, [142, 143]): Ենթադրենք՝ ուղի S մակերևույթի նորմալի վեկտորն է X կետում: Այն կորությունը, որն առաջանում է ու նորմալով անցնող որևէ կամայական հարթության և S մակերևույթի հատմամբ, անվանվում է S մակերևույթի նորմալ հատում X կետում: Մակերևույթի ձև նպաստում է, որ դրա վրա՝ X կետում, հնարավոր բոլոր նորմալ հատումների միջից առանձնանում են երկու նորմալ հատումներ, որոնցից մեկի կորությունը առավելագույնն է (Նկ. 29 վրա cc'), իսկ մյուսինը՝ նվազագույնը (Նկ. 29 վրա dd'): Հավելյալ, գրավիտացիոն դաշտը նույն կետում առանձնացնում է ևս երկու այլ նորմալ հատումներ, որոնցից մեկը ունի ընդհանուր շոշափող հորիզոնականի հետ (Նկ. 29 վրա bb'), և մյուսը դրան ուղղահայաց, որի երկայքնով հոսում է ջուրը (Նկ. 29 վրա aa'):

Վերջին նորմալ հատումների կորություններն էլ հենց պլանային և պրոֆիլային կորություններն են: Առաջին երկու նորմալ հատումների կորություններն էլ հայտնի են որպես առավելագույն (c_{max}) և նվազագույն (c_{min}) կորություններ համապատասխանաբար: Համաձայն Պ. Շարիի c_{max} և c_{min} միջոցով հնարավոր է ռելիեֆի կատարային և լանջատակ (килевой) ձևերի քարտեզներ կառուցել [141], որոնք շատ օգտակար են լինամենտների, շրջանաջև կենտրոնական տիպի կառուցվածքների և կառուցվածքային երկրաբանության այլ տարրերի վերծանման և նույնականացման համար:



Նկ. 29 S մակերևույթի վրա բնականոն ձևով առանձնացվող չորս ուղղությունները: n-ը S մակերևույթի նորմալի վեկտորն է X կետում, aa' - սահքի գիծ, bb' - հորիզոնական, dd' , cc' - հիմնական նորմալ հատումներ

Երկրաչափորեն պլանային կորությունը (c_p) հորիզոնականների կորության աստիճանն է (Նկ. 30): Պլանային կորության չափման միավորը՝ $1/m$ -ն է: Այն բացասական է, երբ մակերևույթը գոգավոր է, դրական է, երբ մակերևույթը ուռուցիկ է և հավասար է 0-ի ուղիղ հորիզոնականների դեպքում: Գեոմորֆոլոգիայում պլանային կորությանը անվանում են լանջի երկայնակի պրոֆիլի կորություն [119, 165]:

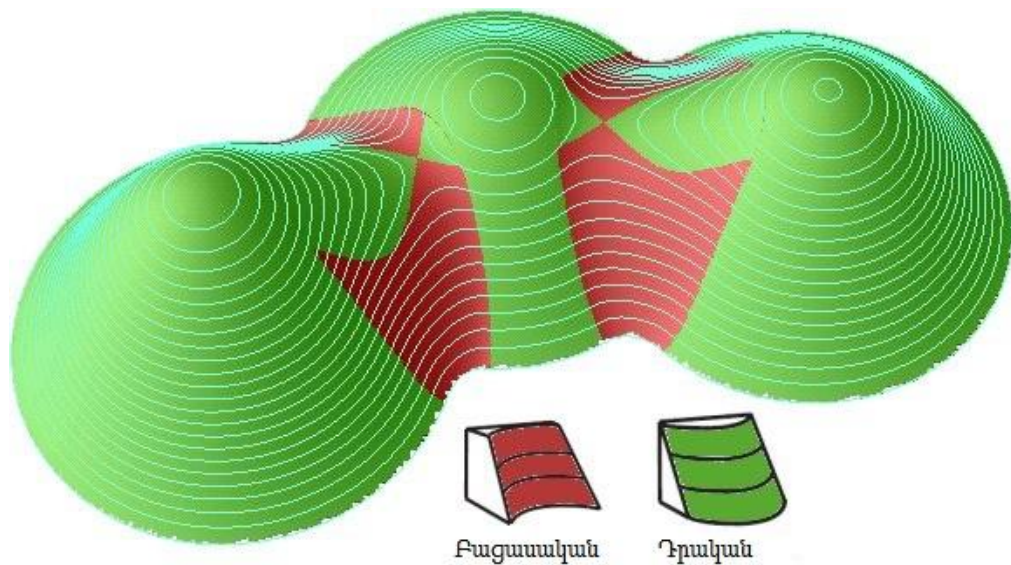
Պլանային կորության քարտեզը որոշում է այն տարածքները, որտեղ տեղի է ունենում նյութի կոնվերգենցիա (նյութի հոսքի կոնցենտրացիա) և նյութի դիվերգենցիա (հոսքի ցրում), ըստ էության, որոշում է տարածքի՝ էրոզիայի տեսանկյունից

վտանգավոր և անվտանգ զոնաները: Պլանային կորությունը հաշվարկվում է ըստ հետևյալ բանաձևի (բանաձևի բացատրությունը գլուխ 1.6)՝

$$cp = -(q^2r - 2pqs + p^2t) / (p^2 + q^2)^{3/2} :$$

Ապացուցված է, որ cp -ն բացասական է, երբ հոսքի գծերը միմյանց մոտենում են, և դրական է, երբ՝ հեռանում են [141]:

Պլանային կորության արժեքները ածանցվել են SRTM ՌԹՄ-ից Հայաստանի ամբողջ տարածքի համար (Նկ. 31): Սակայն արժեքների տարածական տեղաբաշխման վերլուծության համար անհրաժեշտ է կառուցել տվյալ մեծության սանդղակ:



Նկ. 30 Պլանային կորության սխեմատիկ մոդել (աղբյուրը http://www.ianko.com/ET_Surface/userguide/Raster/ETG_RasterCurvature.htm)

Երկրաչափորեն պրոֆիլային կորությունը (cv) հոսքի հետագծի ուղղության երկայքով անցկացված պրոֆիլի գծի կորության աստիճանն է (Նկ. 32): Գեոմորֆոլոգիայում այն լանջի լայնակի կտրվածքի կորությունն է: Դրա չափման միավորը՝ $1/մ$ -ն է: Այն բացասական է, երբ նորմալ հատման գոգավորությունը ուղղված է դեպի վեր, և բացասական է՝ հակառակ դեպքում: Դրա արժեքը հավասար է զրոյի լանջի ուղղագիծ պրոֆիլի համար [119, 165]:

Աշխատանքում պրոֆիլային կորությունը հաշվարկվում է ըստ հետևյալ բանաձևի միջոցով (բացատրությունը գլուխ 1.6)՝

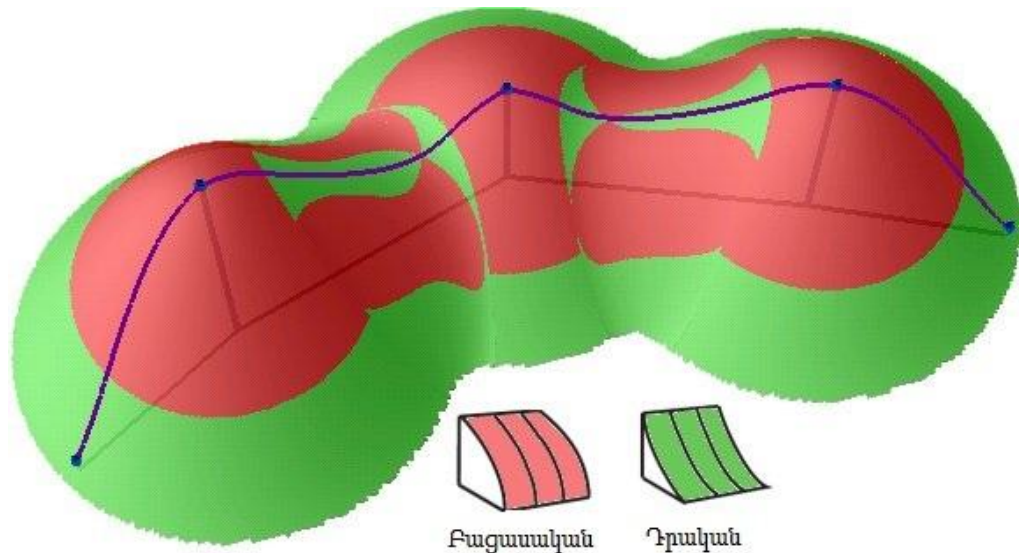
$$cv = -(p^2r + 2pqs + q^2t) / [(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}] :$$



- Բնակավայրեր
- Գետեր
- Լճեր, ջրամբարներ
- Պլանային կորություններ
- Ուռուցիկ
- Հարթ
- Գոգավոր

72

Ըստ էության, պրոֆիլային կորությունը կարող է բնութագրել ծանրության ուժի բաղադրիչը լանջի երկայնքով, հետևաբար, նաև լանջի մակերևույթով նյութի տեղաշարժման արագությունը՝ ջրբաժանից դեպի լանջի ստորոտ ուղղությամբ:



Նկ. 32 Պրոֆիլային կորության սխեմատիկ մոդել (աղբյուրը http://www.ianko.com/ET_Surface/userguide/Raster/ETG_RasterCurvature.htm)

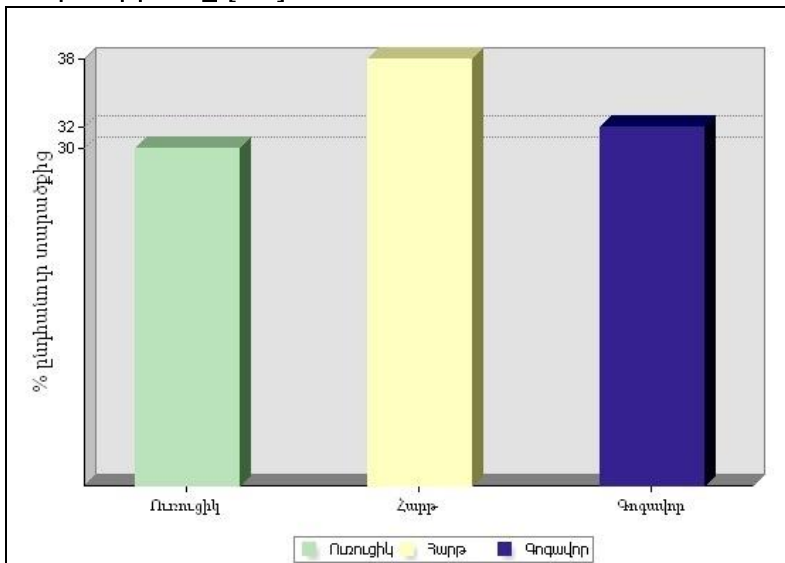
Այսպիսով, այն հանդիսանում է ռելիեֆի բավական կարևոր քանակական ցուցանիշ: Քանի որ, հաշվարկելով այն և կառուցելով համապատասխան քարտեզ, հնարավոր է տարածքների համար առանձնացնել դենուդացիայի և ակումուլյացիայի զոնաները:

ԱՏՀ փաթեթներում պրոֆիլային կորության արժեքը բացասական է լանջի գոգավոր հատվածներում և դրական՝ ուռուցիկ հատվածներում: Այն հավասար է զրոյի ուղիղ (հարթ) մակերևույթների համար: Պրոֆիլային կորության արժեքները ևս ածանցվել են SRTM ՌԹՄ-ից Հայաստանի ամբողջ տարածքի համար (Նկ. 34):

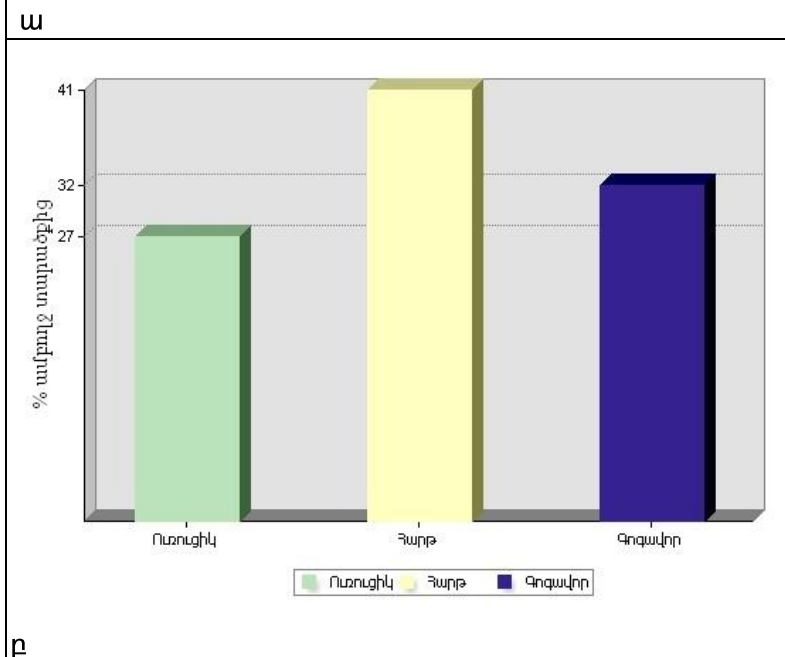
Քանի որ, ռելիեֆում և պլանային, և պրոֆիլային կորությունների ձևավորման վրա ազդեցություն են ունենում միևնույն ռելիեֆագոյացնող էնդոգեն և էկզոգեն պայմանները, մենք որոշել են դրանց աշխարհագրական տեղբաշխման վիճակագրական վերլուծությունն իրականացնելիս չտարանջատել միմյանցից:

Գրականության մեջ տարածքի ուռուցիկության և գոգավորության աստիճանը սովորաբար չի գնահատվում, և որպես կանոն, բնութագրվում է միայն որակական մակարդակում՝ մորֆոգրաֆիայի տեսանկյունից ուռուցիկ, գոգավոր կամ ուղիղ (հարթ)

մակերևույթներ: Իհարկե, բնության մեջ, բացարձակ հարթ մակերևույթներ չեն հանդիպում, ուստի «ուղիղ (հարթ) մակերևույթ» հասկացությունը հարաբերական է: Աշխատանքում, ըստ c_p և c_v արժեքների, առանձնացվում են գոգավոր և ուռուցիկ մակերևույթներ, ինչպես նաև պայմանական հարթ մակերևույթներ, որոնց կորության արժեքները երկու կորությունների դեպքում էլ փոփոխվում են – 0.05-ից 0.05-ի միջակայքում: Համաձայն Գաուսի ստատիստիկ հիպոթեզի՝ Երկրի մակերևույթի այն ձևերը, որոնց համար համար c_p -ն և c_v -ն դրական են, զբաղեցնում են յուրաքանչյուր տարածքի $1/2$ -ը [88]:



Նկ. 33 ՀՀ տարածքի մակերևույթի
ա) պլանային և բ) պրոֆիլային
կորությունների տարածական
տեղաբաշխման
հաճախականության
հիստոգրամներ





Նկ. 34 ՀՀ տարածքի մակերևույթի պրոֆիլային կորությունների քարտեզ

Սակայն Հայաստանի տարածքում երկու կորությունների դեպքում էլ համեմատաբար հարթ տարածքները ($-0.05 - 0$ և $0 - 0.05$ միջակայքերում)

գերազանցում են ուռուցիկ և գոգավոր տարածքներին: Պետք է նշել, որ հարթ տարածքների նման առավելությունը պայմանավորված է ՀՀ տարածքում առկա համամատաբար ընդարձակ Արարատյան դաշտի հաշվին: Սակայն, եթե հարթ տարածքների համար արժեքը վերցնենք 0 կամ մոտ 0-ին, ապա դրանց տեղաբաշխման հաճախականության մասնաբաժինը ներկայացվածից զգալիորեն փոքր կլինի:

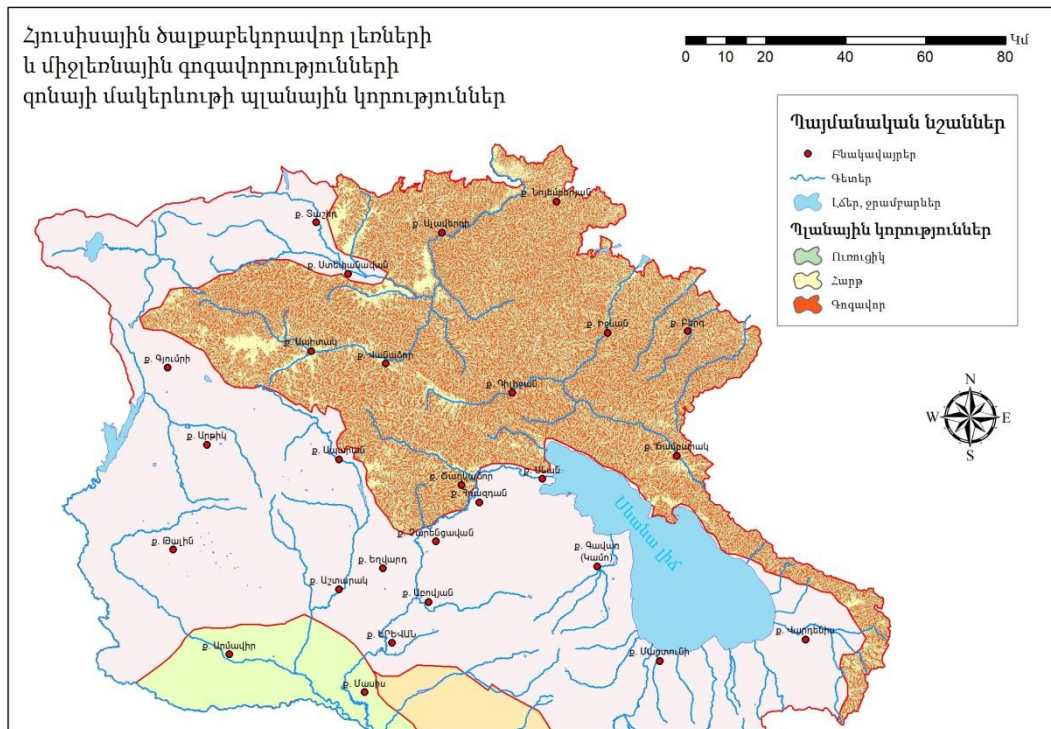
Պլանային կորությունների դեպքում գոգավոր և ուռուցիկ լանջերը ՀՀ տարածքում տեղաբաշխված են գրեթե հավասարաչափ: Դրանց մասնաբաժինը կազմում են շուրջ 32% և 30% համապատասխանաբար (Նկ. 33): Պրոֆիլային կորությունների դեպքում պատկերը մի փոքր այլ է, այստեղ գոգավոր լանջերի մասնաբաժինը նույնպես մոտ 32 % է, իսկ ահա ուռուցիկ լանջերինը ընդամենը 27%:

Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա (Նկ. 35): Ինչպես մակերևույթի թեքությունների դեպքում (տես գլուխ 2.2.2)՝ այս զոնայի ամբողջ տարածքում կորությունների արժեքները բավականին բարձր են: Պլանում գոգավոր ձև ունեցող մակերևույթները գերազանցում են ուռուցիկ մակերևույթներին մոտ 3%-ով, իսկ պրոֆիլային կորությունների դեպքում գոգավոր մակերևույթների առավելությունը ուռուցիկների նկատմամբ ավելի շոշափելի է և հասնում է մոտ 5 % (Նկ. 36): Նման պատկերը ամբողջովին համապատասխանում է ռելիեֆի դենուդացիոն-էրոզիոն առանձնահատկություններին, որին բնորոշ են խիստ մասնատված լեռնային համակարգեր և խոշոր միջլեռնային գոգավորություններ (Փամբակ, Ձորագետ, Դեբետ, Աղստև):

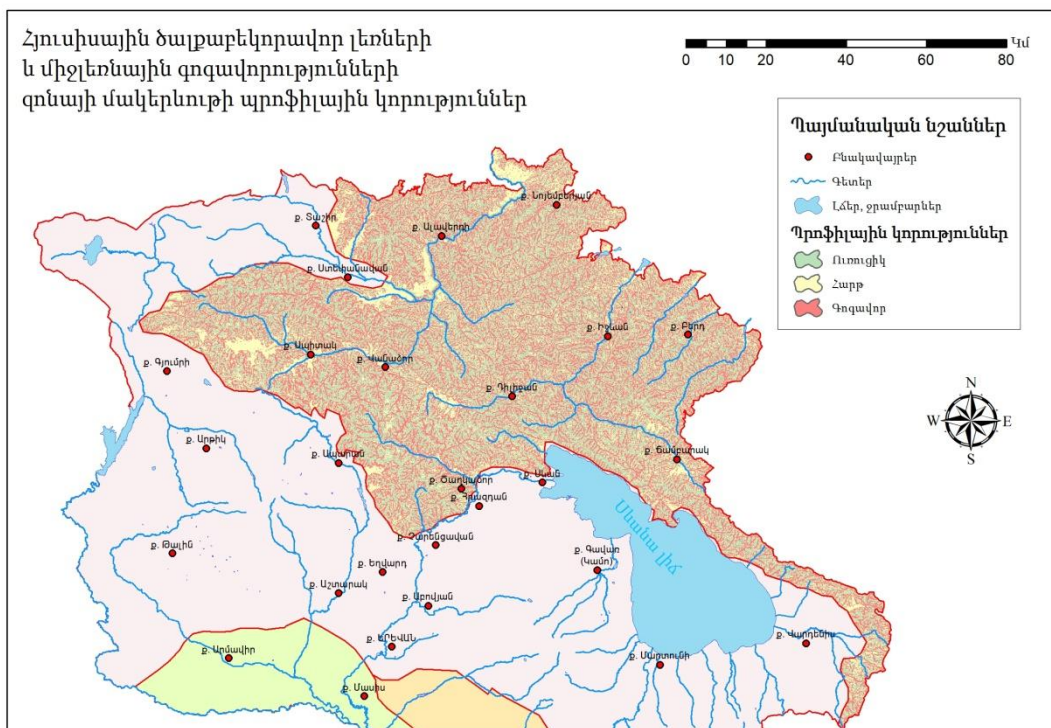
Ընդհանուր առմամբ կորության դեպքում ուռուցիկ մակերևույթները հիմնականում զբաղեցնում են լանջերի վերին մերձջրբաժային հատվածները, իսկ գոգավոր՝ լանջերի ստորին մասերը: Պայմանական հարթ մակերևույթները հիմնականում ներկայացված են խոշոր գետահովիտների հատակային հարթ հատվածներով (Վերին Փամբակի գոգավորություն), վերողողատային տերասներով, տեղ-տեղ պլիոցենյան միջլեռնային լավային սարավանդներով (Օձունի սարավանդ):

Ջրբաժանային հատվածներում՝ հատկապես զոնայի կենտրոնական և հարավային շրջաններում, որտեղ էրոզիան թափանցում է միայն գետերի վերին

հովիտների և դրանց վտակների միջոցով, մասնատվածությունը թույլ է արտահայտված:

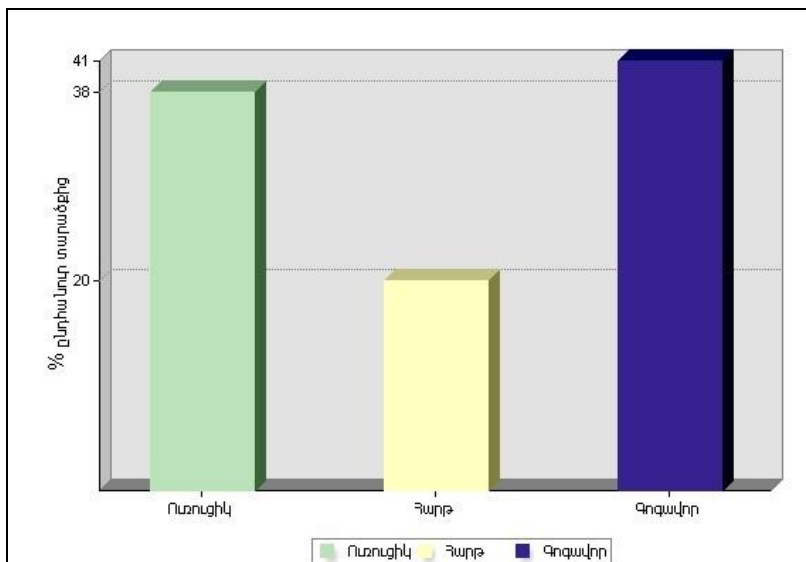


ա



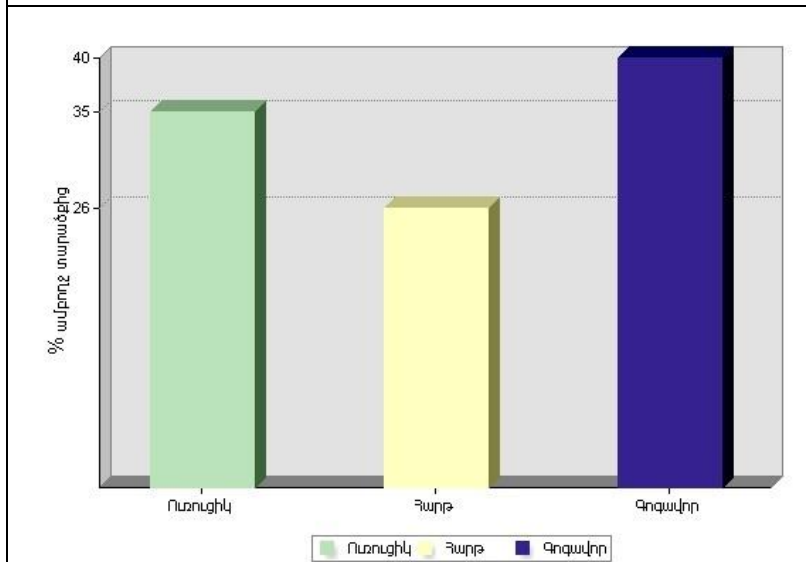
բ

Նկ. 35 Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների
զոնայի մակերևութի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների քարտեզ



Նկ. 36 Հյուսիսային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայում մակերևութի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

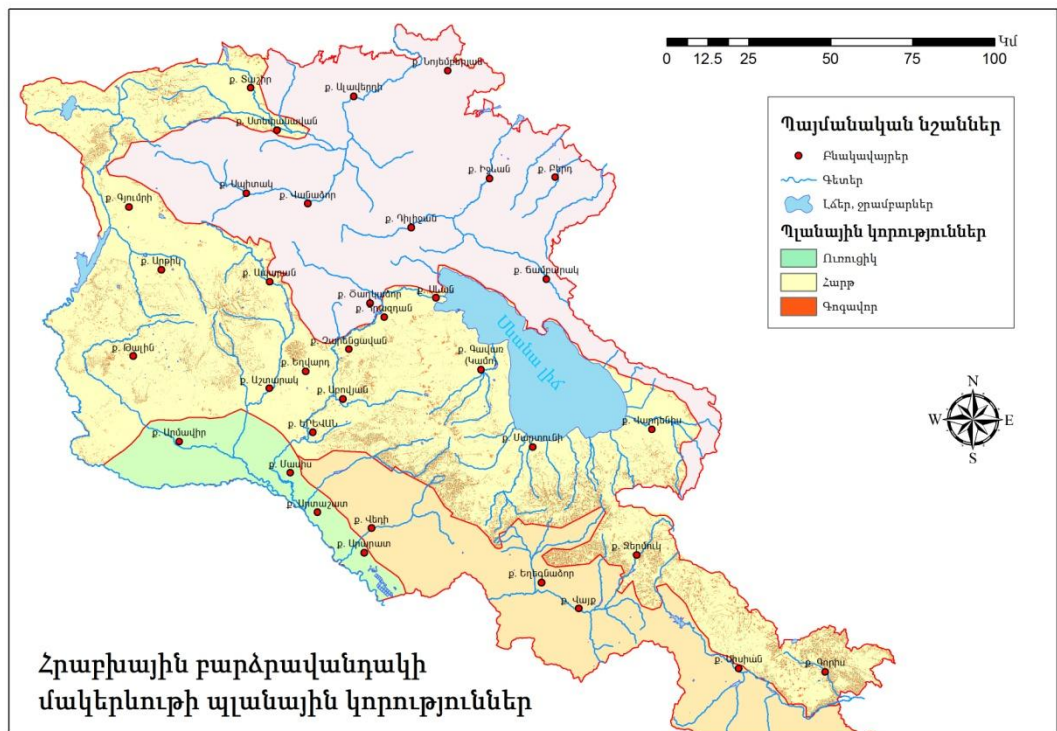
ա



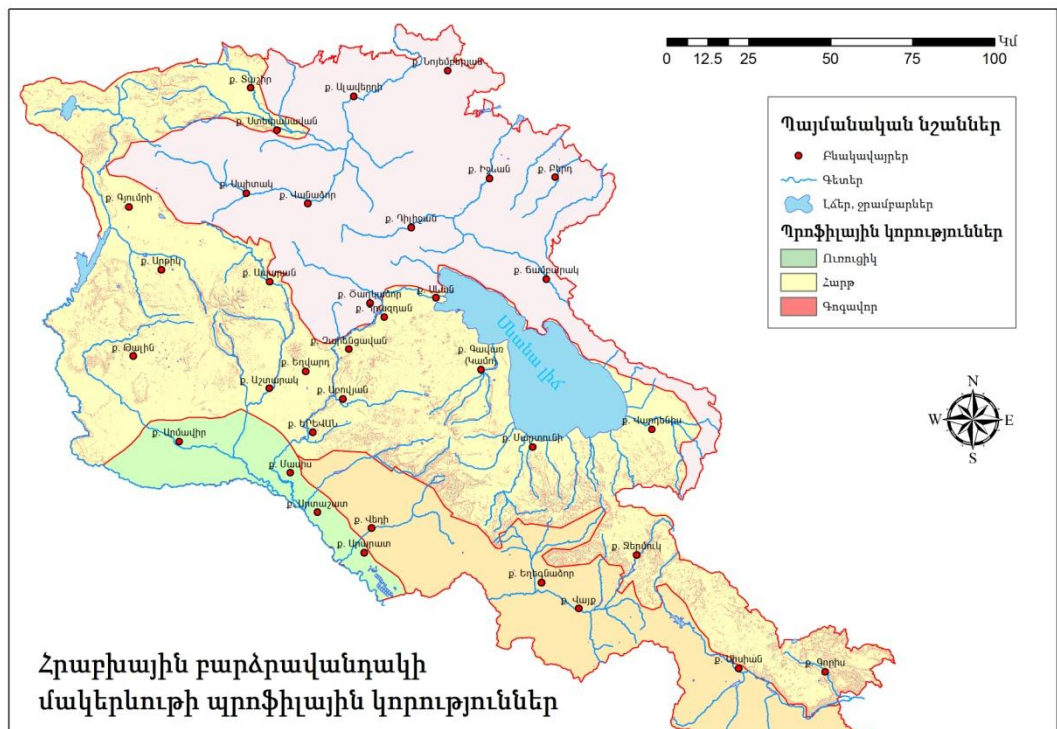
բ

Այստեղ զարգացած են մնացորդային համահարթեցման մակերևույթները, որոնք ջրբաժանային ռելիեֆին առավել մեղմ ուրվագծեր են հաղորդում: Սակայն հարթ մակերևույթների տեսակարար կշիռը չի գերազանցում 20%:

Հրաբխային բարձրավանդակ (Նկ. 37): Հրաբխային բարձրավանդակի զոնայում պլանային և պրոֆիլային կորությամբ մակերևույթների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամները գրեթե միանման են: Եվ պլանային և պրոֆիլային կորությունների քարտեզներում պայմանական հարթ տարածքները զբաղեցնում են տարածքի կեսից ավելին (Նկ. 38):

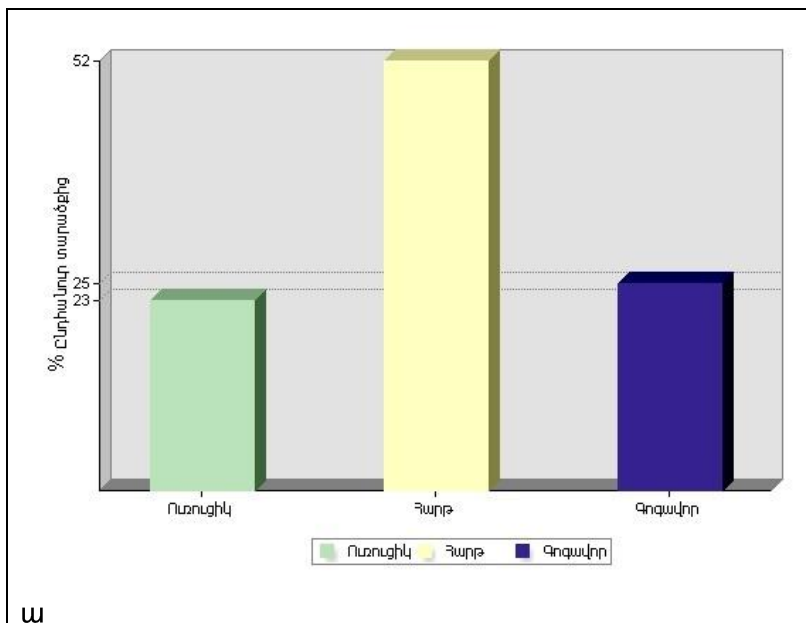


ա

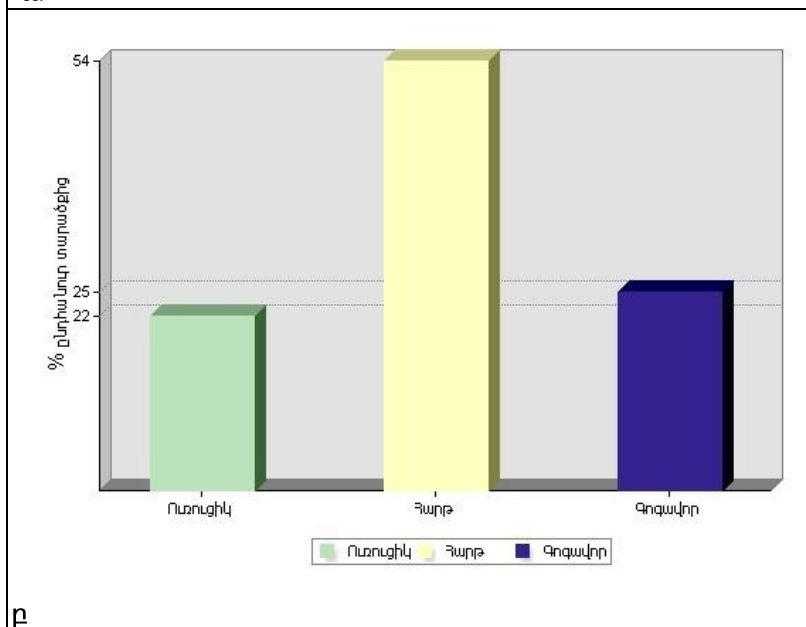


բ

Նկ. 37 Հրաբխային բարձրավանդակի մակերևույթի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների քարտեզ

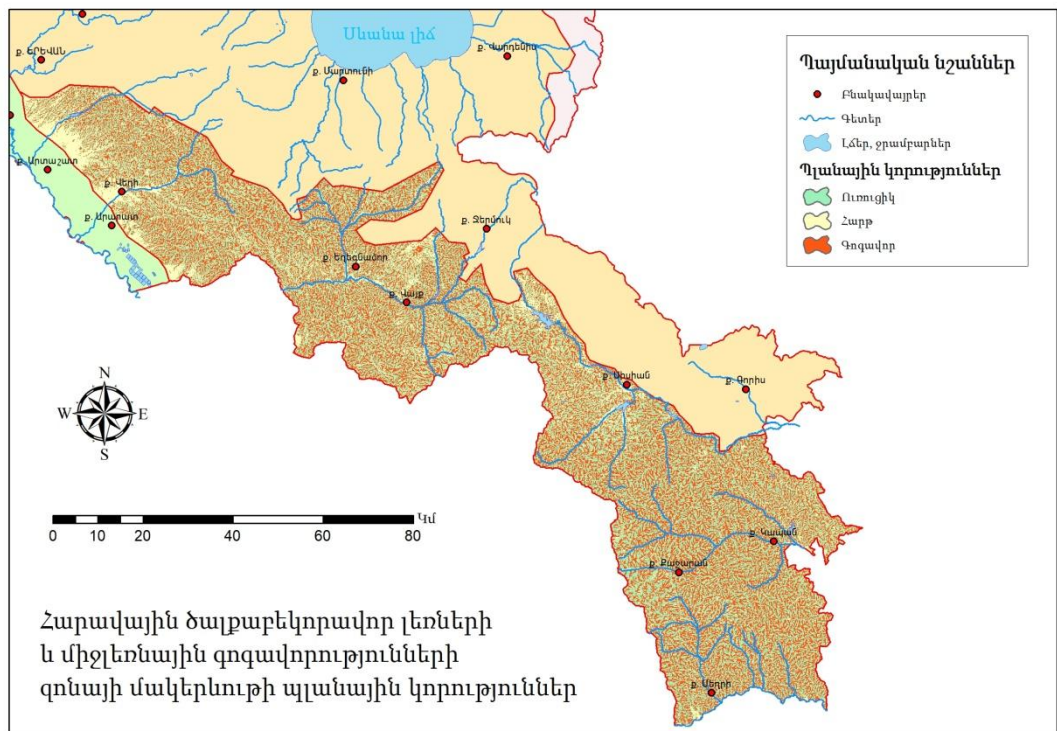


Նկ. 38 Հրաբխային բարձրավանդակում մակերևութի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

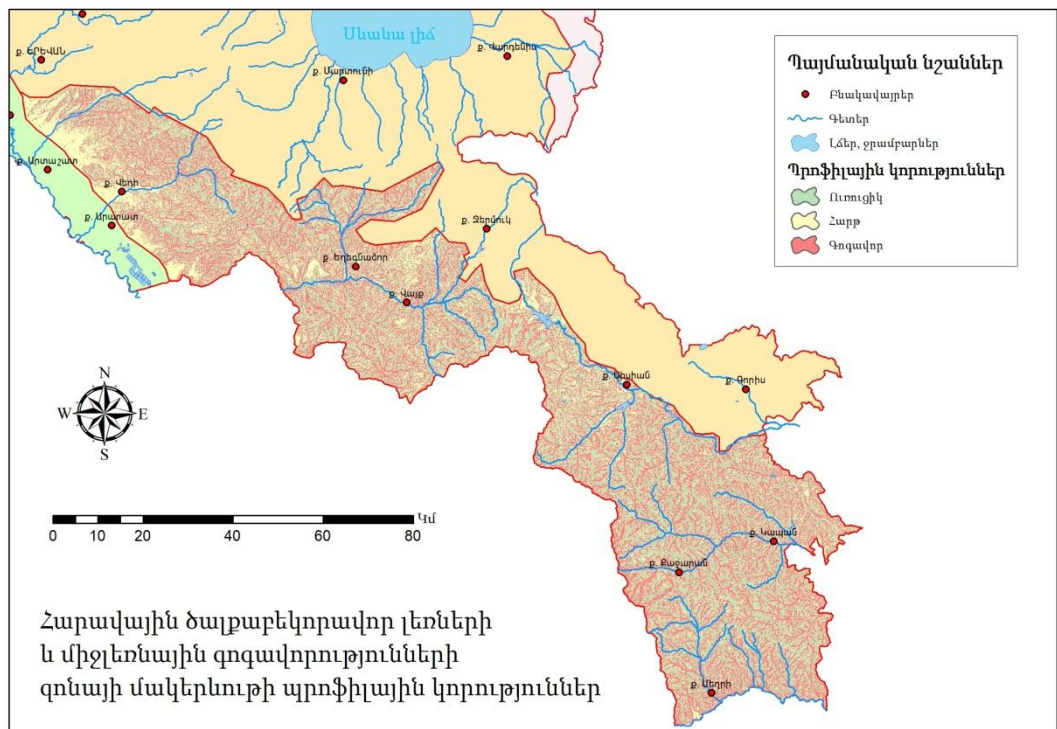


Դրան նպաստում է, իհարկե առաջին հերթին երիտասարդ հրաբխականության արգասիք հանդիսացող ռելիեֆի հարթ ձևերի՝ հրաբխային սարավանդների, լավային հոսքերի և ծածկոցների լայն տարածումը, և զոնայի համեմատաբար թույլ մասնատվածությունը: Բացի հրաբխային ձևերից, հարթ տարածքները ներկայացված են նաև ռելիեֆի՝ համեմատաբար խոշոր ակումուլյացիոն ձևերով, որոնցից առավել ընդարձակներն են Շիրակի և Մասրիկի դաշտերը:

Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնա (Նկ. 39): Տրամաբանականորեն այս զոնայում կորությունների տեղաբաշխման առանձնահատկությունները գրեթե նույնն են, ինչ Հյուսիսային լեռների զոնայում:

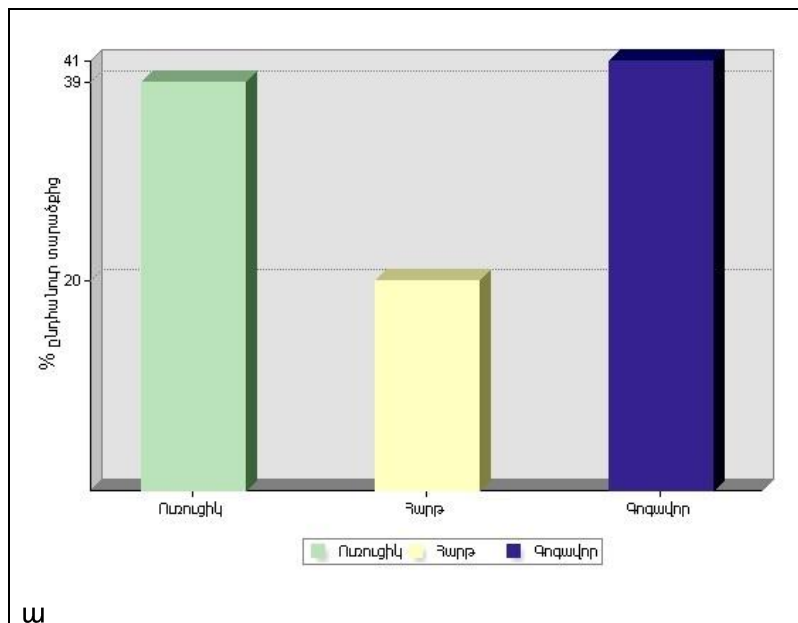


ա

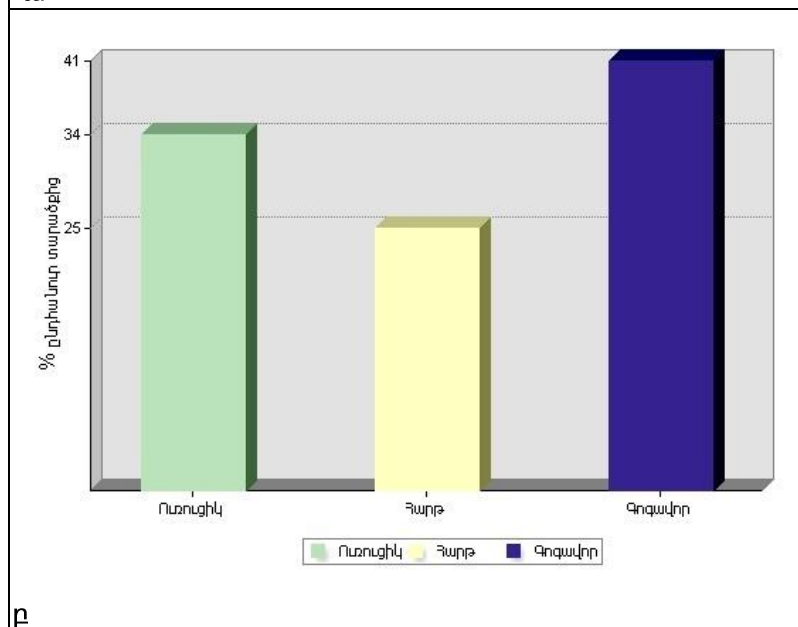


բ

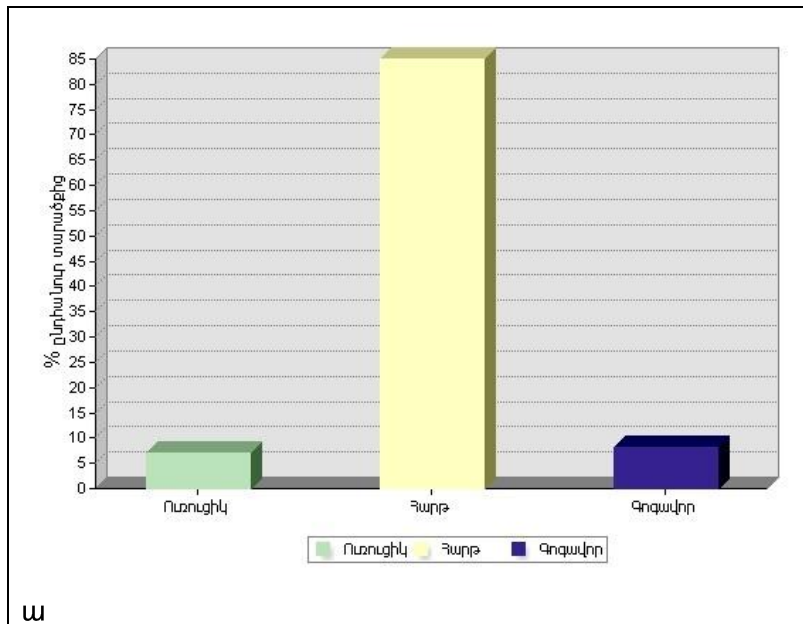
Նկ. 39 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների
զոնայի մակերևույթի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների քարտեզ



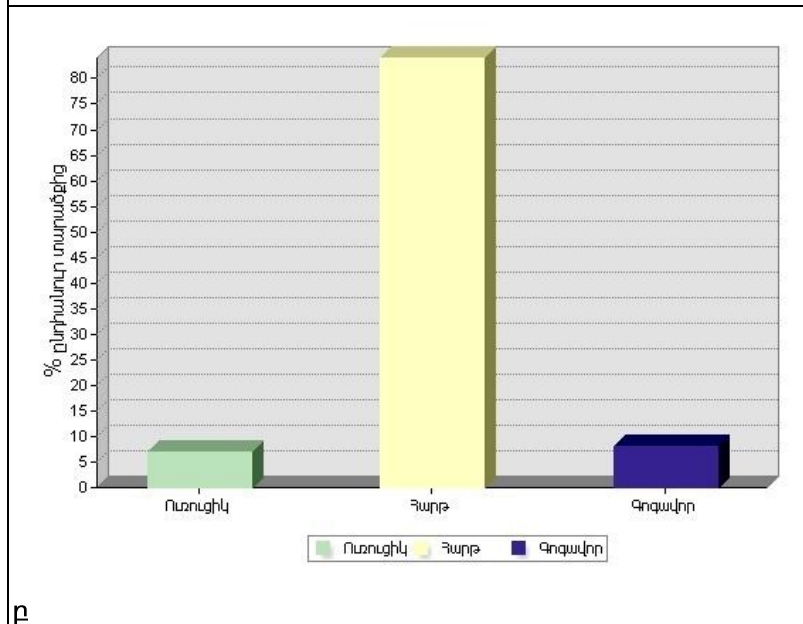
Նկ. 40 Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների և միջլեռնային գոգավորությունների զոնայում մակերևութի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ



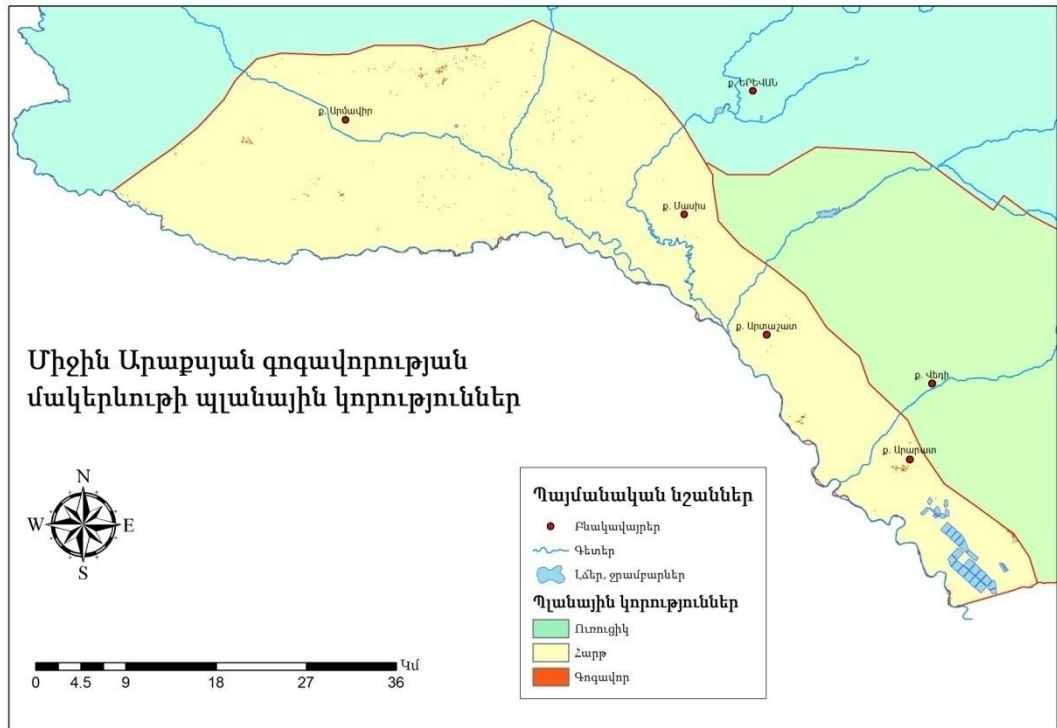
Պլանում գոգավոր և ուռուցիկ ձև ունեցող մակերևույթները գրեթե հավասարաչափ են տեղաբաշխված, իսկ պրոֆիլային կորությունների դեպքում գոգավոր մակերևույթների առավելությունն ուռուցիկների նկատմամբ հասնում է շուրջ 6 % (Նկ. 40): Այստեղ ևս էքստրեմալ (մեծ դրական և փոքր բացասական) արժեքների բարձր մասնաբաժինը պայմանավորված է դենուդացիոն-էրոզիոն խիստ մասնատված ռելիեֆի առանձնահատկությունների հետ: Եվ պլանում, և պրոֆիլում ուռուցիկ մակերևույթները ներկայացված են հիմնականում մերձջրբաժային զոնաներում և լանջերի վերին հատվածներում են, իսկ գոգավոր՝ լանջերի ստորին մասերում:



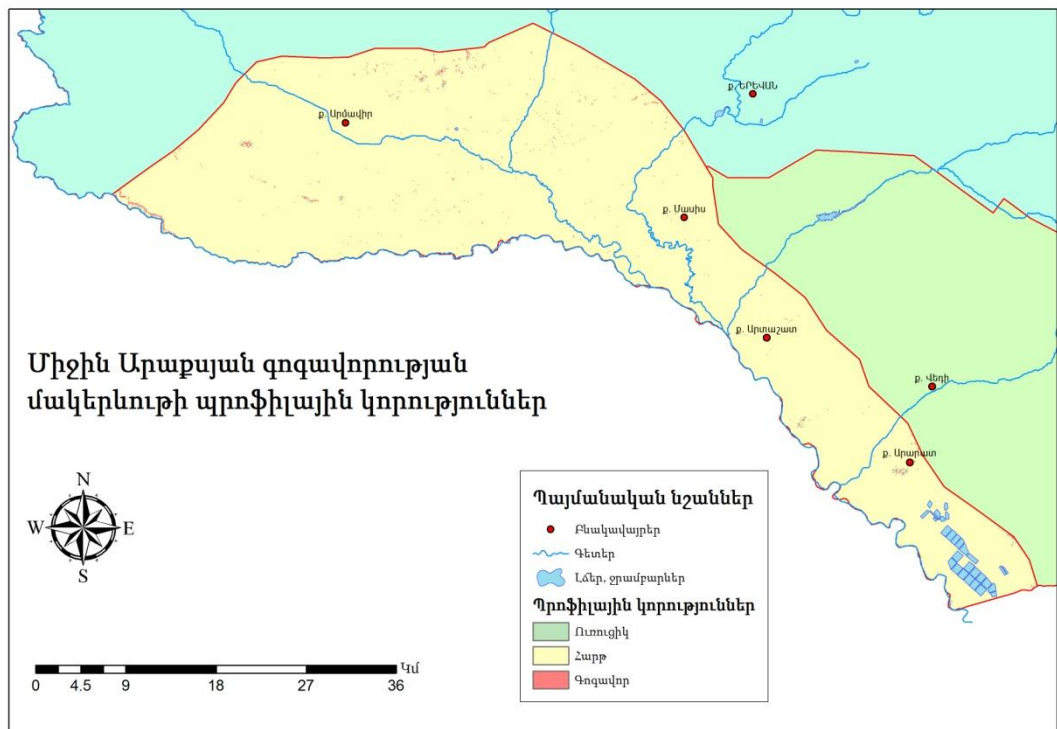
Նկ. 41 Միջին Արաքսյան գոգավորությունում ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների տարածական տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ



Մեծ մակերես ունեցող հարթ մակերևույթները հիմնականում գտնվում են զոնայի հյուսիսային՝ Արարատյան գոգավորությանը հարող հատվածում և ծայր հարավում՝ Արաքսի գետի ձախափնյա հատվածում: Դրանք հիմնականում իրենցից ներկայացնում են ռելիեֆի ակումուլյացիոն ձևեր՝ ալյուվիալ նստվածքներով լցված խոշոր գոգավորություններ, արտաբերման կոներ, վերողողատային տերասներ և այլն: Զարգացած են մնացորդային համահարթեցման մակերևույթները: Ընդհանուր առմամբ պլանում հարթ մակերևույթների տեսակարար կշիռը կազմում է ամբողջ տարածքի 20%, իսկ պրոֆիլում չի գերազանցում 25%:



ա



բ

Նկ. 42 Միջին Արաքսյան գոգավորության մակերևութի ա) պլանային և բ) պրոֆիլային կորությունների քարտեզ

Միջին Արաքսյան գոգավորություն (Նկ. 42): Չոնան բնութագրվում է հարթ լճա-գետային նստվածքներով լցված ռելիեֆով, որտեղ ակնհայտ գերակշռում են

պլանային և պրոֆիլային կորությունների 0-ին մոտ արժեքները (Նկ. 41): Պայմանական հարթ մակերևույթները զբաղեցնում են տարածքի 80%-ից ավելին: Էքստրեմալ արժեքներով կորություններ նկատվում են հիմնականում առանձին բլուրների լանջերին:

3.2.5 Հոսքի հետագծի երկարություն

Երկրաչափորեն հոսքի հետագծի երկարությունը սահմանվում է՝ որպես այն ճանապարհի երկարությունը, որը ջրբաժանից մինչ թալվեզ հաղթահարվում է մշտական կամ ժամանակավոր ջրահոսքի կողմից:

Հոսքի հետագծի երկարությունը բնութագրում է ջրբաժանից շարժման դեպքում նյութի հոսքի էներգիան, որն այն ունենում է շարժման հետագծի վերջին կետ (թավելզ) հասնելիս, և կարող է մեկնաբանվել՝ որպես լանջի իրական երկարություն: Դեռևս 1945թ. հոսքի հետագծի միջին երկարությունը (L) ներկայացվել է Հորթոնի կողմից որպես հարևան թալվեզների միջև եղած միջին հեռավորության կեսը, և հաշվարկվել հետևյալ բանաձևով՝

$$L=1/(2D),$$

որտեղ D-ն ավազանի մասնատման խտությունն է [99, 164]: Պետք է նշել, որ այս բանաձևի օգնությամբ ստացված արժեքները չափազանց մոտավոր են և չեն թույլատրում հստակորեն ստանալ լանջերի երկարության լոկալ տեղաբաշխման պատկերը: Ներկայումս գոյություն ունեն հոսքի հետագծի երկարության որոշման մի շարք մեթոդեր, որոնք իրենց արտացոլումն են գտել առանձին ծրագրային փաթեթներում (GRASS, SAGA) կամ մասնագիտական հավելվածներում (WhiteBox, Tapes-G) [86, 87, 118, 133]:

Մեր աշխատանքում հոսքի հետագծի երկարությունը տեխնիկապես հաշվարկվել է SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) ծրագրային միջավայրում [123], որում դրա հաշվարկի համար օգտագործվում է երկու մեթոդ՝ դետերմինիստական ալգորիթմը - Deterministic 8 (D8) [122] և բազմակի հոսքի ուղղության ալգորիթմը - Multiple Flow Direction (FD8) [86, 133] (Նկ. 43):

154	154	154	154	154	154
152	153	151	152	153	151
151	150	149	151	150	149

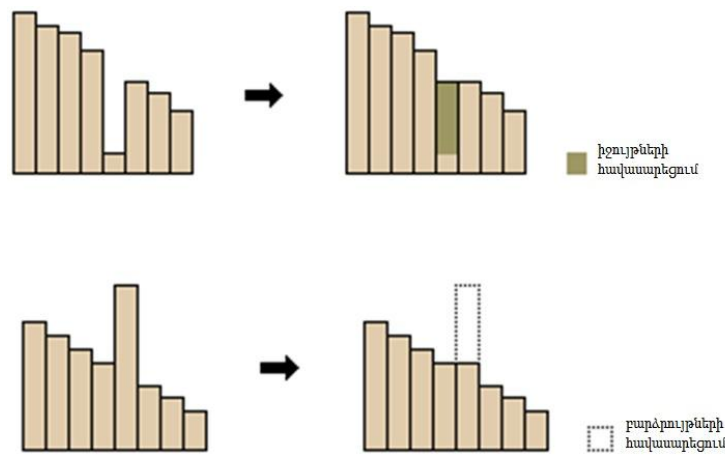
Նկ. 43 Հոսքի հետագծի երկարության հաշվարկման բազմակի հոսքի ուղղության (FD8, ձախ) և եզակի հոսքի ուղղության (D8, աջ) ալգորիթների գրաֆիկական տեսքը

Տվյալ ծրագրային փաթեթում հոսքի հետագծի հաշվարկման համար օգտագործվել է SRTM ՌԹՄ-ն ինչպես նաև ՀՀ մշտական հիդրոգրաֆիական ցանցի 1:200000 թվային շերտը և ՌԹՄ-ից ածանցված կողմնադրությունների շերտը:

Մեթոդապես հոսքի հետագծի հաշվարկը տեղի է ունենում հետևյալ կերպ. կանոնավոր ցանցի յուրաքանչյուր բջջից շարժվում ենք գրադիենտային դաշտի վեկտորին զուգահեռ՝ անցում կատարելով մի բջջից մյուսը, մինչև հասնելը ավազանի այն թափվեզին, որի մեջ լցվում է ջրահոսքը: Ընդ որում յուրաքանչյուր բջիջում գրանցվում է այն ճանապարհի երկարությունը, որն անց ենք կացրել մինչ այդ բջիջը հասնելը: Պետք է նշել, որ միևնույն բջջով հնարավոր է անցնել մի քանի անգամ: Այդ դեպքում գրանցվում է առավելագույն երկարությունը:

Անհրաժեշտ է նաև շեշտել, որ մինչ բուն հաշվարկը, ՌԹՄ-ի վրա իրականացվում է բոլոր լոկալ դեպրեսիաների (մեկ կամ մի քանի բջիջ չափսով փոսեր, իջույթներ և այլն) և բարձրացումների (մեկ կամ մի քանի բջիջ չափսով թումբեր և այլն) հարթեցում, որպեսզի խուսափենք հոսքի հետագծի դիսկրետացումից (Նկ. 44)

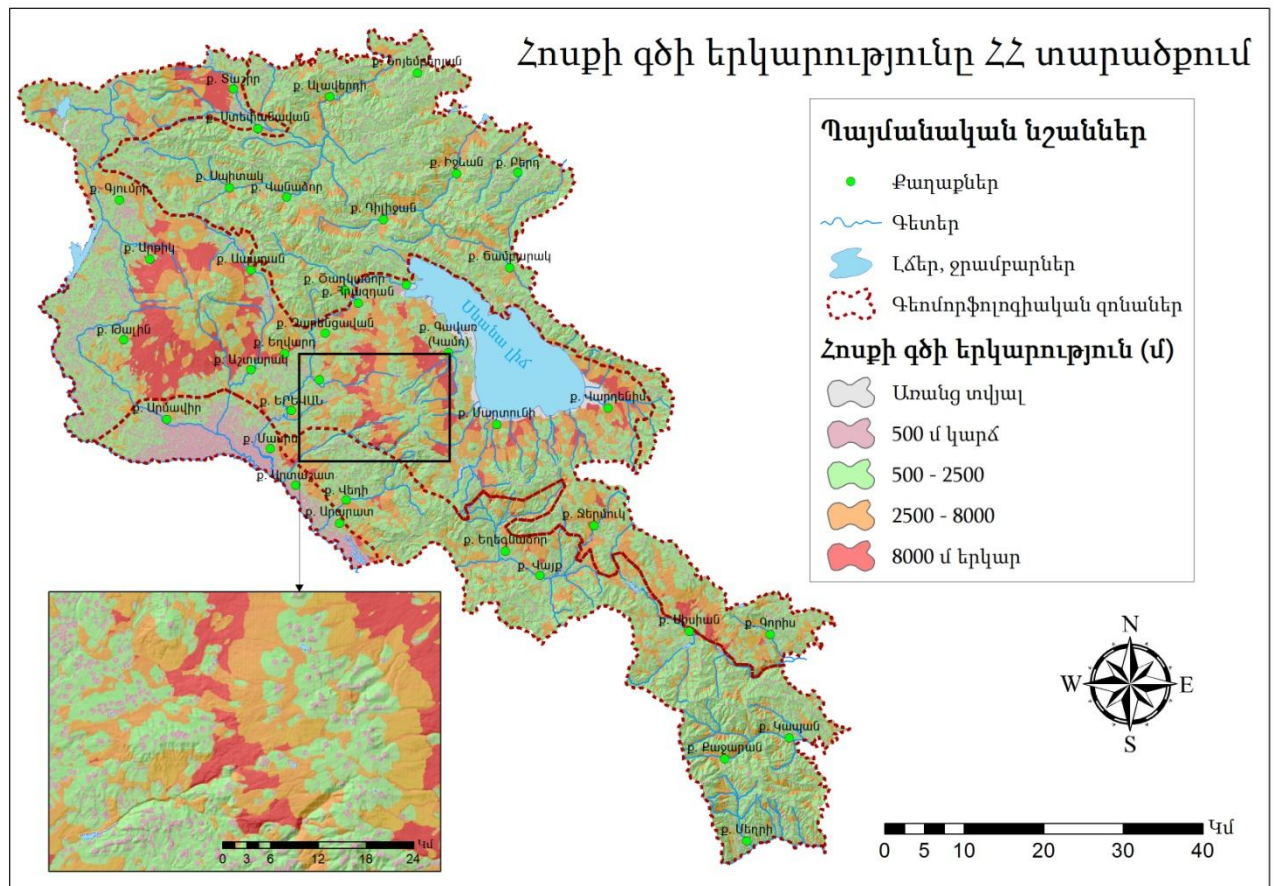
Մեր կողմից հաշվարկվել է հոսքի հետագծի երկարության կանոնավոր ցանցը ՀՀ ամբողջ տարածքի համար և կառուցվել է համապատասխան քարտեզ (Նկ. 45): Հետագա վերլուծության համար հոսքի հետագծի երկարությունը բաժանվել է 4 միջակայքի՝ 0-500 մ՝ կարճ լանջեր, 500-2500 մ՝ միջին երկարության լանջեր, 2500-8000 մ՝ երկար լանջեր, 8000 մ-ից ավել՝ հիմնական կամ ժամանակավոր հիդրոցանց, ինչպես նաև հավելյալ «առանց տվյալ» միջակայքը, հարթ տարածքներում աղավաղումներից զերծ մնալու համար:



Նկ. 44 ՌԹՄ մակերևույթի հարթեցման մեխանիզմը (սկզբնաղբյուրը՝ <http://desktop.arcgis.com/en/>)

Դասակարգման համար որպես հիմք ընդունվել է Լեոնտև-Ռիչագուվի լանջերի՝ ըստ երկարության դասակարգման սխեման [36]՝ ադապտացված ՀՀ ռելիեֆի առանձնահատկություններին և ելակետային ՌԹՄ լուծաչափին (հիշեցնենք որ SRTM ՌԹՄ համար այն հավասար է մոտ 90 մ): Մասնավորապես նպատակ ունենալով քարտեզի վրա առավել ցայտուն կերպով ընգծել մերձջրբաժանային հատվածները՝ որպես կարճ լանջերի միջակայք ընդունվել է 0-500 մ (այսինքն առավելագույնը մոտ 7 պիքսելի չափով):

Տեղաբաշխման հաճախականությունների հիստոգրամի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ՀՀ տարածքում ամենից մեծ տարածք զբաղեցնում են միջին երկարության լանջերը՝ 56%: Դրանք հիմնականում տարածված են ծալքաբեկորավոր լեռների զոնաներում: 2500 մ երկար լանջերը այս զոնաներում մեծ տարածքներ չեն զբաղեցնում, իսկ 8000 մ երկար լանջեր գրեթե չկան: Իսկ ահա հրաբխային բարձրավանդակում շատ ավելի տարածված են երկար և գերերկար լանջերը: Ընդհանուր առմամբ ամբողջ ՀՀ տարածքում այս լանջերի գումարային մասնաբաժինը չի գերազանցում 30%, սակայն դրանց հիմնական մասը տեղաբաշխված են հրաբխային բարձրավանդակում: Նման պատկերը ձևավորվում է երիտասարդ լավաների երկար հոսքերի շնորհիվ: Երկար լանջերով հատկապես աչքի են ընկնում Արագած զանգվածը, Գեղամա և Զավախքի լեռները:

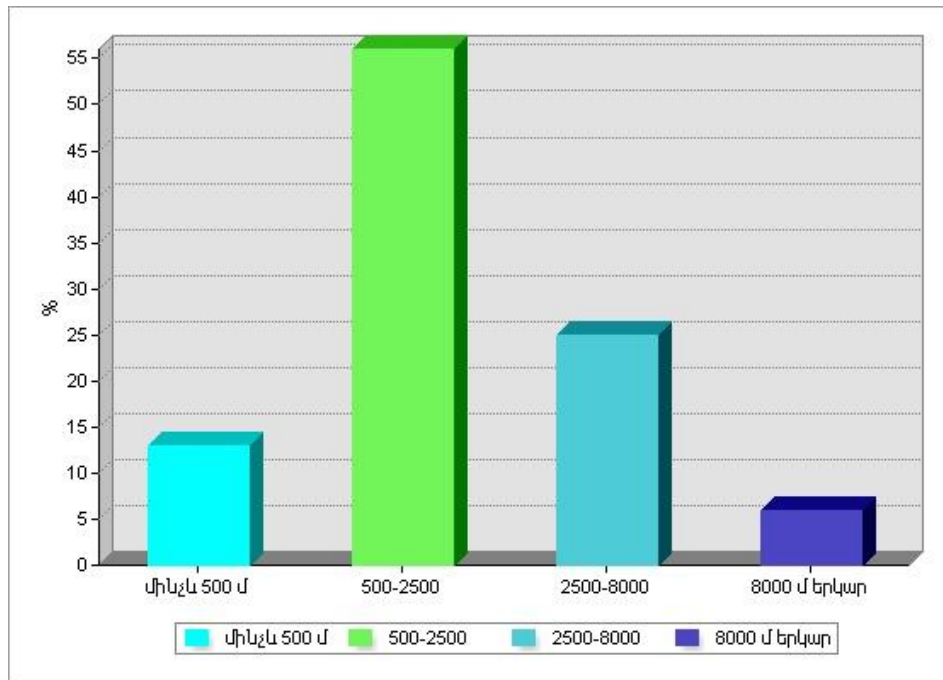


Նկ. 45 ՀՀ տարածքի հոսքի հետագծի երկարության քարտեզ

Կարճ լանջերի տարածման հիմնական զոնաներն են լեռների կատարային և մերձջրբաժանային հատվածները, ինչպես նաև հրաբխային սարավանդներում տարածված հրաբխախին ծագման ռելիեֆի ոչ բարձր ձևերի (խարամային կոներ, ինտրուզիվ զանգվածներ և այլն) լանջերը:

Կարճ լանջերի առումով հատկապես աչքի է ընկնում Արարատյան գոգավորությունը: Պատճառն այն է որ, նման հարթ տարածքում մակերևույթի յուրաքանչյուր փոքր ինչ ուռուցիկ հատված ընդունվում է որպես լոկալ միկրոավազանի ջրբաժան, որտեղից էլ իրականացվում է հոսքի հետագծի երկարության հաշվարկը: Սակայն պետք է նշել, որ այստեղ նման կերպով առանձնացված լանջերի երկարությունը չի գերազանցում մի քանի տասնյակ մետրը, առանձին տեղերում, ոչ բարձր բլուրների առկայության պարագայում այն կարող է հասնել մինչև մի քանի հարյուր մետրի:

ՀՀ տարածքում լանջերի միջին երկարությունը մոտ 2500 մետր է:



Նկ. 46 ՀՀ տարածքի հոսքի հետագծի երկարության տեղաբաշխման հաճախականության հիստոգրամ

Ելենելով այն հանգամանքից, որ հոսքի հետագծի երկարության տարածական տեղաբաշխման առանձնահատկությունները ցայտուն կերպով տարբերակված են տարբեր ծագումնաբանություն ունեցող գեոմորֆոլոգիական զոնաների միջև՝ նպատակահարմար ենք գտնում դրանց տեղաբաշխման հաճախականությունների վարքը չդիտարկել ըստ առանձին գեոմորֆոլոգիական զոնաների՝ ինչպես որ դա արդեն արվել էր մնացած գեոմորֆոմետրիական պարամետրերի դեպքում:

ԳԼՈՒԽ 4. ԳԵՈՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՀՀ ՌԵԼԻԵՖԻ ՇՐՋԱՆԱՑՈՒՄ ԵՎ ՇՐՋԱՆԱԶԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԲԱՑԱՀԱՅՈՒՄ

4.1 Ռելիեֆի բազմաչափ դասակարգում

Ռելիեֆի ձևերի մասին ինֆորմացիան անհրաժեշտ է, օրինակ լանդշաֆտների զարգացման և դրանց պիտանելիության ուսումնասիրություններում, պոտենցիալ էրոզիայի գնահատման, բնական վտանգների կանխատեսման, ինչպես նաև լանդշաֆտների ռեգիոնալ պլանավորման, հողային կադաստրի գնահատման համար: Լանդշաֆտների գնահատման համար ռելիեֆի միավորների համադրման դասական ուղին է դրանց դասակարգումը (շրջանացումը) դաշտային հանույթի ընթացքում կամ արեալ ֆոտոհանույթի կիրառմամբ: Պետք է նշել, որ նման մոտեցումը համեմատաբար ժամանակատար է և արդյունքները մեծամասամբ կախված են հետազոտողի սուբյեկտիվ գնահատականից և, հետևաբար, շատ դեպքերում դրանք կարող են չունենալ բավարար թափանցիկիկություն և վերարտադրողականություն [78]: Մինչև վերջին տասնամյակը՝ տարածական վերլուծությունը ռելիեֆի տեսակետից, լանդշաֆտների էկոլոգիական գնահատման աշխատանքներում բավականին հազվադեպ էր իրականացվում, այն դեպքում, երբ տեղանքի տոպոգրաֆիան առանցքային ցուցանիշ է հանդիսանում շրջակա միջավայրի պրոցեսների լայն շրջանակում [59, 67]: Այնուամենայնիվ, այս լանդշաֆտային մոտեցումը մնում է կարևոր և առանցքային՝ էկոլոգիական հարցերի բազմազանության շարքում, որոնք անհարժեշտ են տարածաշրջանների ուսումնասիրության և օրինաչափությունների ըմբռման համար: Մասնավորապես, լանդշաֆտային ֆոնը կարող է ազդեցություն ունենալ «խանգարումների/արգելքների»¹ տարածման [67, 85, 153], նյութի տեղաշարժման [73], ջրի որակի [102], ինչպես նաև կենսաբազմազանության ու շրջակա միջավայրի մոնիթորինգի և որակի ապահովման վրա [91, 114, 124]:

¹ անգլերեն disturbance – կենսաբանության մեջ խաթարում է կոչվում շրջակա միջավայրի պայմանների ժամանակավոր փոփոխումը, ինչը զգալի փոփոխություններ է առաջացնում էկոհամակարգում: Խաթարման պատճառ կարող են հանդիսանալ այնպիսի բնական պրոցեսները, ինչպիսիք են հրաբուխը, ջրհեղեղը, երկրաշարժը և այլն, ինչպես նաև մարդու գործունեությունը [72]

Ռելիեֆի տարածական վերլուծությունը «գործողությունների ամբողջականություն է, որը բերում է ռելիեֆի բնութագրիչների դուրս բերմանը (բացահայտմանը) կամ տեղանքի որակական գնահատմանը» [152]: Ինչպես արդեն նշվել է նախորդ գլուխներում, ՌԹՄ-ների վրա հիմնված ռելիեֆի ավտոմատացված վերլուծությունը լայնորեն կիրառվում է գեոմորֆոլոգիական հետազոտություններում: Ռելիեֆի ձևերը՝ որպես տեղանքի ֆիզիկական բաղկացուցիչներ, կարող են ածանցվել ՌԹՄ-ներից մեքենայական ուսուցման (machine learning) տարբեր մոտեցումների կիրառմամբ՝ ներառյալ մորֆոմետրիական ցուցանիշների համադրում [77, 105], ոչ հստակ տրամաբանություն (fuzzy logic) և առանց սուպերվիզոր դասակարգում (unsupervised classification) [58, 65, 104], սուպերվիզոր դասակարգում (supervised classification) [62, 96, 132], հավանական կլաստերիզացիայի ալգորիթմ (probabilistic clustering algorithms) [147, 148], բազմաչափ նկարագրողական վիճակագրություն (multivariate descriptive statistics) [75, 77, 83], կրկնակի եռաչափ դիագրամայի դասակարգում (double ternary diagram classification) [70], նկարների օբյեկտ-կողմնորոշված վերլուծություն (object-based image analysis) [78] և արհեստական նեյրոնային ցանցեր (artificial neural networks) [82]:

Հայաստանի տարածքը բազմիցս ծառայել է որպես բնական (ֆիզիկա-աշխարհագրական) շրջանացման օբյեկտ, ինչպես ավելի խոշոր տարածական միավորների կազմում, այնպես էլ ինքն իրեն: Այդ մասին են վկայում Ն. Վ. Դումիտրաշենկոյի [25], Ս. Պ. Բալյանի [11], Ֆ. Ս. Գևորգյանի [2], Լ. Ն. Զոհրաբյանի [30], Հ.Կ. Գաբրիելյանի [1], Վ. Ռ. Բոյնագրյանի [15] ռելիեֆի շրջանացման սխեմաները: Ընդունված է, որ լանդշաֆտների ներգոնալ դիֆերենցացման ժամանակ էական, հաճախ նաև որոշիչ դեր են խաղում ազոնալ գործոններ համարվող երկրաբանա-գեոմորֆոլոգիական պայմանները: Վերջինս տեսանելի է լանդշաֆտային դասակարգման ստորին մակարդակում [31], երբ տեղադիրքի գործոնը որոշողիչ դեր ունի այդպիսի տաքսոնոմետրիական միավորի առանձնացման ժամանակ, ինչպիսիք են՝ բնատեղամասերը: Քանի որ բնատեղամասերը ֆացիաների համակցված համակարգն է՝ միավորված ֆիզիկա-աշխարհագրական պրոցեսների ընդհանուր ուղղվածությամբ և ընդգրկված ռելիեֆի մեկ մեզոձևի սահմաններում, ապա

ամենապարզ ձևով դրանք արտահայտված են մասնատված ռեկիեֆի պայմաններում՝ ուռուցիկ և գոգավոր մեզոռեկիեֆի ձևերի հերթափոխման ժամանակ՝ բլուրներ ու ավազաններ, բլրաշարեր ու ձորակներ, միջձորակային ջրբաժաններ ու հեղեղատներ և այլն [31]:

ՀՀ ռեկիեֆը տարածքի մեծ մասում իրենից ներկայացնում է հենց այդպիսի մեզոռեկիեֆի հերթափոխություն: Հյուսիսային և Հարավային ծալքաբեկորային լեռների և միջլեռնային ավազանների զոնաները, գրեթե ամբողջ Հրաբխային լեռնաշխարհը իրենից ներկայացնում են ձորերի, ջրբաժանների, գագաթների, թամբոցների, արտաբերման կոների, ջրահավաք ձագարների, ճառագայթաձև գետահովիտների, հարթեցման մակերևութների և այլ գեոմորֆոլոգիական միջին կարգի ձևերի հերթափոխություն:

ՀՀ ռեկիեֆի բազմաչափ կիսա-ավտոմատ մեթոդով դասակարգման համար մեր աշխատանքում կիրառել ենք k-միջինների ալգորիթմը (k-means, դրա մոդիֆիկացված տարբերակն է ոչ կանոնավոր k-միջինների (fuzzy k-means) ալգորիթմը): Պատմականորեն այնպես է ստացվել, որ k-միջինների ալգորիթմը իրարից անկախ հայտնաբերվել է մի քանի հետազոտողների կողմից առաջին հերթին Հուգո Շտեյնհաուզի կողմից [146] և գրեթե միաբաժանակ Ստյուարտ Լլոյդի կողմից [113], սակայն մեծ ճանաչում է ստացել հատկապես ՄաքՔուինի աշխատանքից հետո [117]: Պետք է շեշտել, որ այն համարվում է տվյալների ինտելեկտուալ վերլուծության կարևորագույն ալգորիթմներից մեկը: Այն հաջողությամբ կիրառվել է հիդրերկրաբանության, հողերի դասակարգման, բուսականության քարտեզագրման մեջ և մանրամասնորեն ներկայացված է մի շարք աշխատանքներում [64, 65, 66, 74, 138, 140, 154]: K-միջինների մեթոդի առաջնային նպատակն է տվյալների ծավալի նվազեցումը՝ պատկերների վերծանման ընթացքում ինֆորմացիայի փոխանցան հեշտացման նպատակով [61]:

4.2 ՀՀ ռելիեֆի բազմաչափ դասակարգման և շրջանացման արդյունքների քննարկում

Մեր կողմից նախօրոք ընտրված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշները (բացարձակ բարձրություն, լանջի թեքություն, կողմնադրություն, պլանային և պրոֆիլային կորություններ, հոսքի հետագծի երկարություն) դիտարկվել են որպես մեկ դիապազոնով նկարներ, և k-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմի կիրառմամբ այդ ցուցանիշների հիման վրա կատարվել է ռելիեֆի ձևերի դասակարգում [130]: Աղյուսակ 7-ում ներկայացված են դրանց հիմնական վիճակագրական ցուցանիշները, իսկ Աղյուսակ 8-ում՝ ցուցանիշների կորելացիոն մատրիցան:

Աղյուսակ 7

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիմնական վիճակագրական ցուցանիշներ

№	Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշ	Նվազագույն արժեք	Առավելագույն արժեք	Միջին արժեք	Միջին քառակուսային շեղում
1	Բացարձակ բարձրություն (մ)	371	4054	1852	604
2	Հոսքի հետագծի երկարություն (մ)	0	33411	2534	3061
3	Պլանային կորություն $\times 100$ (1/մ)	-6.81	6.59	0.21	0.26
4	Պրոֆիլային կորություն $\times 100$ (1/մ)	-2.82	4.31	0.17	0.22
5	Մակերևույթի թեքություն (°)	0	65.1	11.1	8.6

Աղյուսակ 8

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների կորելացիոն մատրիցան

Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշ	Բացարձակ բարձրություն	Հոսքի հետագծի երկարություն	Պլանային կորություն	Պրոֆիլային կորություն	Մակերևույթի թեքություն
Բացարձակ բարձրություն	1	0.022	0.033	-0.079	0.235
Հոսքի հետագծի երկարություն	0.022	1	-0.030	0.033	-0.212
Պլանային կորություն	0.033	-0.030	1	-0.449	0.051
Պրոֆիլային կորություն	-0.079	0.033	-0.449	1	0.000
Մակերևույթի թեքություն	0.235	-0.212	0.051	0.000	1

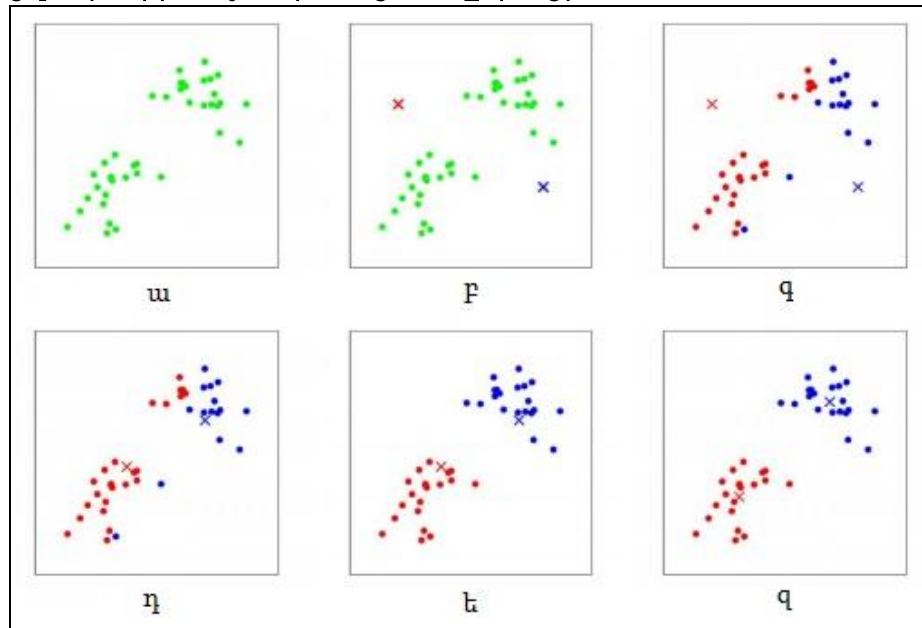
K-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմը խտրատիվորեն կրկնվող պրոցես է: Ալգորիթմի էությունը կայանում է նրանում, որ վերլուծության արդյունքում բազմասպեկտրալ միջավայրում այն փնտրում, գտնում և առանձնացնում է օգտագործողի կողմից տրված k քանակի, վիճակագրորեն նմանատիպ կլաստերներ: Ալգորիթմը սկսվում է սպեկտրալ միջավայրում պատահականության սկզբունքով k քանակի խմբերի լոկալիզացիայից: Հաջորդ քայլում մուտքագրված պատկերների խմբերում յուրաքանչյուր պիքսելն ամրագրվում է կլաստերի մոտակա կենտրոնին:

Յուրաքանչյուր կլաստերի կենտրոն (հաշվի առնելով ներմուծվող օբյեկտի ատրիբուտային արժեքները) հաշվարկվում է որպես օբյեկտի ատրիբուտային արժեքի կշռային միջինը [121]: Նման կերպով դասակարգումը շարունակվում է այնքան, մինչև որ չի հասնում պրոցեսի կանգ առման կայուն պայմանին, որի համաձայն բոլոր միանման օբյեկտները խմբավորվում են մեկ կլաստերում (Նկ. 47): Պրոցեսի կանգ առման պայմանը կարող է լինել կամ իտերացիաների առավելագույն քանակը, կամ թույլատրելի շեմային արժեքը (tolerance treshhold), որը դիտարկում է մինչ իտերացիայի կանգ առը, կլաստերի կենտրոնի տեղաշարժման հնարավոր նվազագույն հեռավորությունը: Մեր պարագայում որոշիչ պարամետրերն էին՝ 7, 25 և 2% համապատասխանաբար՝ դասերի կանխատեսված քանակի, իտերացիաների քանակի և պիքսելների փոփոխման թույլատրելի շեմային արժեքի համար:

Թվային գեոմորֆոլոգիայում ներկա պահին գոյություն ունեն ռելիեֆի ձևերի դասակարգման բազմաթիվ մոտեցումներ և մեթոդներ [65, 77, 78, 82, 104, 115, 116, 125, 138, 142, 144, 159]: Մեր դեպքում կիրառվել է Dikau [77] և Dragut and Blaschke [78] համակարգերի համադրումը, և դասակարգման համար որպես ելակետային ինֆորմացիայի աղբյուրներն են ընդունվել հետևյալ գեոմորֆոմետրիական պարամետրերի շերտերը՝ բացարձակ բարձրություն, լանջի թեքություն, պլանային և պրոֆիլային թեքություններ և որպես հավելյալ շերտ՝ հոսքի հետագծի երկարություն:

Պետք է շեշտել, որ լանջերի կողմնադրությունը չի ընդգրկվել ելակետային ինֆորմացիայի աղբյուրների մեջ՝ չնայած այն բանին որ հանդիսանում է բարձրությունների զանգվածի առաջնային ածանցյալներից մեկը: Չօգտագործման պատճառն այն է, որ դասակարգման ընթացում այն առաջացնում է հավելյալ զոնավորում: Օրինակ, երբ կողմնադրությունը փոփոխվում է հարավից դեպի արևմուտք, կամ հյուսիսից դեպի արևելք: Նման զոնավորումը դասակարգման արդյունքները դարձնում է չափազանց խճճված: Հատկապես այդ տարբերակումները նկատվում են ռելիեֆի հյուսիսահայաց լանջերին, որտեղ պիքսելների արժեքների տարբերությունը բավականին մեծ է (օրինակ հարևան պիքսելների արժեքները կարող են լինել է 1° և 360°): Սակայն, պետք է նշել, որ լանջերի կողմնադրության ինֆորմացիան հեշտությամբ կարելի է կիրառել կոնկրետ գեոէկոլոգիական և

գեոմորֆոլոգիական խնդիրներ լուծելիս՝ մասնավորապես հողերի պոտենցիալ էրոզիայի, լանջերի կայունության գնահատման, գծային կամ շրջանաձև մորֆոկառուցվածքների նույնականացման ընթացքում:

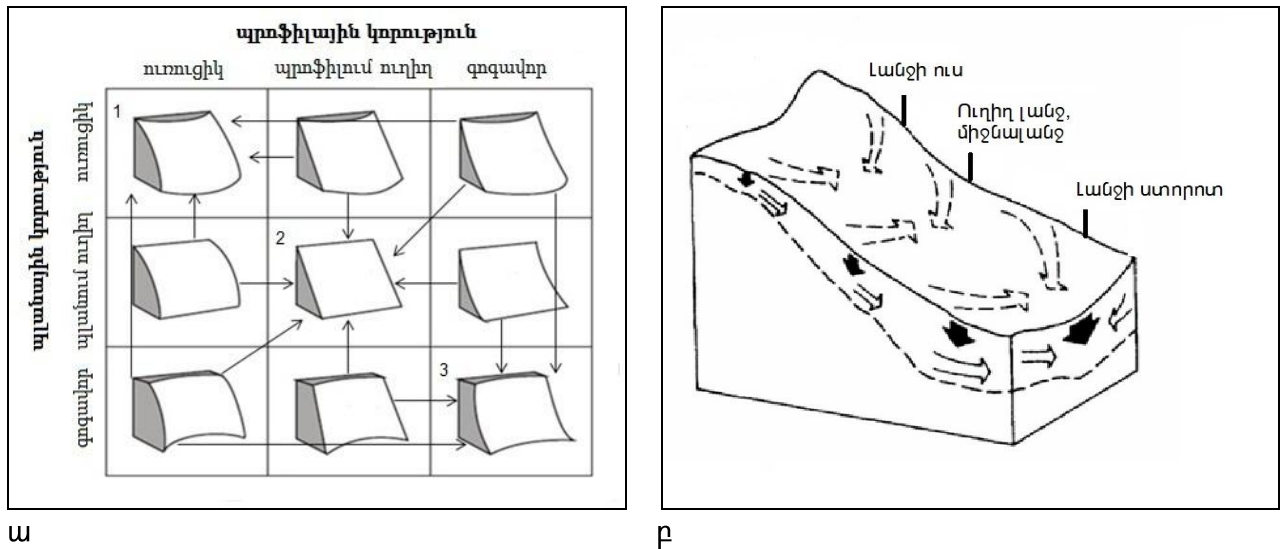


Նկ. 47 K միջինների ալգորիթմի օրինակ: Ուսուցանվող օրինակները (training samples) ներկայացված են որպես կետեր, իսկ կլաստերիների կենտրոնները որպես խաչեր: (ա) ելակետային տվյալ, (բ) պատահականության սկզբունքով ընտրված առաջնային կլաստերների կենտրոններ, (գ-զ) k միջինների ալգորիթմի իտերացիաների ընթացքը: Հերթական իտերացիայի ընթացքում յուրաքանչյուր ուսուցանվող օրինակ ամրագրվում է մոտակա կլաստերի կենտրոնին (սկզբնաղբյուրը՝ <http://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>)

Այսպիսով, ինչպես նշվեց վերը, մեր կողմից որպես դասակարգման մոտեցում ընդունվել է Dikau [77] և Dragut and Blaschke [78] համակարգերի համադրումը:

Dikau-ն առանձնացնում է 9 տոպոլոգո-մորֆոլոգիական դասեր՝ հիմնված մակերևույթի ուռուցիկ, գոգավոր և հարթ ձևերի համադրության վրա (Նկ. 48 ա): Պետք է նշել, որ այս բոլոր ձևերը տեսականորեն հնարավոր են բնության մեջ: Սակայն տարբերակներից երեքը շատ ավելի հաճախ են հանդիպում, քան մյուս հնարավոր համադրումները: Այսպիսով հիմնական դասերն են՝ 1) լանջի ուռուցիկ ձևեր՝ մերձջրբաժանային լանջեր, լանջի ուսեր (Shoulders), 2) լանջի հարթ ձևեր՝ ուղիղ լանջեր, միջնալանջեր (Planar slopes), 3) լանջի գոգավոր ձևեր՝ ստորոտներ (Footslopes) (Նկ. 48 բ): Հաշվի առնելով ելակետային ՌԹՄ-ի լուծաչափը (90մ) և ուսումնասիրվող տարածքի մեծությունը՝ նպատակահարմար ենք գտնում մեր դասակարգման մեջ

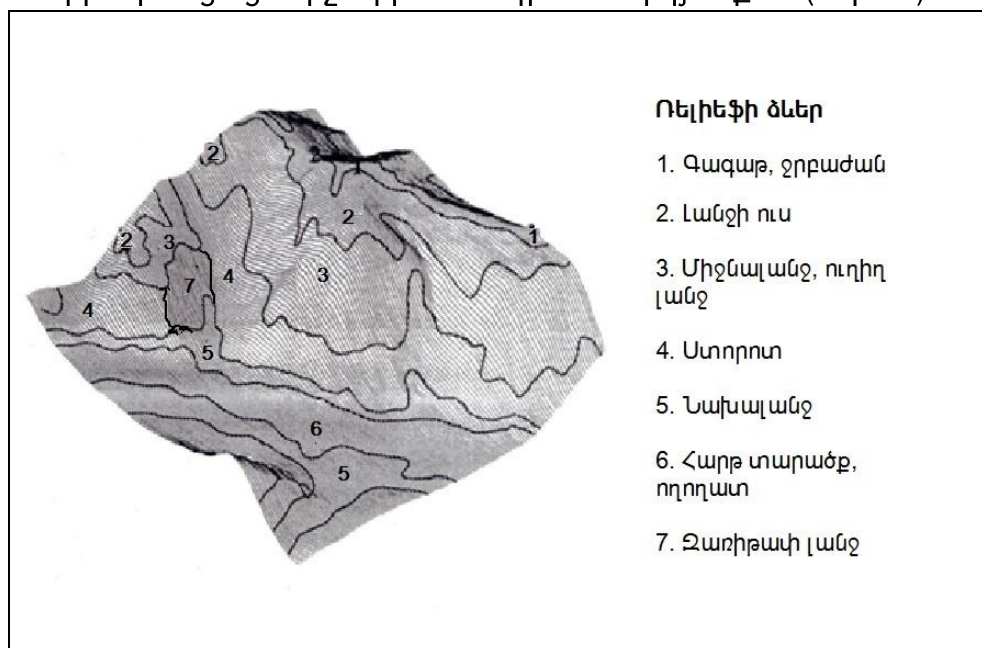
ընդգրկել երեք առավել հնարավոր համադրությունները՝ մնացած վեց դասերը ընդունելով այնպես, որ դրանք հավանականության տարբեր աստիճաններով կարող են ընդգրկվել մեկ կամ ավելի հիմնական դասերի կազմում (Նկ. 48 ա – ում այդ հավանականությունները ներկայացված են սլաքների միջոցով):



Նկ. 48 Ռելիեֆի հիմնարար դասերի Dikau-ի սխեման՝ հիմնված պլանային և արտֆիլային կորությունների վրա: ա) 9 տոպոլոգո-մորֆոլոգիական դասերը՝ հիմնված մակերևույթի ուռուցիկ, գոգավոր և հարթ ձևերի համադրության վրա: Սլաքները ցույց են տալիս դասակարգման հնարավոր տարբերակները (սկզբնաղբյուրը՝ [77], ձևափոխված): բ) 1. Լանջի ուռուցիկ ձևեր՝ լանջի ուսեր, 2. լանջի հարթ ձևեր՝ ուղիղ լանջեր, միջնալանջեր, 3. լանջի գոգավոր ձևեր՝ ստորոտներ (սկզբնաղբյուրը՝ [125], ձևափոխված)

Սակայն հասկանալի է, որ միայն կորությունների արժեքների վրա հիմնված ռելիեֆի դասակարգումը թերի կլինի: Dragut and Blaschke-ի մոտեցմամբ առաջարկվում է Dikau-ի իննը դասին ավելացնել նաև չորս՝ կորության արժեքից անկախ դասեր, որոնք դուրս են բերվում լանջի թեքության արժեքից և հավելյալ՝ հարաբերական բարձրության արժեքից: Սակայն մենք մեր մոտեցման դեպքում որպես հավելյալ արժեք կիրառել ենք հոսքի հետագծի երկարության արժեքը, որը իր էությամբ մոտ է հարաբերական բարձրությանը, սակայն առավել հեշտ է այն ածանցել ելակետային բարձրությունների զանգվածից: Այս չորս դասերն են 1) «գագաթներ» և «ջրբաժաններ» (Peaks, Ridges), որոնք բնութագրվում են որպես շրջապատից բարձր օբյեկտներ 2) «նախալանջեր» (Toeslopes)՝ արտաբերման կոներ, այլուժիակ հարթություններ, որոնք բնութագրվում են որպես շրջապատող ձևերից ցածր

տեղակայված օբյեկտներ: Այն ձևերը, որոնց մակերևույթի թեքությունները փոքր են 2° , սահմանվում են որպես 3) «հարթ տարածքներ» (Flat areas, Floodplains)՝ դարավանդներ, ողողատներ, և նրանք որոնց թեքությունը մեծ է 35° 4) «զառիթափ լանջեր» (Steep slopes)՝ ուղղաձիգ լանջեր, կանիոնների պատեր: Ի վերջո հանրագումարում ստացվում է ռելիեֆի ձևերի 7 դաս (Աղյուսակ 9): Ռելիեֆի ձևերի 7 դասերի տեսական դասավորվածությունը լանջի մակերևույթին սխեմատիկորեն ներկայացված է Նկ. 49-ում: Տվյալ 7 դասերը քարտեզագրվել են k-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմի կիրառմամբ՝ ՀՀ տարածքի գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համադրման արդյունքում (Նկ. 50)

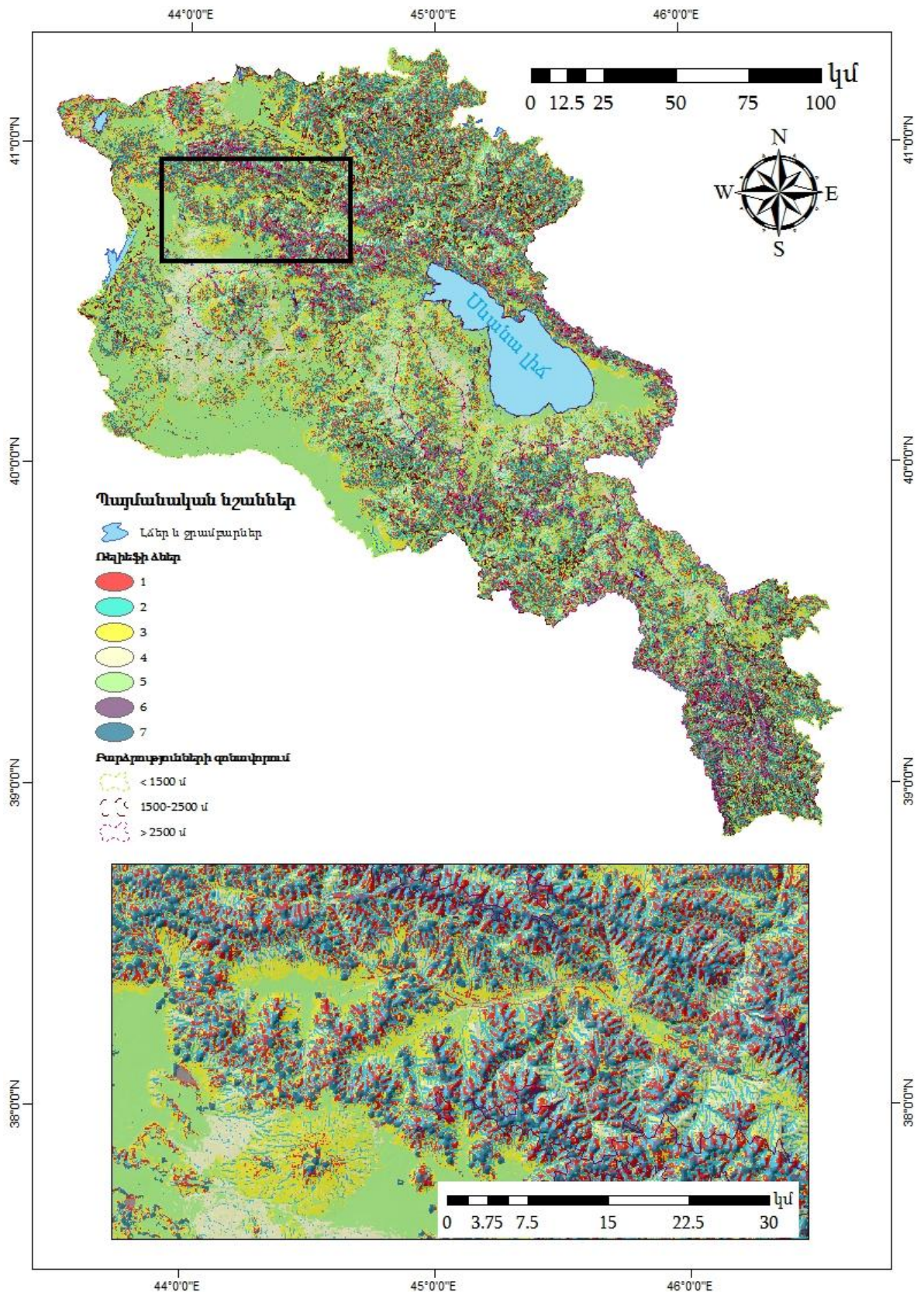


Նկ. 49 Ռելիեֆի ձևերի 7 դասերի տեսական դասավորվածությունը լանջի մակերևույթին (սկզբնաղբյուրը՝ [125], ձևափոխված)

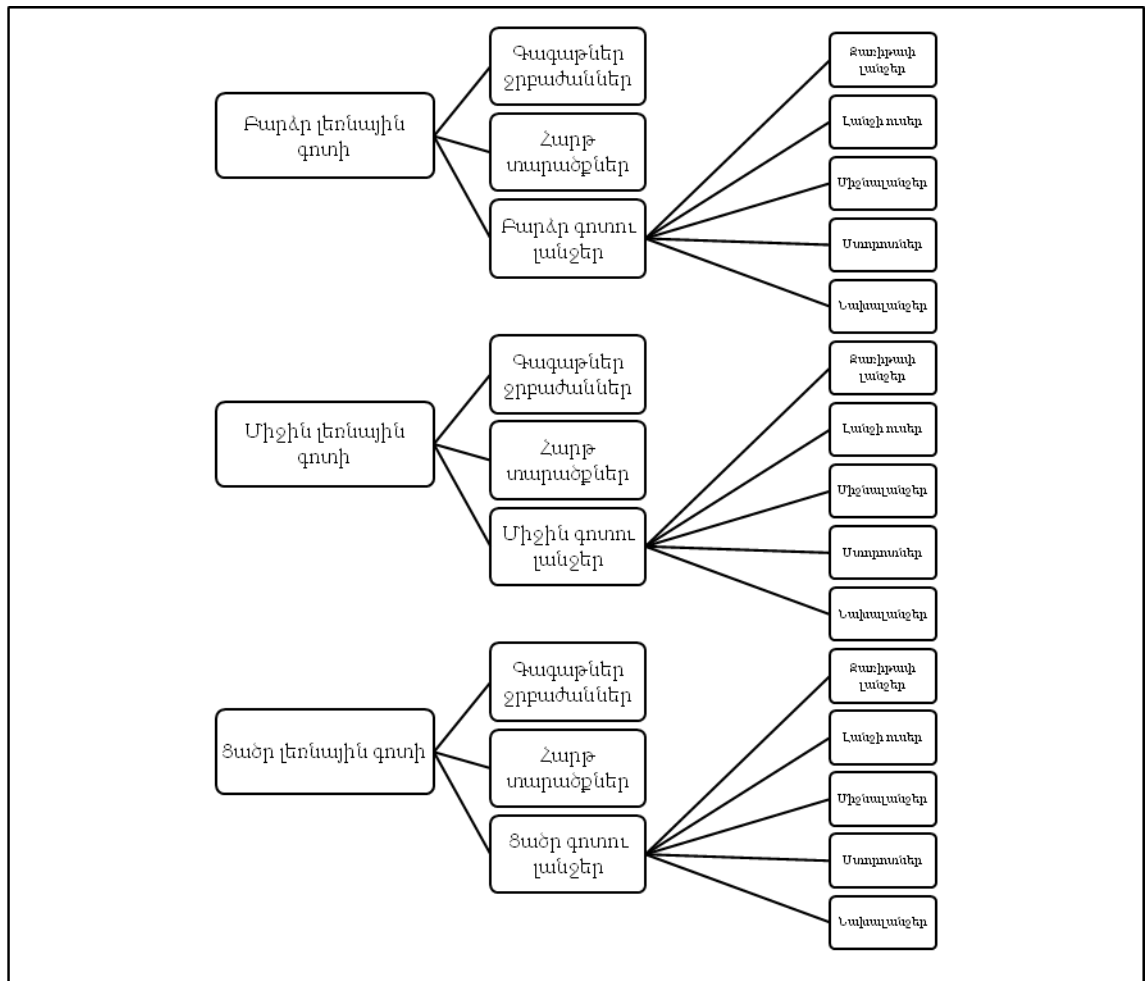
Աղյուսակ 9-ում ներկայացված 7 դասերը իրենց հերթին հիերարխիկորեն դասակարգված և խմբավորված են միանման խմբերի մեջ (Նկ. 51): Ընդհանուր առմամբ, ռելիեֆի ձևերի շրջանացումը իրականացված է եռաստիճան հիերարխիկ սխեմայի տեսքով: Առաջին աստիճանում դրանք դասակարգված են համաձայն բացարձակ բարձրությունների զոնավորման՝ բարձրալեռնային գոտի, միջին լեռնային գոտի և ցածր լեռնային (նախալեռնային) գոտի:

Ռելիեֆի ձևերի դասակարգման համար կիրառված գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշները (ՉՍ – Չի սահմանված)

Ռելիեֆի ձևեր				Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշ				
№	Անվանում	Անվանումը անգլերենով	Նկարագրություն	Պլանային կորություն (1/մ)	Պրոֆիլային կորություն (1/մ)	Թեքություն (°)	Բացարձակ բարձրություն (մ)	Հոսքի հետագծի երկարություն (մ)
1	Գագաթներ, ջրբաժաններ	Peaks, Ridges	Որոշակի թեքությամբ (հակում) ունեցող էլեմենտներ, որոնք հստակորեն տարանջատվում են լանջից նրանով, որ տեղակայված է դրանից բարձր	ՉՍ	ՉՍ	ՉՍ	Բարձր քան հարևան էլեմենտները	<500
2	Զառիթափ լանջեր	Steep slopes	Լանջի՝ մեծ մակերևույթային թեքությամբ, խիստ զառիթափ հատվածներ	ՉՍ	ՉՍ	>35°	ՉՍ	ՉՍ
3	Լանջի ուսեր	Shoulders	Ջրբաժանի և միջնալանջերի միջև ընկած ուռուցիկ էլեմենտներ	+	+	ՉՍ	ՉՍ	ՉՍ
4	Ուղիղ լանջեր, միջնալանջեր	Planar slopes, Backslopes	Լանջի թեք, որպես կանոն թե պրոֆիլում, թե պլանում ուղիղ գծային տեսք ունեցող հատված	± 0	± 0	ՉՍ	ՉՍ	ՉՍ
5	Ստորոտներ	Footslopes	Լանջի ստորին հատվածի գոգավոր էլեմենտներ, որոնք հաջորդում են միջնալանջին, և կարող են հանդիսանալ և էրոզիոնալ, և նստվածքային մակերևույթներ	-	-	ՉՍ	ՉՍ	ՉՍ
6	Նախալանջեր	Toeslopes	Տարածք, որն սկսվում է լանջի ստորոտից և ունի դեպի ավելի ցածր նիշեր ուղղվածություն: Որպես կանոն ծածկված է նստվածքային շերտով	ՉՍ	ՉՍ	<2°	Ցածր քան հարևան էլեմենտները	ՉՍ
7	Հարթ տարածքներ, ողողատներ, տերասներ	Flat areas, Valleys, Floodplains	Ռելիեֆի հարթ ձևեր, որոնք կարող են հանդիպել թե լանջի վերին, թե ստորին հատվածներում	ՉՍ	ՉՍ	<2°	ՉՍ	ՉՍ



Նկ. 50 ՀՀ ռեզիլենցիայի դասակարգված ձևերը՝ 1) Լանջի ուտեր, 2) Ստորոտներ, 3) Ուղիղ լանջեր, միջնալանջեր, 4) Նախալանջեր, 5) Հարթ տարածքներ, 6) Զառիթափ լանջեր, 7) Գագաթներ, ջրաժաններ



Նկ. 51 Ռելիեֆի ձևերի դասակարգման հիերարխիկ սխեմա

Հիերարխիկ միջին աստիճանի դասակարգումն իրականացվել է համաձայն լանջի մեզոռելիեֆի էլեմենտների՝ յուրաքանչյուր բարձրության գոտու համար: Մեզոռելիեֆի էլեմենտներն են՝ գազաթ կամ ջրբաժան, հարթ տարածք կամ դարավանդներ, և բուն լանջ: Պետք է նշել, որ այս մակարդակում, օրինակ, գազաթներ առանձնացված են ոչ միայն բարձրալեռնային գոտում, այլ նաև միջին և ցածր լեռնային գոտիներում, որտեղ դրանք կարող են արտահայտված լինել տեղական բնույթի բարձրացումների գազաթներով: Նույն տրամաբանությունը գործում է նաև հարթ մակերևույթների համար:

Եվ հիերարխիայի երրորդ աստիճանում դասակարգված են միայն երկրորդ աստիճանի դասակարգման մեջ ընդգրկված լանջերը՝ համաձայն ցուցանիշների արժեքների հիման վրա իրականացված տարանջատման: Միավորները հինգն են՝ «զառիթափ լանջեր», «լանջի ուսեր» «միջնակներ», «ստորոտներ», «ստորոտներ» կամ «նախալանջեր»:

Տարանջատված ռելիեֆի ձևերի մակերեսների բաշխումն ըստ բարձրություն տարբեր գոտիների

Ռելիեֆի ձևեր	Բարձր գոտի	Միջին գոտի	Ցածր գոտի	Ընդհանուր
Լանջի ուսեր	3.11	9.75	4.01	16.86
Ստորոտներ	3.82	14.29	5.99	24.10
Միջնալանջեր	3.35	12.04	5.35	20.74
Նախալանջեր	1.66	7.41	2.22	11.29
Հարթ տարածքներ	0.25	6.99	8.08	15.32
Զառիթափ լանջեր	0.61	1.41	0.61	2.64
Գագաթներ	1.67	5.18	2.20	9.05
Ընդհանուր	14.47	57.07	28.46	100.00

Աղյուսակ 10-ում ներկայացված է ռելիեֆի ձևերի տարածական բաշխման հաճախականությունը ըստ լեռնային զոնաների և ՀՀ ամբողջ տարածքի համար՝ տոկոսային արտահայտվածությամբ: Այն փաստը, որ ամբողջ տարածքում գերակշռող ձևերն են ստորոտները, միջնալանջերը և լանջերի ուսերը՝ վկայում է ՀՀ ռելիեֆի էրոզիոն-մասնատված բնույթի մասին, որին բնորոշ են ռելիեֆի գոգավոր և ուռուցիկ ձևերի հաջորդականությունը: Զառիթափ լանջերը հիմնականում տարածվում են Հյուսիսային և Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների զոնաներում և ռելիեֆում հիմնականում ներկայացված են խոշոր կանիոնների և ծորերի լանջերի տեսքով:

ՀՀ տարածքում բացի Արարատյան դաշտից հարթ տարածքները նաև տարածվում են Միջին բարձրության լեռնային զոնայում, որտեղ դրանք իրենցից ներկայացնում են հիմնականում միջլեռնային գոգավորությունների հատակներ, հրաբխային սարավանդներ, գետահովիտների ողողատային հատվածներ, որոշ դեպքերում նաև առանձնակի խոշոր էրոզիոն դարավանդներ:

Այս աշխատանքում գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների հիման վրա ՀՀ տարածքի ռելիեֆի ձևերի նույնականացումը և դասակարգումը իրականացվել է SRTM DEM-ից՝ k-միջինների առանց սուպերվիզորի ուսուցման ալգորիթմի կիրառմամբ: Մեր դեպքում օգտագործել ենք Dikau [77] և Dragut and Blaschke [78] դասակարգման սխեմաների համադրումը, որի արդյունքում ստացվել է ռելիեֆի ձևերի 7 դաս: Սակայն, ելնելով ուսումնասիրվող տարածքից և հետազոտության նպատակներից, դասերի քանակը կարող է փոփոխվել:

Ընդհանարապես ԱՏՀ մեթոդների կիրառմամբ գեոմորֆոմետրիկական ցուցանիշների հիման վրա ավտոմատ կամ կիսաավտոմատ ալգորիթմների կիրառմամբ ռելիեֆի ձևերի դասակարգում արևմտյան գիտական շրջանականերում սկսվել է իրագործվել դեռևս 25-30 տարի առաջ, սակայն վստահաբար կարելի է նշել, որ այս աշխատանքը Հայաստանի տարածքի կամ դրա առանձին մասերի համար նման առաջին փորձն է: Ոստի այն զերծ չէ ակնհայտ և ոչ ակնհայտ թերություններից: Առաջին հերթին պետք է նշել այն փաստը, որ հետազոտության արդյունքների ճշգրտությունը չի գնահատվել դաշտային աշխատանքների տվյալների կամ աէրոտիզերական հանույթի հիման վրա:

Արժեք շեշտել, որ k-միջինների դասակարգման դեպքում հետազոտվող տարածքում առանց դասակարգման օբյեկտներ չեն մնում: Սրան հնարավոր է լինում հասնել շնորհիվ նրա, որ k-միջինների ալգորիթմը համատեղում է հետազոտվող տարածքի բոլոր կետերը այնպես, որ դասակարգման արդյունքում յուրաքանչյուր կետ պատկանում է միայն մեկ k կլաստերի; Այնուամենայնիվ, գտնում ենք, որ ճշգրտության գնահատումը (accuracy assessment) հույժ կարևոր է նմանատիպ հետազոտությունների համար և հավատում ենք, որ այն մեր կողմից կիրականացվի գիտական գործնեության հետագա փուլում: Տվյալ դեպքում առաջին հերթին նպատակ է հետապնդվել ՀՀ տարածքի ռելիեֆի դասակարգման համար փորձարկել առկա որևէ դասակարգման մեթոդիկա և գնահատելու դրա վարքը նման՝ ոչ համասեռ ռելիեֆ ունեցող տարածքի վրա: Արդեն նշվել է, որ ընդհանուր առմամբ ստացված արդյունքերը արտացոլում են ՀՀ տարածքի համընդհանուր տոպոգրաֆիական և մորֆոլոգիական օրինաչափությունները:

4.3 Երկրի մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքների ուսումնասիրության պատմությունն ու ներկա վիճակը

Մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքները հատուկ են Երկրային խմբի մոլորակներին: Երկրից բացի բոլոր այլ մոլորակներում դրանք ստեղծում են մակերևույթի հիմնական կառուցվածքային պատկերը: Դրանք հիմնականում երկնաքարային խառնարաններ են: Սրանց թիվը Երկրի վրա այնքան էլ մեծ չէ: Սա

բացատրվում է այն փաստով, որ մթնոլորտի հաստ շերտի ձևավորման շնորհիվ միայն շատ խոշոր երկնաքարերն են հասնում Երկրի մակերևույթին: Բացի այդ, ի տարբերություն Երկրային խմբի մյուս մոլորակների, Երկիրը հանդիսանում է «կենդանի մոլորակ», և բարձր ինտենսիվության էկզոգեն ու էնդոգեն պրոցեսների գործունեության արդյունքում շրջանաձև կառուցվածքները «ջնջվում են», անգամ նրանք, որոնք երկրաբանական տեսանկյունից հանդիսանում են բավականին երիտասարդ: Այնուամենայնիվ, դրանց զգալի քանակությունն ի հայտ են գալիս Երկրի մակերևույթի վրա աֆրոտիեզերական նկարների վերձանման, մորֆոստրուկտուրային և գեոմորֆոմետրիական վերլուծությունների և, որոշակի դեպքերում, գեոֆիզիկական հանույթների արդյունքում [7]:

Երկրի մակերևույթի վրա փոքր և միջին չափսերի շրջանաձև կառուցվածքները ըստ ծագման բաժանվում են երկու հիմնական խմբի՝ էկզոգեն և էնդոգեն: Էնդոգեն խմբին են վերագրվում շրջանաձև հրաբխա-տեկտոնական կառուցվածքները, կենտրոնական տիպի զոնալ ինտրուզիաները, գրանիտա-գնեյսային գմբեթները, օվալաձև և շրջանաձև տեկտոնական դեպրեսիաները, կալդերաները և այլն: Էկզոգեն կառուցվածքների շարքին են դասվում հարվածային խառնարանները, կարստային ծագարները, էոլային ծագման շրջանաձև ռելիեֆի ձևերը և այլ [7]:

Շրջանաձև կառուցվածքների մասին հրատարակումները հիմնականում վերաբերում են 1960-80-ական թվականներին, երբ հետազոտություններում սկսվեցին լայնորեն կիրառվել աֆրոտիեզերական ուսումնասիրության մեթոդները: Աֆրոտիեզերական նկարների վերձանումը հնարավորություն տվեց հաստատել Երկրի մակերևույթին շրջանաձև կառուցվածքների լայն տարածման փաստը: Այս նկարների վերձանման արդյունքում ստեղծվեցին մեծ մասշտաբի քարտեզներ և նկարագրվեցին դրանց տարածման ու տեղաբաշխման օրինաչափությունները: Աֆրոտիեզերական ուսումնասիրության մեթոդների և երկրաբանական դաշտային հետազոտությունների համադրման շնորհիվ իրականացվեցին նաև շրջանաձև կառուցվածքների երկրաբանական կառուցվածքի և ծագումնաբանության վերաբերյալ հետազոտություններ:

Մի խումբ հեղինակներ 1989 թ. համատեղ մենագրություն հրատարակեցին շրջանաձև կառուցվածքների մասին, որտեղ մանրամասնորեն օրինակներ էին ներկայացված դրանց երկրաբանական (մետամորֆիկ, մագմատիկ, տեկտոնական) և տիեզերական ծագումնաբանության վերաբերյալ [33]: Համաձայն տվյալ հետազոտության շրջանաձև կառուցվածքներն ունեն բազմակողմանի և բարդ կառուցվածք: Դրանց սահմաններում մակերևույթային հոսքի ցանցը հաճախ ունի ռադիալ կառուցվածք (կենտրոնից ցրվող՝ ռոտացիկ ձևերի դեպքում և կենտրոնում մերձեցող՝ գոգավոր ձևերի դեպքում): Դրանք բնութագրվում են կենտրոնական միջուկով՝ ճեղքոտված ռադիալ, կոնցենտրիկ տեկտոնական խզվածքների համակարգով և ռելիեֆում արտահայտվում են սեզմենտալ կամ շարունակական ձևով: Այս հեղինակները շրջանաձև կառուցվածքները բնութագրում են նաև որպես կառուցվածքներ, որոնց կենտրոնական մասը տեկտոնական բարձրացումներ կամ դեպրեսիաներ են, իսկ եզրերում ծալքաբեկորային լեռնաշղթաներ կամ ինտրոզիվ զանգվածներ:

Շրջանաձև խոշոր կառուցվածքների մանրակրկիտ ուսումնասիրության օրինակ է Արևելյան Ասիայում մեզա կառուցվածքների հետազոտությունը [110]: Հեղինակները հայտնաբերել են 1000-2000 կմ մինչև 3000-4000 կմ տրամագծով հսկայական օղակաձև մորֆոկառուցվածքներ ասիական մայրցամաքի արևելյան եզրում:

Մեկ այլ մանրակրկիտ հետազոտություն է իրականացվել Արևելյան Սայաններում՝ աֆրոտիեզերական նկարների վերծանման և մորֆոստրուկտուրալ վերլուծության հիման վրա [7]: Արդյունքում հայտնաբերվել են 1-160 կմ տրամագծով շուրջ 500 օղաձև կառուցվածքներ: Օգտագործելով մեծամասշտաբ երկրաբանական քարտեզներ՝ հեղինակները նաև տալիս են հայտնաբերված կառուցվածքների մեծ մասի երկրաբանական բնութագիրը և հասակը:

Բազմաթիվ են նաև միայնակ շրջանաձև կառուցվածքներին նվիրված հետազոտությունները: Օրինակ, Սաուդյան Արաբիայում նկարագրվում է 5 կմ տրամագծով կառուցվածք, որը բնութագրվում է որպես հարվածային տիպի [150]: Մեկ այլ հարվածային ծագման շրջանաձև կառուցվածք է հայտնաբարվել Սենեգալում, ռադիոլոկացիոն սինթեզավորման (Synthetic Aperture Radar (SAR)) կիրառման

արդյունքում [155]: Եվս մեկ միայնակ շրջանաձև կառուցվածք է հայտնաբերվել և բնութագրվել Լիբիայում [89]:

Տարբեր տարիների շրջանաձև կառուցվածքներ հայտնաբերվել և բնութագրվել են նաև Հայաստանի տարածքում և դրա հարակից շրջաններում՝ հիմնված աերոտիեզերական նկարների վերծանման վրա [9, 17, 37, 38, 42]: Հետազոտություններից մեկում կարծիք է արտահայտվում այն մասին, որ տիեզերական նկարների վրա դիտարկվող բազմաթիվ միմյանց նկատմամբ օրինաչափ տեղաբաշխում ունեցող գծային, շրջանաձև և պարուրաձև կառուցվածքներ համապատասխանում են երկրակեղևի երկրաբանական կառուցվածքներին, ունեն տեկտոնական ծագում, և, ընդհանրապես, նմանատիպ կառուցվածքներ բազմաթիվ անգամ առաջանում են երկրակեղևի էվոլյուցիայի ընթացքում [9]:

Հաջորդ տարիների հետազոտություններում հիմնականում շեշտը դրվում է ՀՀ տարածքում լիեամենտների ուսումնասիրության վրա: Միայնակ շրջանաձև կառուցվածքներ ևս նշվում են, սակայն, պետք է նշել, որ վերջին տարիներին որևէ կանոնավոր հետազոտություն գրեթե չի իրականացվել՝ նվիրված դրանց հայտնաբերմանը և քարտեզագրմանը և, ներկայումս, այս թեմայի վերաբերյալ առանձին ձեռագիր աշխատանքներ և հազվադեպ հրատարակումներ են միայն տեղեկատվություն պարունակում:

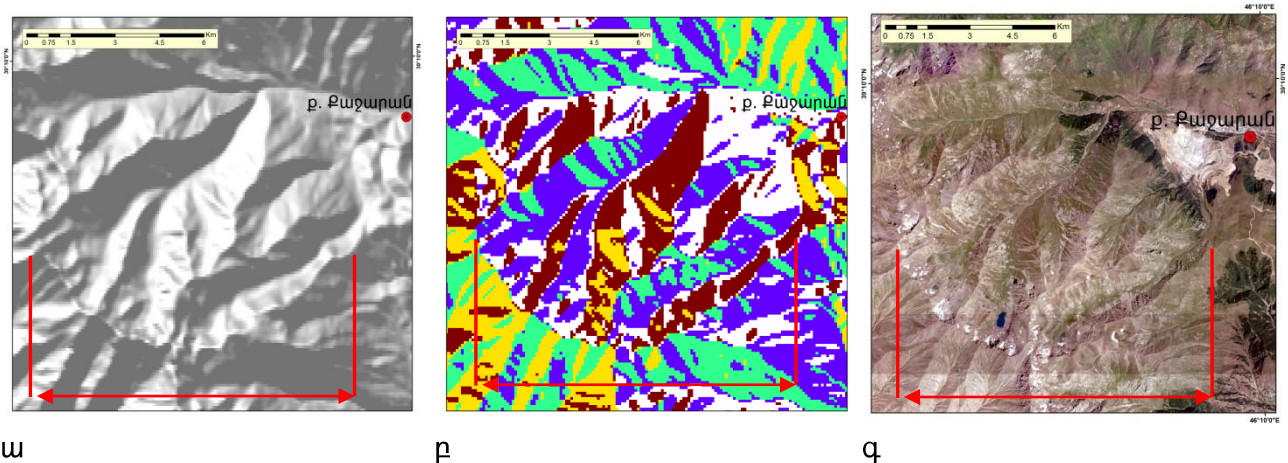
2013-2016թթ. ընթացքում մեր կողմից ևս աշխատանքներ են կատարվել ՀՀ տարածքի շրջանաձև կառուցվածքների քարտեզագրման ուղղությամբ: Շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերման համար մեր կողմից կիրառվել է գեոմորֆոմետրիական մեթոդը [129]: Հարկ ենք համարում շեշտել, որ այս մեթոդի կիրառմանը մեզ ուղորդել է ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ «Երկրատեղեկատվական լաբորատորիայի» վարիչ՝ երկ-հանք. գիտ. թեքնածու Ա. Ա. Ավագյանը, ով առաջին անգամ շրջանաձև կառուցվածք էր տեսել Հյուսիսային Հայաստանի ռելիեֆի ստվերային քարտեզի վրա:

Մեր աշխատանքում մենք գերազանցապես նպատակ ենք հետապնդել ցուցադրել շրջանաձև կառուցվածքների (և ոչ միայն) հայտնաբերման և քարտեզագրման մեջ գեոմորֆոմետրիական մեթոդի էֆեկտիվությունը: Սակայն հայտնաբերված մի շարք կառուցվածքների համար փորձ է կատարվել նաև

նկարագրել երկրաբանական և մոր֫ոլոգիական կառուցվածքները, կապը հանքայնացման հետ:

4.4 Գեոմոր֫ոտիկական քարտեզների կիրառումը ՀՀ տարածքում՝ շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերման և քարտեզագրման նպատակով

Հրատարակված գրականության դիտարկումը ցույց է տալիս, որ դեպքերի մեծ մասում շրջանաձև կառուցվածքները նույնականացվում են աէրո և տիեզերական նկարների վերժանման կամ գեոմոր֫ոստրուկտուրալ վերլուծության արդյունքում: Ինչպես արդեն նշվեց, մեր կողմից շրջանաձև կառուցվածքների հայտնաբերման և քարտեզագրման համար կիրառվել են գեոմոր֫ոտիկական քարտեզների շարք՝ ստվերային ռելիեֆի, լանջերի թեքության, կողմնադրության, հորիզոնական կորությունների:

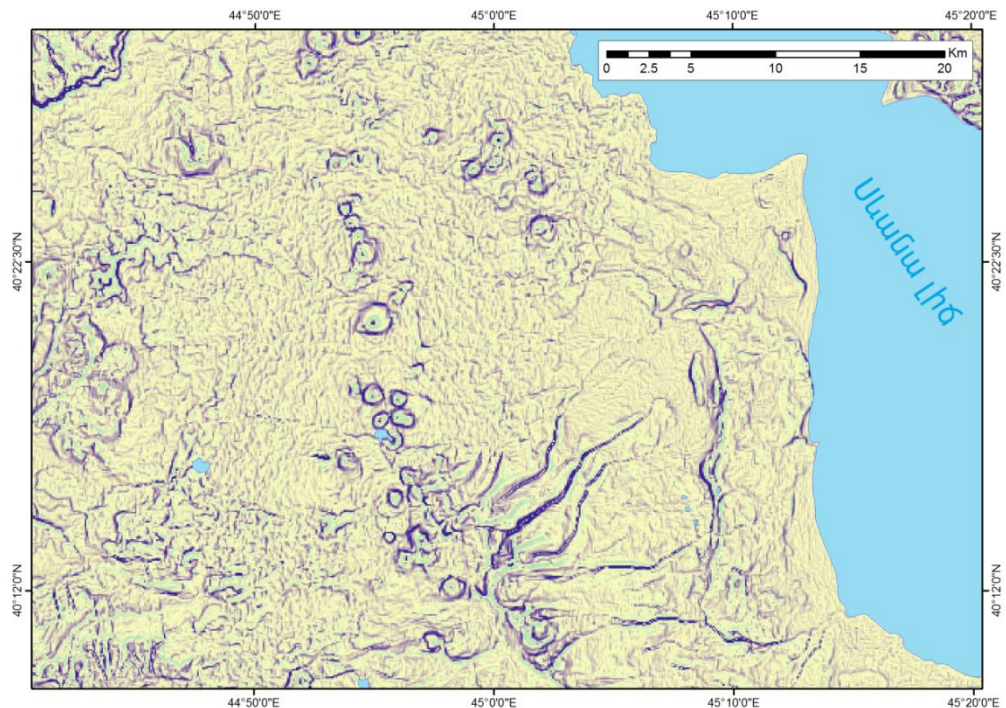


Նկ. 52 Շրջանաձև կառուցվածք Հարավային Հայաստանում ներկայացված՝ ա) ռելիեֆի ստվերային, բ) կողմնադրությունների քարտեզների և գ) Landsat 8 տիեզերական նկարի (աղբյուրը՝ ArcGIS basemaps) վրա

Ռելիեֆի շրջանաձև ձևերը ի հայտ են գալիս նշված բոլոր քարտեզների վրա, սակայն ամենից հստակ դրանք նույնականացվում են կողմնադրությունների և ստվերային ռելիեֆի գունավոր քարտեզների վրա: Մասնավորապես Պ. Ա. Շարին ցուցադրում է կողմնադրությունների քարտեզի վրա շրջանաձև կառուցվածքների տարանջատման օրինակ Ղրիմում [142]: Այս քարտեզների արդյունավետությունը կայանում է նրանում, որ քարտեզի վրա գույների ինտենսիվությունը ցույց է տալիս լանջի հորիզոնական կողմնորոշման (կողմնադրության) աստիճանական

փոփոխությունը, ինչի շնորհիվ քարտեզի վրա երևակվում են շրջանաձև կառուցվածքի սահմանները (Նկ. 52):

Նորագույն հրաբխականության հետևանքով ձևավորված (կալդերաներ, հրաբխային գմբեթներ, խարամային կոներ, և այլն), թույլ էրոզացված շրջանաձև կառուցվածքներն առավել լավ երևում են հորիզոնական կորությունների քարտեզի վրա (Նկ. 53)

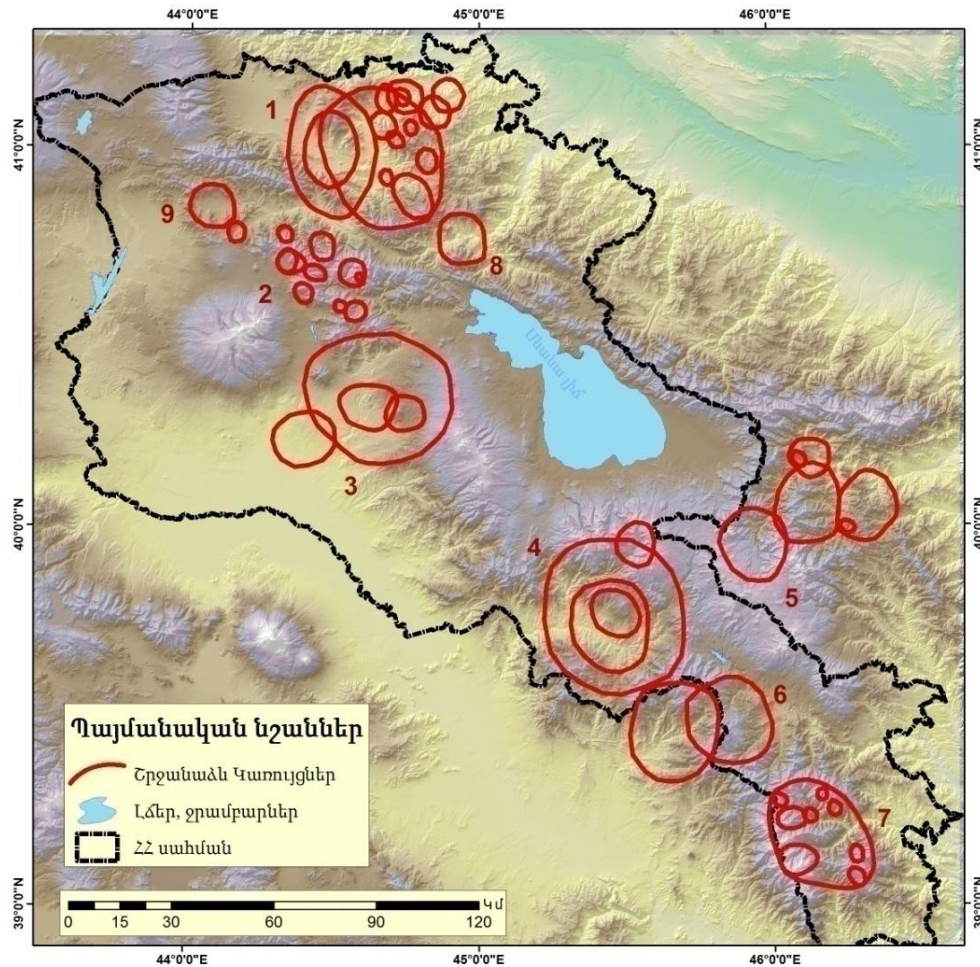


Նկ. 53 Հրաբխային ծագման շրջանաձև կառուցվածքները հորիզոնական կորությունների քարտեզի վրա

Ընդգծելու համար այն փաստը, որ հայտնաբերված ռելիեֆի ձևերը հանդիսանում են շրջանաձև կառուցվածքներ, մեր կողմից փորձ է կատարվել վերլուծել և նկարագրել դրանցից որոշների երկրաբանական հատկանիշները: Բազմաթիվ հեղինակներ ընդգծում են հանքավայրերի տարածական տեղաբաշխման և շրջանաձև կառուցվածքների միջև առկա կապը [17, 33, 145]: Մասնավորապես, Կաջը և իր համահեղինակները, նշել են, որ Երկրի վրայի հայտնի հանքավայրերի 70-75% կապված են շրջանաձև կառուցվածքների հետ [33]: Փորձել ենք նաև ցույց տալ այդ կապը << հանքավայրերի և շրջանաձև կառուցվածքների միջև:

Արժե շեշտել նաև այն փաստը, որ տարբեր շրջանաձև կառուցվածքներ տարբեր կերպով են արտահայտվում տեղանքի ռելիեֆում և երկրաբանական կառուցվածքում:

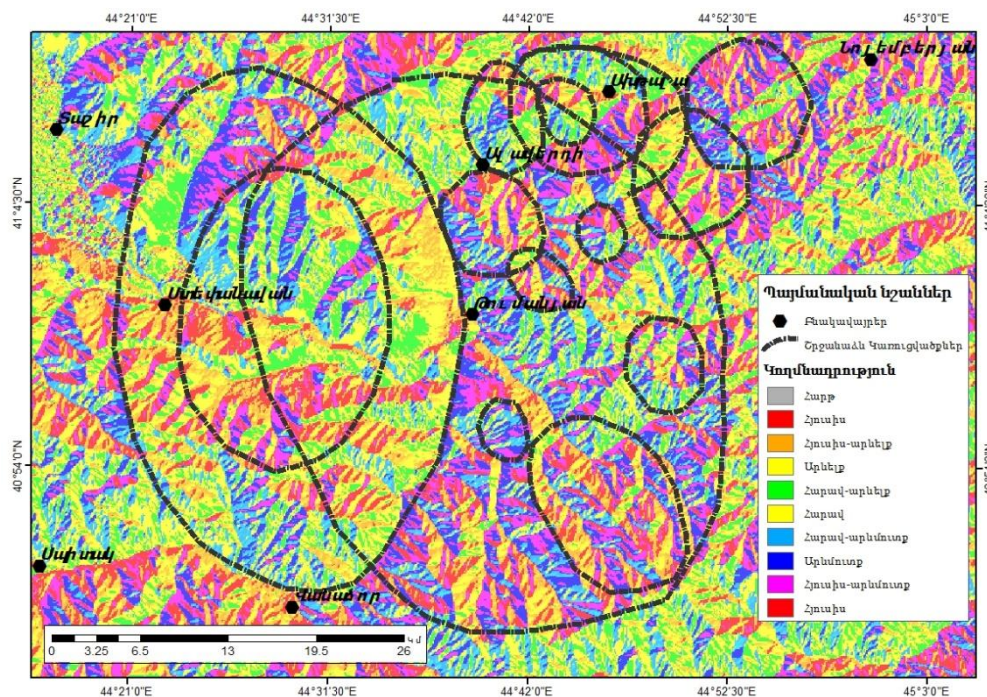
Մեր աշխատանքում մենք չենք դիտարկել 50 կմ մեծ շրջանաձև կառուցվածքները: Ինչպես նշում է Ա. Ս. Բալունը. «...շրջանաձև կառուցվածքների տրամագծի մեծացմանը զուգընթաց նվազում է դրանց բնութագրման ճշգրտությունը, իսկ սկսած որոշակի չափսից (150-270 կմ) այս կառուցվածքները դժվարությամբ են ենթարկվում որևէ գենետիկ վերծանման» [34, էջ 75]:



Նկ. 54 ՀՀ ռելիեֆի եռաչափ քարտեզ (օրիգինալ մասշտաբը 1:200000): Շրջանաձև կառուցվածքների խմբեր՝ 1. Գուգարք-Վիրահայոց, 2. Փամբակ-Ծաղկունյաց, 3. Հրազդան-Գեղամա, 4. Վայքի, 5. Քաշաթաղի, 6. Հյուսիսային Զանգեզուրի, 7. Մեղրի-Բարգուշատի: Առանձին շրջանաձև կառուցվածքներ՝ 8. Միջին Աղստևի, 9. Շիրակ-Փամբակի

Այսպիսով ՀՀ տարածքում հստակորեն առանձնանում են մոտ 50 շրջանաձև կառուցվածքներ, որոնց տրամագիծը տատանվում է 3-45 կմ սահմաններում: Սրանք տեղաբաշխված են թե Հյուսիսային և Հարավային ծալքաբեկորավոր լեռների մարզերում, թե Հրաբխային բարձրավանդակում (Նկ. 54):

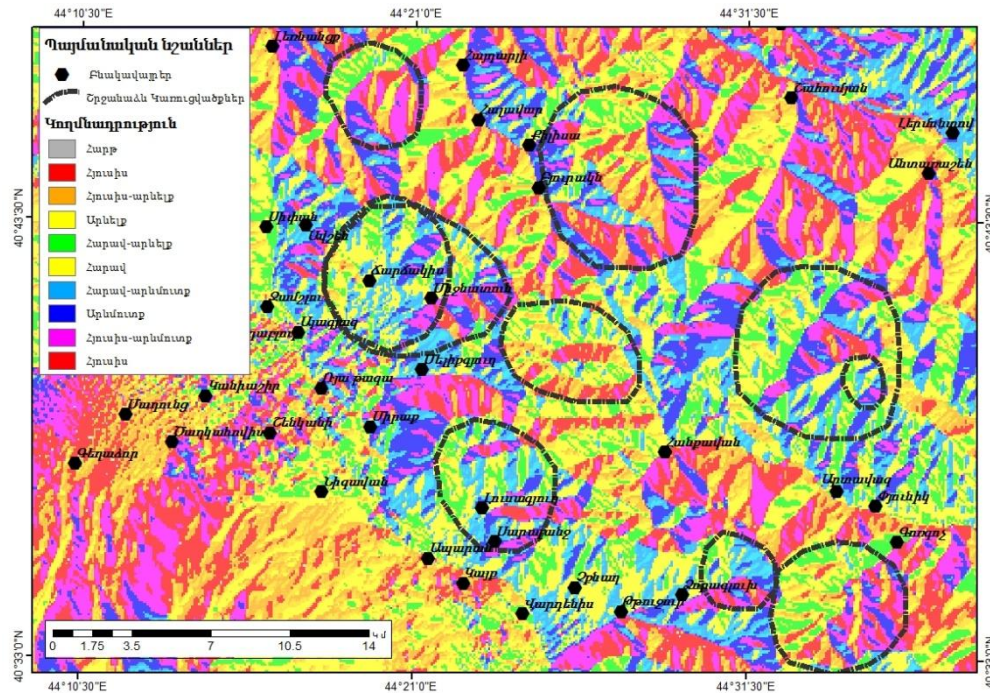
ՀՀ-ում շրջանաձև կառուցվածքները տեղակայված են յոթ հիմնական խմբերով, ինչպես նաև կան երկու առանձին կառուցվածքներ: Դրանք մեր կողմից անվանվել են տեղանքի գեոմորֆոլոգիական միավորների անուններով՝ 1. Գուգարք-Վիրահայոց, 2. Փամբակ-Ծաղկունյաց, 3. Հրազդան-Գեղամա, 4. Վայքի, 5. Քաջաթաղի, 6. Հյուսիսային Զանգեզուրի, 7. Մեղրի-Բարգուշատի, 8. Միջին Աղստևի և 9. Շիրակ-Փամբակի: Նշված կառուցվածքների ու խմբերի ձևը, չափսը, հանքավայրերի հետ տարածական կապը նկարագրված է ստորև:



Նկ. 55 Գուգարք-Վիրահայոց շրջանաձև կառուցվածքների խումբը կողմնադրությունների քարտեզի վրա

1. Գուգարք-Վիրահայոց շրջանաձև կառուցվածքների խումբը կազմված է երկու խոշոր (4-20 կմ տրամագծով), և մի շարք մանր (4-15 կմ) շրջանաձև կառուցվածքներից: Մի շարք այլ մանր կառուցվածքներ հատվում են հիմնականների հետ հյուսիս-արևելքից (Նկ. 55): Գուգարք-Վիրահայոց շրջանաձև կառուցվածքների խմբի հիմնական կառուցվածքը իրենից ներկայացնում է գմբեթաձև բարձրացում՝ ճեղքոտված Էոցենի հրաբխային և նստվածքային ապարներով՝ դիաբազային պորֆիրներով, կվարցային պորֆիրներով և գաբբրո-դիորիտներով [25]: Նրանք ձևավորում են հետևյալ գեոմորֆոլոգիական միավորները՝ հարավից և հարավ-արևելքից՝ Գուգարաց լեռները, հյուսիսից և հյուսիս-արևմուտքից՝ Վիրահայոց լեռների

Լավար և Լեջան զանգվածները և արևմուտքից՝ Բագումի լեռնաշղթայի արևմտյան հատվածը: Այս խմբի սահմաններում են տեղակայված Ալավերդու, Շամլուղի (Cu), Թեղուտի (Cu, Mo), Մղարթի (Au), Ախթալայի (բազմետաղային) հանքավայրերը և երևակումները:



Նկ. 56 Փամբակ-Ծաղկունյաց շրջանաձև կառուցվածքների խումբը կողմնադրությունների քարտեզի վրա

2. Փամբակ-Ծաղկունյաց խմբում կան տասը շրջանաձև կառուցվածքներ, որոնց տրամագիծը տատանվում է 3-8 կմ սահմաններում: Դրանք կազմված են Մինչքեմբրյան – Ստորին Պալեոզոյան մետամորֆիկ և բյուրեղային ապարներից (գնեյս, մարմար, թերթաքար, մագմատիտ)՝ ճեղքոտված հիմնային և թթվային ինտրուզիաներով: Դրանց վրա տրանսգրեսիվ ձևով պառկած են Վերին Կավճի և Պալեոգենի նստվածքներ և Միոցեն-Պլիոցենյան լավաներ և տուֆոբեկչիաներ [10, 20, 25]: Այս խմբի կառուցվածքների հիմքում է ընկած Արզաքանի բյուրեղային զանգվածի հորստային բարձացումը: Փամբակ-Ծաղկունյաց շրջանաձև կառուցվածքների խմբին են հարում Հանքավանի (Cu, Mo), Պերևալնոե (Au), Թուխմանուկի (Au, Ag), Թեժսարի (Al) և այլ հանքավայրեր և երևակումներ:

3. Հրազդան-Գեղամա շրջանաձև կառուցվածքների խումբը տեղակայված է ՀՀ կենտրոնական մասում: Այն կազմված է մեկ խոշոր (47 կմ) և երկու փոքր

կառուցվածքներից, որոնցից մեկը տեղակայված է խմբի կենտրոնում, մյուսը հատում է այն հարավ-արևմուտքից (տես՝ Հավելված 1): Այս խումբը ձևավորող միավորներն են Գեղամա լեռների կենտրոնական ու հյուսիսային հատվածները՝ արևելքից, Ողջաբերդի լեռնաշթան՝ հարավից, Կոտայք-Հրազդանի բարձրավանդակը՝ արևմուտքից, և Ծաղկունյաց լեռնաշղթայի հարավային ճյուղավորումները՝ հյուսիսից: Այս խմբի երկրաբանա-մորֆոլոգիական կառուցվածքը հստակ չէ: Հիմքում ընկած են Վերին Պլիոցենի դոլերիտային լավաներ՝ ծածկված ավելի երիտասարդ Չորրորդական լավաներով [25]:

4. Վայքի խմբում կան երեք շրջանաձև կառուցվածքներ, որոնցից ամենախոշորը ունի 41 կմ տրամագիծ: Մյուս երկուսը՝ 14 և 24 կմ տրամագծերով, տեղակայված են կոնցենտրիկ կերպով առաջինի կենտրոնական մասում (տես՝ Հավելված 2): Այս խումբը ընդգրկում է Վայքի լեռնաշղթայի արևելյան հատվածը և Վարդենիսի լեռնավահանի հարավ-արևմտյան մասը: Վայքի շրջանաձև կառուցվածքների խմբի հիմքում հյուսիսից ընկած է Վարդենիսի գմբեձն բարձրացման հարավային թևը՝ ծածկված Նեոգենի և Պլեյստոցենի լավաներով, իսկ հարավից՝ Ուրց-Հայոց ձորի անտիկլինորի հյուսիսային թևը, որը կազմված է Վերին Պալեոզոյի, Կավճի և Էոցենի կրաքարերից, մերգելներից, ավազաքարերից և հրաբխային շերտախմբերից: Կենտրոնական մասում այն կազմված է Չորրորդական բազալտներով և անդեզիտներով [25]: Մարտիրոսի (Mn), Կապուտսարի (Au), Կաքավասարի (Au, Ag), Կարմրաշենի (Mn), Գլաձորի (Au), Ազատեկի (Au, Ag) հանքավայրերը և հանքային երևակումները տեղակայված են Վայքի շրջանաձև կառուցվածքների խմբի սահմաններում:

5. Քաշաթաղի խումբը կազմված է երեք խոշոր և մի քանի փոքր շրջանաձև կառուցվածքներից և շղթայաձև ձգվում է արևելքից արևմուտք ուղղությամբ (տես՝ Հավելված 3): Այս խմբի կոնտուրները ձևավորվում են Մռավի և Արցախի լեռնաշղթաներով: Ամենից մեծ կառուցվածքը այս խմբում ունի 19 կմ տրամագիծ, ամենից փոքրը՝ 4 կմ: Քաշաթաղի խմբի միայն փոքր մասն է գտնվում ՀՀ տարածքում:

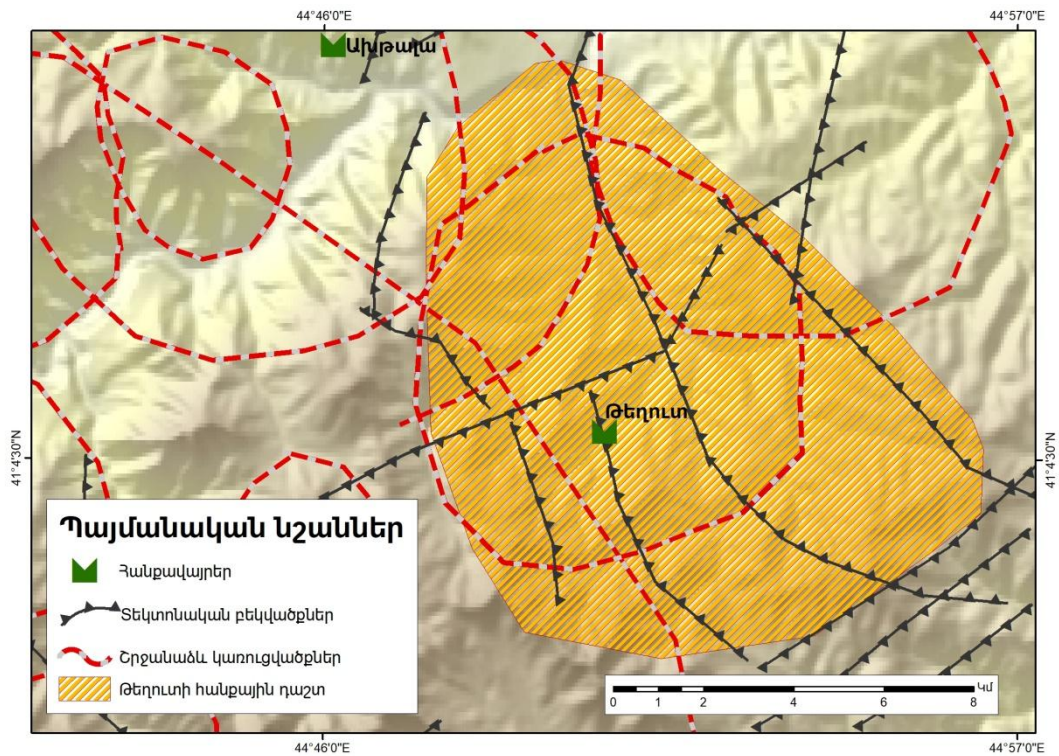
6. Հյուսիսային Զանգեզուրի խումբը կազմված է երկու՝ 22 և 25 կմ տրամագծերով շրջանաձև կառուցվածքներից (տես՝ Հավելված 4): Այն ունի ծալքաբեկորավոր կառուցվածք և իրենից ներկայացնում է հորստ-անտիկլինալային

բարձրացում, ծածկված Էոցենի և Պլիոցենի հրաբխա-նստվածքային ապարներով: ՀՀ տարածքում այս խմբին հարող հանքավայրերն են՝ Մարջանի (Au, Ag) և Մազմազակի (Pb, Zn, Au, Ag) հանքավայրերը:

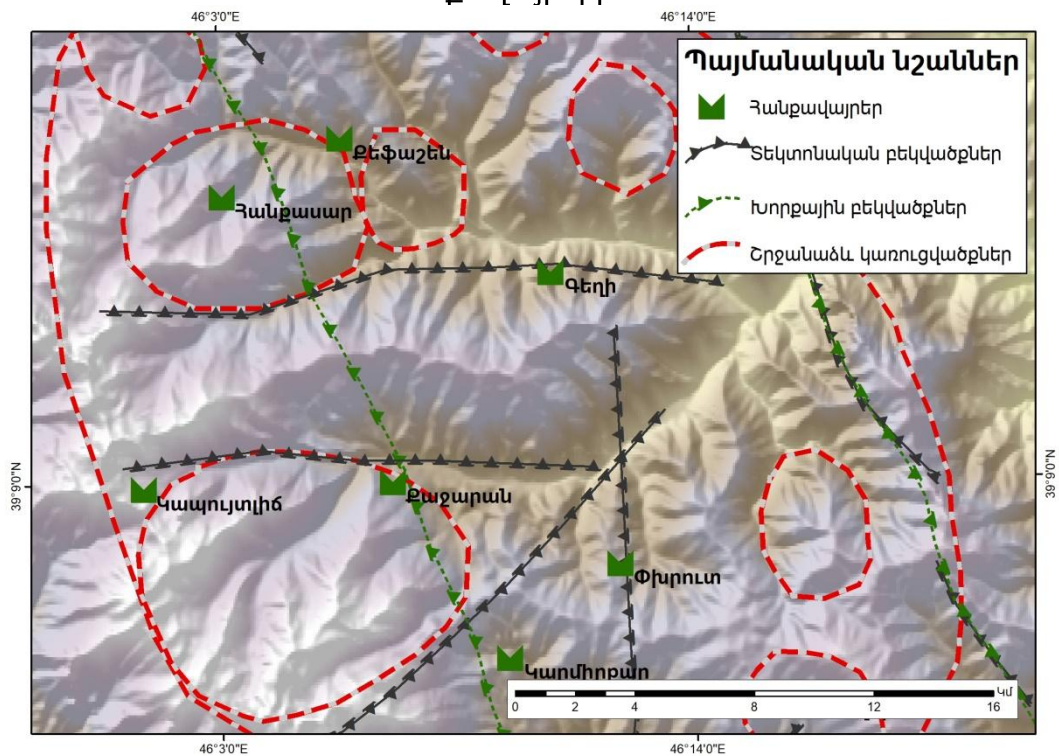
7. Մեղրի-Բարգուշատի շրջանաձև կառուցվածքների խումբը, որի գլխավոր կառուցվածքը ունի 24 կմ տրամագիծ, ձևավորվում է հետևյալ գեոմորֆոլոգիական միավորներով. հյուսիսում և հյուսիս-արևելքում՝ Բարգուշատի լեռնաշղթան, արևմուտքում Զանգեզուրի լեռնաշղթայի միջին մասը և հարավում ու հարավ-արևելքում՝ Մեղրիի լեռնաշղթան (տես՝ Հավելված 5): Մեղրի-Բարգուշատի շրջանաձև կառուցվածքների խումբը կազմված է Պալեոզոյի, Մեզոզոյի և Պալեոգենի նստվածքային և հրաբխային ապարներից, որոնք տեղ-տեղ ճեղքոտվում են փոքր ինտրուզիվ մարմիններով: Այս խմբի հետ են կապված Քաջարանի (Cu, Mo), Փխրուտի (Au, Ag, Pb, Zn), Հանքասարի (Mo, Cu), Լիճքի (Cu) հանքավայրերը և երևակումները:

8. Միջին Աղստևի առանձին շրջանաձև կառուցվածքը ունի 12 կմ տրամագիծ (տես՝ Հավելված 6): Այն հստակորեն արտահայտված է ռելիեֆում և լավ դիտարկվում է տեղանքի մակերևույթային հոսքի առանձնահատկություններով: Կառուցվածքի կենտրոնական մասում Դիլիջանի գոգավորությունն է, որը եզրագծվում է հարավից՝ Միափորի և հյուսիսից՝ Հալաբի լեռներով: Կառուցվածքը հիմնական մասում կազմված է հրաբխային ապարներից՝ Միջին Էոցենի ավազաքարերից, կրաքարներից, տուֆերից, բազալտային հոսքերից: Հյուսիսային մասում ծածկված է Միջին Յուրայի ծովային նստվածքներից և հրաբխա-նստվածքային ապարներից:

9. Փամբակ-Շիրակի կառուցվածքը գտնվում է Փամբակ գետի հովտի վերին հատվածում (տես՝ Հավելված 7): Հյուսիսից այն եզրավորված է Շիրակի փոքր լեռնաշղթայով, հարավից՝ Փամբակի լեռնաշղթայով: Արևմուտքից այն սահմանափակվում է Զաջուռի ցածր լեռնաշղթայով: Կառուցվածքը եզրերում կազմված է Վերին Կավճի, Պալեոցենի և Էոցենի հրաբխա-նստվածքային ապարներից, իսկ կենտրոնում Պլիոցենի հզոր լճա-գետային հզոր նստվածքներից: Փամբակ-Շիրակի կառուցվածքն ունի օվալային ձև, որի մեծ տրամագիծն ունի 15 կմ, իսկ փոքրը՝ շուրջ 12 կմ:



Նկ. 57 Գուգարք-Վիրահայոց շրջանաձև կառուցվածքների խմբի տարածական կապը հանքավայրերի հետ



Նկ. 58 Մեղրի-Բարգուշատի շրջանաձև կառուցվածքների խմբի տարածական կապը հանքավայրերի հետ

Ինչպես արդեն նշվել է վերևում և շրջանաձև կառուցվածքները բնութագրելիս՝ որոշակի տարածական կապ է նկատվում շրջանաձև կառուցվածքների և հանքավայրերի միջև: Երկու օրինակների միջոցով նաև փորձել ենք հստակ կերպով

ապացուցել, որ նման կապը առկա է նաև ՀՀ տարածքում քարտեզագրված շրջանաձև կառուցվածքներից որոշների համար:

Հանքավայրերի և շրջանաձև կառուցվածքների տարածական կապի առաջին օրինակը Գուգարք-Վիրահայոց խմբի հատվածում է (Նկ. 57): Այստեղ Թեղուտի հանքային դաշտը տարածականորեն հարում է Գուգարք-Վիրահայոց խմբի շրջանաձև կառույցներից մեկին: Հանքադաշտը տեղակայված է Դեբեդյան բրախիանտիկլինալի հյուսիս-արևելյան թևում, ընդգրկում է Շնող-Կողբի ինտրուզիվ զանգվածի հարավ-արևմտյան ու արևմտյան հատվածները և իրենից ներկայացնում է բավականին բարդ տեկտոնական հանգույց: Տեղանքը հյուսիս-արևմտյան, հյուսիս-արևելյան, մերձլայնական և մերձմիջօրեական ուղղության բազմաթիվ խզվածքների և տեկտոնական ճեղքերի համակարգով մասնատված է փոքր տեկտոնական բլոկների: Առանձնացված շրջանաձև կառուցվածքի սահմաններում է տեղակայված Թեղուտի մոլիբդեն-պղինձ-պորֆիրային արդյունաբերական հանքավայրը [6]:

Շրջանաձև կառուցվածքների և հանքավայրերի տարածական կապի արձանագրված և քարտեզագրված հաջորդ օրինակը գտնվում է Մեղրի-Բարգուշատի հանգույցի սահմաններում՝ Զանգեզուրի հանքային դաշտի կենտրոնական հատվածի շրջանում, որի հիմքում ընկած են ստորին միոցենի պորֆիրանման գրանիտների և գրանոդիորիտների զանգվածը (Նկ. 58): Կառուցվածքի արևելյան եզրով է անցնում Երևան-Օրդուբադ խորքային բեկվածքը, իսկ հյուսիսային, հարավային և արևմտյան եզրերում այն սահմանափակվում է ներզոնալ խզվածքներով: Տվյալ կառուցվածքի սահմաններում է տեղակայված Քաջարանի պղինձ-մոլիբդենային արդյունաբերական հանքավայրը [52]:

Ամփոփելով, կարող ենք նշել, որ շրջանաձև կառուցվածքները մարդկությանը հայտնի էին շատ վաղուց, սակայն դրանց ինտենսիվ հետազոտությունները իրականացվել են սկսած 1970-ական թվականներից, երբ հնարավոր եղավ Երկրի մասին գիտություններում կիրառել հեռահար զոնդավորման արդյունքում ստացված տվյալները: Ներկայումս գեոմորֆոմետրիական վերլուծության մեթոդի զարգացումը Երկրի մակերևույթի ձևերի նույնականացման հավելյալ հնարավորություն է տալիս: Կիրառելով այս մոտեցումը՝ ՀՀ տարածքում քարտեզագրվել են շուրջ 50 շրջանաձև

կառուցվածքներ: Հիմնվելով վերոնշյալ նկարագրումների ու փաստերի վրա՝ վստահությամբ կարելի է ասել, որ շրջանաձև կառուցվածքները հանդիսանում են ՀՀ տարածքի գեոմորֆոլոգիական ու երկրաբանական բնութագրի անբաժան ու կարևորագույն մասնիկները:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Իրականացնելով ՀՀ ռելիեֆի գեոմորֆոմետրիական համապարձակ վերլուծություն հանգել ենք հետևյալ եզրակացություններին.

1. Ծագումնաբանական հատկանիշների հիման վրա շրջանացված ՀՀ ռելիեֆի խոշորագույն միավորներն ունեն նաև գեոմորֆոմետրիական բնութագրիչների հստակ տարբերություն: Խիստ մասնատված էրոզիոն-դենուդացիոն ծալքաբեկորավոր զոնաներից դեպի թույլ մասնատված հրաբխային բարձրավանդակ անցում կատարելիս տեղի է ունենում մակերևույթի թեքությունների, պլանային և պրոֆիլային կորությունների արժեքների օրինաչափ փոքրացում և հոսքի հետագծի արժեքի ավելացում:

2. Գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների համադրման արդյունքում՝ բազմաչափ տվյալների հավաքածուների դասակարգման մոդելի կիրառմամբ ռելիեֆի տիպոլոգիական շրջանացման մոտեցումը կարելի է կիրառել թե հանրապետության ամբողջ տարածքի համար, թե գեներալիզացիայի ռեգիոնալ մակարդակներում (առանձին վարչական կամ ֆիզիկաաշխարհագրական միավորի մակարդակում):

3. Չնայած այն փաստին, որ մակերևույթների կողմնադրությունը հանդիսանում է բարձրությունների զանգվածի առաջին կարգի ածանցյալներից մեկը, այն չի կիրառվել դասակարգման ընթացքում: Չկիրառման պատճառն այն է, որ դասակարգման ընթացում այն առաջացնում է հավելյալ զոնավորում, պատճառ է հանդիսանում դասակարգման արդյունքների աղավաղման:

4. Շրջանացման հիմքում ընկած գեոմորֆոմետրիական ցուցանիշների ներկայացված համադրումը գեոմորֆոմետրիական հետազոտություններում կիրառվել է առաջին անգամ: Շրջանացման արդյունքները ներկայացվել են, ռելիեֆի ձևերի (դասերի) եռաստիճան հիերարխիկ-տիպոլոգիական սխեմայի տեսքով:

5. Ստվերային ռելիեֆի և մակերևույթի կողմնադրությունների քարտեզների կիրառմամբ ՀՀ տարածքում հայտնաբերվել և քարտեզագրվել են մակերևույթի շրջանաձև կառուցվածքներ: Դրանց հատկանիշները մեծ մասամբ համապատասխանում են առ այսօր հրատարակված աղբյուրներում շրջանաձև կառուցվածքների նկարագրություններին: Նշված փաստերը թույլ են տալիս ենթադրել, որ շրջանաձև կառուցվածքները հանդիսանում են ՀՀ ռելիեֆի կարևոր տարրեր:

6. Նկատվում է նաև շրջանաձև կառուցվածքների և հանքավայրերի տարածական կապ: Այդ կապն արտահայտվում է նրանով, որ շրջանաձև կառուցվածքների սահմաններում առկա են ընդհանուր ֆորմացիոն դասի (Cu-Mo, Cu-պիրիտ, Au-բազմամետաղային և այլն) արդյունաբերական հանքավայրեր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Գաբրիելյան Հ. Կ.: Հայկական լեռնաշխարհ: Երևան, ԵՊՀ հրատ., 2000, 376 էջ:
2. Գևորգյան Ֆ. Ս. Պողոսյան Դ. Ա.: Հայկական ՍՍՀ տերիտորիայի մորֆոմետրիական քարտեզագրման մի քանի արդյունքների մասին // Հայկ. ՍՍՀ ԳԱ տեղեկագիր: Երկրի մասին գիտություններ, 1970, №4, էջ 16–24:
3. Հայկական ՍՍՀ գեոմորֆոլոգիա: Երևան, ՀՍՍՀ ԳԱ հրատ, 1986, 237 էջ:
4. Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն: Երևան, ՀՍՍՀ ԳԱ հրատ.: 1971, 471 էջ:
5. Մանուկյան Ն. Վ.: ՀՀ Գեոէկոլոգիական շրջանների ռելիեֆի պայմանների որակական համալիր գնահատման ըստ ձևաչափական քանակական ցուցանիշների // ԵՊՀ Գիտական տեղեկագիր: Երկրաբանություն և աշխարհագրություն, 2009, №2, էջ 42-47
6. Մովսիսյան Հ.Ի.: Շնող-Կողբի հանքային հանգույցում ներծին հանքայնացման տեղայնացման զոնայականության մասին // Կրթությունը և Գիտությունը Արցախում, 2009, № 3-4, էջ 81-86
7. Абрамович Г. Я., Туркова И. Н. Кольцевые структуры Восточного Саяна // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири: сб. науч. тр. Иркутск: Изд-во Иркут. У-нта, 2005, с. 105-113.
8. Авакян А.А., Ерицян Г.Г., Пилоян А.С. О высотных характеристиках рельефа территории Армении и методах их вычисления на основе цифровой модели рельефа масштаба 1:200000 // Известия НАН РА, Науки о Земле, 2010, 63, №3, с. 48-58.
9. Аракелян Р. А. О некоторых закономерностях распределения и взаимосвязи прямолинейных и дугообразных форм, отраженных на космических снимках // Изв. Вузов. Сер. геология и разведка. Москва: 1978, №10, с. 178-180.
10. Асланян А. Т. Региональная геология Армении. Ереван: Айпетрат, 1958, 430 с.
11. Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. Ереван: Изд-во ЕГУ, 1969, 390 с.

12. Баранов Ю. Б., Берлянт А.М., Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Серапинас Б. Б., Филиппов Ю. А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов Москва: ГИС-Ассоциация, 1999, 204 с.
13. Берлянт А.М. Картографический метод исследований. Москва: Изд-во МГУ, 1978, 254 с.
14. Берлянт А.М. Картография. Москва: Аспект Пресс, 2002, 336 с.
15. Бойнагрян В. Р. Склоны и склоновые процессы Армянского нагорья. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2007, 280 с.
16. Болиг А. Очерки по геоморфологии. Москва: Изд-во Иностранной литературы, 1956, 232 с.
17. Бондырев И. В. Кольцевые структуры Грузии // Геотектоника, 2003, №2, с. 98-108.
18. Валесян Л. А. Погосян Д. А. Геворкян Ф. С. Тамазян А. А. Некоторые результаты картирования и хозяйственной оценки уклонов поверхности Армянской ССР // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1966, №6, с. 84–89.
19. Вентцель Е. С. Теория вероятностей (Учеб. для вузов. 6-е изд). Москва: Высш. шк., 1999, 576 с.
20. Габриелян А. А. Основные вопросы тектоники Армении. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1959, 185 с.
21. Гарибян В. Г. К методике составления комплексных морфометрических карт на примере бассейна р. Дебет // Ученые записки Ереванского государственного института: Естественные науки, 1, 1978, с 21-32.
22. Геворкян Ф. С. Морфологический анализ погребенных морфоструктур западной части Араратской котловины // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1975, №5, с. 49–60.
23. Геодакян В. А. Организация систем – живых и неживых // Системные исследования. Москва: Наука, 1970, с. 49-62
24. Геоинформатика: Толковый словарь основных терминов / Баранов Ю.Б. и др. Москва: ГИС – Ассоциация, 1999, 204 с.

25. Геология Армянской ССР. Том I. Геоморфология. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1962, 432 с.
26. Ерицян А.Г. Сравнение цифровых моделей рельефа, полученных с топографических карт масштаба 1:50000, 1:100000 и 1:200000 с ЦМР SRTM. // Известия НАН РА, Науки о Земле, 2013, 66, №1, с. 39-47.
27. Зограбян Л. Н. Аракелян Р. А. Опыт применения карт базисных поверхностей в анализе морфоструктуры молодой складчатой области // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1969, №2, с. 80-90.
28. Зограбян Л. Н. Геворгян Ф. С. «Энергия рельефа», ее картирование и значение в процессе эрозии // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1969, №4, с. 80–86
29. Зограбян Л. Н. О геоморфологических исследованиях в Армянской ССР // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1975, №2, с. 50–55.
30. Зограбян Л. Н. Орография Армянского нагорья (опыт орографического анализа морфоструктуры). Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1979, 119 с.
31. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Москва: Высшая школа, 1991, 366 с.
32. Кац Я. Г., Тевелев А. В., Полетаев А. И. Основы космической геологии. Москва: Недра, 1988, 236 с.
33. Кац Я.Г., Козлов В. В., Полетаев А. И., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Кольцевые структуры лика планеты. Москва: Знание, 1989, 48 с.
34. Космогеология СССР. Ред. Е. А. Козловский, Н. В. Межеловский, В. Н. Брюханов. Москва: Недра, 1987, 320 с.
35. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности (Принципы и методы статической геоморфологии). Ленинград: Недра, 1991, 340 с.
36. Леонтьев О.К. Рычагов, Г.И. Общая геоморфология. Москва: Высшая школа, 1979, 287 с.

37. Лукина Н. В., Караханян А. С., Трифонов В. Г., Сенин Б. В. Линейные и кольцевые структуры Крымско-Кавказской области // Космическая информация в геологии. Москва: Наука, 1983, с. 195-207.
38. Мурадян К.М. Рудоносность вулканогенных формаций Малого Кавказа. Ереван: Изд. НАН РА, 1994, 359 с.
39. Мусин О.Р., Сербенюк С.Н. Цифровые модели рельефа континуальных и дискретных географических полей // Банки географических данных для тематического картографирования. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1987, с. 156-170.
40. Мусин О.Р. Цифровые модели для ГИС // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. Москва: 1998 №4 (16), с. 30-32.
41. Николаевская Е.М. Морфометрические карты рельефа. Москва: Изд-во МГУ, 1966, 30 с.
42. Остроумова А. С. Голынки И. Н. Комплексное исследование вулканических образований (на примера Алавердского рудного узла) // Принципы и методы оценки рудоносности геологических формации. Магматические формации. Леанинград: «Недра», 1983, с. 236-248.
43. Погосян Д. А. О составлении карты эрозионного коэффициента территории Армянской ССР // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1971, №6, с. 80-84.
44. Погосян Д. А. О составлении комплексной морфометрической карты рельефа Армянской ССР // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1974, №2, с. 79-84.
45. Пилюян А. С. О некоторых геоморфометрических показателях бассейна р. Агстев в пределах РА // Ученые записки ЕГУ. Геология и география, 2012, №1, с. 32-39.
46. Рычагов Г.И. Общая геоморфология (учебник. - 3-е изд., перераб. и доп). Москва: Наука, 2006, 416 с.
47. Свентек Ю. В. Теоретические и прикладные аспекты современной картографии. Москва: Эдиториал УРСС, 1999, 80 с.
48. Сербенюк С. Н., Кошель С. М., Мусин О. Р. Методы моделирования геополей по данным в нерегулярно расположенных точках // Геодезия и картография, 1990, №11, с. 31-35.

- 49.Сильвестров С.И. Сравнительная оценка влияния на эрозию основных факторов // Районирование территории СССР по основным факторам эрозии. Москва: Наука, 1965, с. 58-87.
- 50.Симонов Ю. Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва-Смоленск: Изд-во Смоленского Государственного Университета, 1998, 272 с.
51. Симонов Ю. Г. Объяснительная морфометрия рельефа. Москва: ГЕОС, 1999, 263 с.
- 52.Таян Р. Н. О центральной магмо-родоконтролирующей зоне Зангезурского рудного района // Известия НАН РА, Науки о Земле, 1998, 51, №3, с. 20-26.
- 53.Тер-Крикоров А. М., Шабунин М. И. Курс математического анализа: Учеб. пособ. для вузов. Москва: Изд-во МФТИ, 1997, 720 с.
- 54.Черванев И. Г., Голиков А. П., Трофимова А. М. Математические методы в географии. Харьков: Изд-во при Харьковском Гос.Ун-те, 1986, 143 с.
- 55.Червяков В. А. Концепция поля в современной картографии. Новосибирск: Наука, 1978, 149 с.
- 56.Чичагов В. П., Девдариани А. С. Морфометрия в работах А. Болига (Франция) и А. Стралера (США) // Вопросы географии. Москва: Изд-во АН СССР. 1963, №63, с 153-158.
- 57.Щукин И. С. Общая геоморфология. Москва: Изд-во МГУ, 1960, 615 с.
- 58.Adediran A.O., Parcharidis I., Poscolieri M., Pavlopoulos K. Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients // Geomorphology, 2004, #58, pp. 357–370.
- 59.Bates, P.D., Anderson, M.G., Horrit, M. Terrain information in geomorphological models: stability, resolution and sensitivity. In: Lane, S., Richards, K., Chandler, J. (Eds.), Landform Monitoring, Modelling and Analysis. Chichester: Wiley, 1998, pp. 279–309.
60. Berry P. A. M., Garlick J. D., Smith R. G. Near-global validation of the SRTM DEM using satellite radar altimetry // Remote Sensing of Environment, 2007, Vol. 106 Issue 1, pp. 17-27.

61. Bezdek C. J. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 1981, 271 p.
62. Brown D. G., Lusch D. P., Duda, K. A. Supervised classification of types of glaciated landscapes using digital elevation data // *Geomorphology* 1998, #21, pp. 233–250.
63. Burrough P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment (Monographs on Soil and Resources Survey). New York: Oxford University Press, 1986, 194 p.
64. Burrough P. A., McDonnell R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998, 299 p.
65. Burrough, P. A., van Gaans, P. F. M., MacMillan, R. A. High-resolution landform classification using fuzzy k-means // *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, #113, pp. 37–52.
66. Burrough P. A., Wilson J. P., van Gaans P. F. M., Hansen A. J. Fuzzy k-means classification of topo-climate data as an aid to forest mapping in the greater Yellowstone area, USA // *Landscape Ecology*, 2001, #16, pp. 523– 546.
67. Butler D. Geomorphic process-disturbance corridors: a variation on a principle of landscape ecology // *Prog. Phys. Geogr.*, 2001, #25, pp. 237–248.
68. Castel T., Oettli P. Sensitivity of the C-band SRTM DEM Vertical Accuracy to Terrain Characteristics and Spatial Resolution // Conference: Headway in Spatial Data Handling, 13th International Symposium on Spatial Data Handling, Montpellier, France, 23-25 July 2008, pp. 163–176
69. Chen C.H. Image Processing for Remote Sensing. New York: CRC Press, 2007, p. 400.
70. Crevenna A. B., Vicente, T. R., Valentino S., Frame D., Ortiz M.A., Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico // *Geomorphology*, 2005, #67, pp. 407–422.
71. Crippen R. E., Hook S. J., Fielding E. J. Nighttime ASTER thermal imagery as an elevation surrogate for filling SRTM DEM voids // *Geophysical Research Letters*, 2007, 34 (1), p. L01302.

72. Dale V., Joyce L., McNulty S., Neilson R., Ayres M., Flannigan M., Hanson P., Irland L., Lugo A., Peterson C., Simberloff D., Swanson F., Stocks B., Wotton B. Climate Change and Forest Disturbances // *BioScience*, 2001, 51 (9), pp. 723–734.
73. Dalrymple, J. B., Blong, R. J., Conacher, A. J., A hypothetical nine unit land surface model // *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1968, #12, pp. 60–76.
74. De Bruin S., Stein A. Soil-landscape modelling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from a Digital Elevation Model (DEM) // *Geoderma*, 1998, #83, pp. 17-33.
75. Dehn M., Gärtner H., Dikau R. Principles of semantic modeling of landform structures // *Computers & Geosciences*, 2001, #27, pp. 1005–1010.
76. DeMers M. *Fundamentals of Geographic Information Systems*, 4th Edition. New York: Wiley, 2008, 464 p.
77. Dikau, R., The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: Raper, J. (Ed.), *Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1989, pp. 51–77.
78. Dragut L., Blaschke T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis // *Geomorphology*, 2006, #81, pp. 330–344.
79. Dragut L., Eisank C. Automated object-based classification of topography from SRTM data // *Geomorphology*, 2012, #141-142, pp. 21-33.
80. Du C. An algorithm for automatic Delaunay triangulation of arbitrary planar domains // *Advances in Engineering Software*, 1996, 27, pp. 21-26
81. *Error Theory as Applied to Mapping, Charting and Geodesy*. United States Defense Mapping Agency Technical Report 8400.1. Fairfax, Va.: Defense Mapping Agency, 1991, 109 p.
82. Ehsani. A. H., Quiel, F. Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks // *Geomorphology* 2008, #99, pp. 1–12.
83. Evans I. S. *General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics* // *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen-London: 1972, pp. 17-90.

84. Farr T.G., et al. The shuttle radar topography mission // *Reviews of Geophysics*, 2007, 45 (2005), pp. 1-33.
85. Forman R. T. T., *Land Mosaics. The Ecology of Landscape and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 632 p.
86. Freeman G. T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid // *Computers and Geosciences*, 1991, #17, pp. 413-422
87. Gallant J., Wilson J. TAPES-G: A grid-based terrain analysis program for the environmental sciences // *Computers and Geosciences*, 1996, 22(7), pp. 713-722
88. Gauss K. F. *Disquisitiones generales circa area superficies curvas* // *Gott. gel. Anz.*, 1827, #177, pp. 1761-1768
89. Ghoneim, E.M. Ibn-Batutah: A possible simple impact structure in southeastern Libya, a remote sensing study // *Geomorphology*, 2009, 103, 341–350.
90. Golden Software, Surfer Version 6.01. Surface Mapping System. Golden, CO.: Golden Software Inc., 1995, 307 p.
91. Gordon J. E., Brazier V., Lees G., *Geomorphological systems: developing fundamental principles for sustainable landscape management*. In: o'Halloran D., Green C., Harley M., Stanley M., Knill J. (Eds.), *Geological landscape conservation*. London: Geological Society, 1994, pp. 185–189.
92. Gorokhovich Y., Voustianiouk, V. Accuracy assessment of the processed SRTM-based elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics // *Remote Sensing of Environment*, 2006, #104, pp. 409–415.
93. Guth P. Geomorphometry in MicroDEM. Chapter 15. In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. Amsterdam: Elsevier, 2009, v. 33, pp. 351–366.
94. Hayakawa Y. S., Oguchi T., Lin Z. Comparison of new and existing global digital elevation models: ASTER G-DEM and SRTM-3 // *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(17), p. L17404
95. Hancock G. R., Martinez C., Evans, K. G., Moliere, D. R. A comparison of SRTM and high-resolution digital elevation models and their use in catchment geomorphology and

- hydrology: Australian examples // *Earth Surface Processes and Landforms*, 2006, 31, pp. 1394–1412.
96. Hengl T., Rossiter D.G. Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey // *Journal of the Soil Science Society of America*, 2003, 67, pp. 1810–1822.
 97. Hofierka J., Mitasova H., Neteler M., Geomorphometry in GRASS GIS. Chapter 17. In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. Amsterdam: Elsevier, 2009, v. 33, pp. 387–410.
 98. Horn B. Hill Shading and the Reflectance Map // *Proceedings of the IEEE*, 1981, Vol. 69, pp. 14-47.
 99. Horton R. E. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins, Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology // *Bulletin of the Geological Society of America*, 1945, # 56, pp. 275-330.
 100. Hubbard B.E., Sheridan M.F., Carrasco-Núñez G., Díaz-Castellón R., Rodríguez S.R. Comparative lahar hazard mapping at Volcan Citlaltépetl, Mexico using SRTM, ASTER and DTED-1 digital topographic data // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2007, #160, pp. 99-124.
 101. Huggel C., Schneider D., Julio Miranda P., Delgado Granados H., Käab A. Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: a case study on lahars from Popocatépetl Volcano, Mexico // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, #170, pp. 99-110.
 102. Hunsaker C. T., Levine D. A., Timmins S.P., Jackson B. L., O'Neill R.V. Landscape characterization for assessing regional water quality. In: McKenzie, D.H., Hyatt, D.E., McDonald, V.J. (Eds.), *Ecological Indicators*. New York: Elsevier, 1992, pp. 997-1006.
 103. Hutchinson M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits // *Journal of Hydrology*, 1989, #106, pp. 211-232.
 104. Irvin, B.J., Ventura, S.J., Slater, B.K. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin // *Geoderma*, 1997, #77, pp. 137–154.

105. Iwahashi J., Pike R.J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature // *Geomorphology*, 2007, #86, pp. 409–440.
106. Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database, 2008, (<http://srtm.csi.cgiar.org>)
107. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, Vol. XXXVII, Part B7. pp. 169-172.
108. Kolečka N., Kozak J. Assessment of the Accuracy of SRTM C- and X-Band High Mountain Elevation Data: a Case Study of the Polish Tatra Mountains // *Pure and Applied Geophysics*, 2014, #171, pp. 897–912.
109. Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory // *Acta Geographica Universitatis Comnianaee, Geographico-Physica*, 1983, #1, pp. 7-223.
110. Kulakov, A.P., Qiu, S.W., Miasnikov, E.A., Wang X.K., Tashchi S.M., Zhao H.Ch., Song, Ch.Ch. Ring-morphostructures of the Amur-Songhua-Huanghe lineament (eastern margin of Asia) // *Chinese Geographical Science*, 2000, 10 (4), pp. 348–355.
111. Lindsay J. B. Geomorphometry in TAS GIS. Chapter 16. In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. Amsterdam, Elsevier, 2009, v. 33, pp. 367–386.
112. Lindsay J. B. The Whitebox Geospatial Analysis Tools project and open-access GIS // *Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference, The University of Glasgow*, 16-18 April, 2014, pp 16-18.
113. Lloyd S. P. Least square quantization in PCM // *Bell Telephone Laboratories*, 1957, 28 (2), pp. 129–137.
114. Lopez-Blanco J., Villers-Ruiz L. Delineating boundaries of environmental units for land management using a geomorphological approach and GIS - a study in Baja California, Mexico // *Remote Sens. Environ*, 1995, #53, pp. 109–117.

115. MacMillan R. A., Pettapiece W. W., Nolan S. C., Goddard T. W. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic // *Fuzzy Sets Syst.*, 2000 #113, pp. 81–109.
116. MacMillan R. A., Shary P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry // *Developments in soil science*, 2009. #33, pp. 227-254.
117. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proc. 5th Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability*, 1967, pp. 281—297.
118. Mitsova H., Hofierka J. Interpolation by regularized spline with tension: Application to terrain modeling and surface geometry analysis // *Math. Geology*, 1993, 25(6), pp. 657-669.
119. Moore I. D., Grayson R. B., Landson A. R. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications // *Hydrological Processes*, 1991, #5, pp. 3-30.
120. Moore I. D., Lewis A., Gallant J. C. Terrain Attributes: Estimation Methods and Scale Effects. In: Jakeman A J, Beck M B, McAleer M (eds), *Modelling change in environmental systems*. New York: John Wiley & Sons Inc. 1993, pp. 189-214.
121. Moravej K., Karimian Eghbal M., Toomanian, N., Shahla Mahmoodi S. Comparison of automated and manual landform delineation in semi detailed soil survey procedure // *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(17), pp. 2592-2600.
122. O'Callaghan J. F. Mark D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1984, #28, pp. 323-344.
123. Olaya V., Conrad O., Geomorphometry in SAGA, Chapter 12. In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*. Amsterdam: Elsevier, 2009, v. 33, pp. 293-308.
124. O'Neill R. V., Hunsaker C., Jones K. B., Riitters K. H., Wickham J. D., Schwarz P., Goodman I. A., Jackson B., Baillargeon W. S. Monitoring environmental quality at the landscape scale // *Bioscience*, 1997, #47, pp. 513–519.

125. Pennock D. J., Zebarth B. J., de Jong E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain // *Geoderma*, 1987, Vol. 40. no. 3-4, pp. 297-315.
126. Pike R.J. The geometric signature: Quantifying landslide terrain types from digital elevation models // *Mathematical Geology*, 1984, 20(5), pp. 491-511.
127. Pike R. J. A bibliography of geomorphometry: United States Geological Survey Open-File Report 93-262-A. Menlo Park, CA, 1993, 132 p.
128. Pike R. J. Geomorphometry - progress, practice, and prospect // *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*, 1995, #101, pp. 221-238.
129. Piloyan A., Avagyan A. The Circular Structures of the Republic of Armenia Based on a Digital Elevation Model // *European Journal of Geography*, 2016, Volume 7, Number 3, pp. 57-69.
130. Piloyan A., Konečný M. Semi-automated classification of landform elements in Armenia based on SRTM DEM using k-means unsupervised classification // *Quaestiones Geographicae* 2017, 36(1), pp. 93–103.
131. Press W. H. Flannery B. P., Teukolsky S. A., Vetterling W. T. Numerical Recipes in C. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press. 1992, 994 p.
132. Prima, O. D. A., Echigo A., Yokoyama R., Yoshida T. Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps // *Geomorphology*, 2006, # 78, pp. 373–386.
133. Quinn P. Beven K. Chevallier P. Planchon O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models // *Hydrological Processes*, 1991, #5, pp. 59-79.
134. Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2003, #57, pp. 241–262.
135. Reuter H. I., Nelson A., Jarvis A. An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data // *International Journal of Geographic Information Science*, 2007, 21(9), pp. 983-1008.

136. Robinson A.H. The cartographic representation of statistical surface // *Inter. Yearbook of Cartogr*, 1961, #1, pp 53-63.
137. Rodriguez E., Morris C., Belz J., Chapin E., Martin J., Daffer W., Hensley S. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639 // Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, CA, 2005, 143 p.
138. Schmidt J. Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position // *Geoderma*, 2004, #121, pp. 243-256.
139. Schumm S. A. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey // *Geol. Soc. Am., Bull.*, 1956, 67(5), pp. 597-646.
140. Schillaci C., Braun A., Kropáček J. Terrain analysis and landform recognition. Section 2.4.2. In: Cook, S. J., Clarke, L. E. & Nield, J. M. (Eds.) *Geomorphological Techniques* (Online Edition). British Society for Geomorphology. London: 2012, pp.1-18
141. Shary P. A. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures // *Mathematical Geology.*, 1995, #27, pp. 373-390.
142. Shary P. A., Sharaya L. S. & Mitusov A. V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // *Geoderma*, 2002, #107, pp. 1-32.
143. Shary P. A., Sharaya L. S., Mitusov A. V. The problem of scale-specific and scale-free approaches in geomorphometry // *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 2005, #28 (1). pp. 81-101.
144. Skidmore A.K., A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from gridded elevation data // *Int. Jour. Geogr. Inf. Syst.*, 1989, #3, pp. 323-334.
145. Soul M. J. *A Geologist Speculates: On Gemstones, Origins of Gas and Oil, Moonlike Impact Scars on the Earth, the Emergence of Animals and Cancer*. Paris: Les 3 Colonne, 2014, 160 p.
146. Steinhaus H. Sur la division des corps materiels en parties // *Bull. Acad. Polon. Sci.*, 1956, #4, pp. 801-804.
147. Stepinski, T. F., Collier, M. L. Extraction of Martian valley networks from digital topography // *Journal of Geophysical Research*, 2004. #109, pp. E11005.

148. Stepinski T. F., Vilalta R. Digital topography models for Martian surfaces // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2005, #2, pp. 260–264.
149. Stevens N. F., Garbeil H., Mouginis-Mark P. J. NASA EOS Terra ASTER: volcanic topographic mapping and capability // Remote Sensing of Environment, 2004, #90, pp. 405–414.
150. Stewart, S.A. Circular geological structures outcropping in the sedimentary basins of Saudi Arabia // Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 106, pp. 95–118.
151. Strahler A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography // Geological Society of America Bulletin, 1952, 63 (11), pp. 1117–1142.
152. Townshend J. R. G. Terrain Analysis and Remote Sensing. London: George Allen and Unwin, 1981, 232 p.
153. Turner M. G. Spatial and temporal analysis of landscape pattern // Landscape Ecology, 1990, #3, pp. 153–162.
154. Vriend S. P., van Gaans P. F. M., Middelburg J., de Nijs A. The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to geochemical datasets: examples from Portugal // Applied Geochemistry, 1988, #3, pp. 213–224.
155. Wade, S., Barbieri, M., Lichtenegger, J. The Velingara Circular Structure– A meteorite impact crater? // ESA Bulletin, 2001, 106, 135–139.
156. Weibel R., Heller M. Digital Terrain Modeling. Geographical Information Systems: Principles and Applications. London: Longman, 1991, 269–297 p.
157. Wood J. D. Automated surface feature detection from digital elevation data. Part one: A review and classification. Midlands Regional Research Report no. 20, 1990, pp. 25–38.
158. Wood J.D. Automated surface feature detection from digital elevation data. Part two: Implementation. Midlands Regional Research Laboratory Research Report no. 21, 1990, pp. 56–82.
159. Wood J. D The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models, Ph.D. Dissertation, University of Leicester, England, 1996, (<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>)

160. Wood J. D. Geomorphometry in LandSerf. Chapter 14. In: Hengl T., Reuter H.I. (Eds.), Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. Amsterdam: Elsevier, 2009, v. 33, pp. 333–349.
161. Wright R., Garbeil H., Baloga S.M., Mougini-Mark P.J. An assessment of shuttle radar topography mission digital elevation data for studies of volcano morphology // Remote Sensing of Environment, 2006, #105, pp. 41-53.
162. Young M. Terrain analysis: program documentation. Report 5 on Grant DA-ERO-591-73-G0040. Statistical characterization of altitude matrices by computer. Durham, England: Department of Geography, University of Durham, 1978, 27 p.
163. Zavoianu I. Morphometry of Drainage Basins. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: Elsevier, 1985, 251 p.
164. Zavoianu I., Cruceru N., Heritanu G. Morphometry elements of hydrographic basins with use in the characterization of relief // Revista de Geomorfologie, 2013, #15, pp. 89-98.
165. Zevenbergen L. W., Thorne C. R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography // Earth Surface Processes and Landforms, 1987, 12, pp. 47-56.

ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ

ԱՏՀ – Աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգեր

ԲԹՄ – Բարձրությունների թվային մոդել

ԳԱԱ – Գիտությունների ազգային ակադեմիա

ԵԳԻ – Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ

ՄՔՍ – Միջին քառակուսային սխալ

ՌԹՄ – Ռելիեֆի թվային մոդել

ANUDEM – Australian National University Digital Elevation Model

ASTER GDEM - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model

DEM – Digital Elevation Model

DTM – Digital Terrain Model

ESRI – Environmental Systems Research Institute

GRID – Grid Referenced Information Display

LE90 – Linear Error 90

LIDAR – Light Detection and Ranging

NASA – National Aeronautics and Space Administration

SRTM – Shuttle radar topographic mission

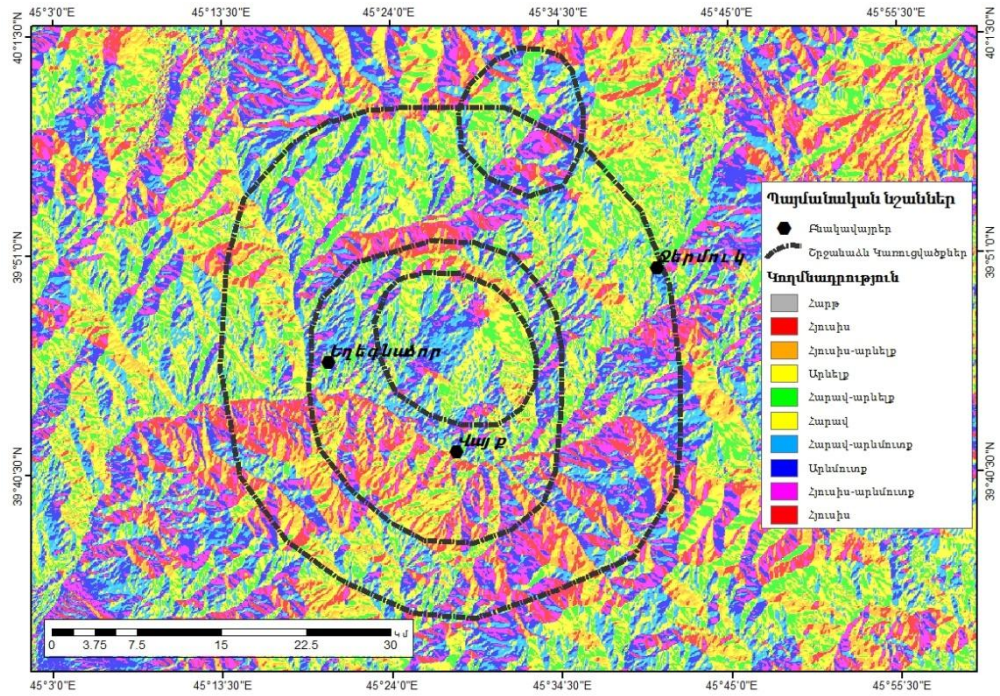
SIR-C – Spaceborne Imaging Radar-C

TIN – Triangulated Irregular Network

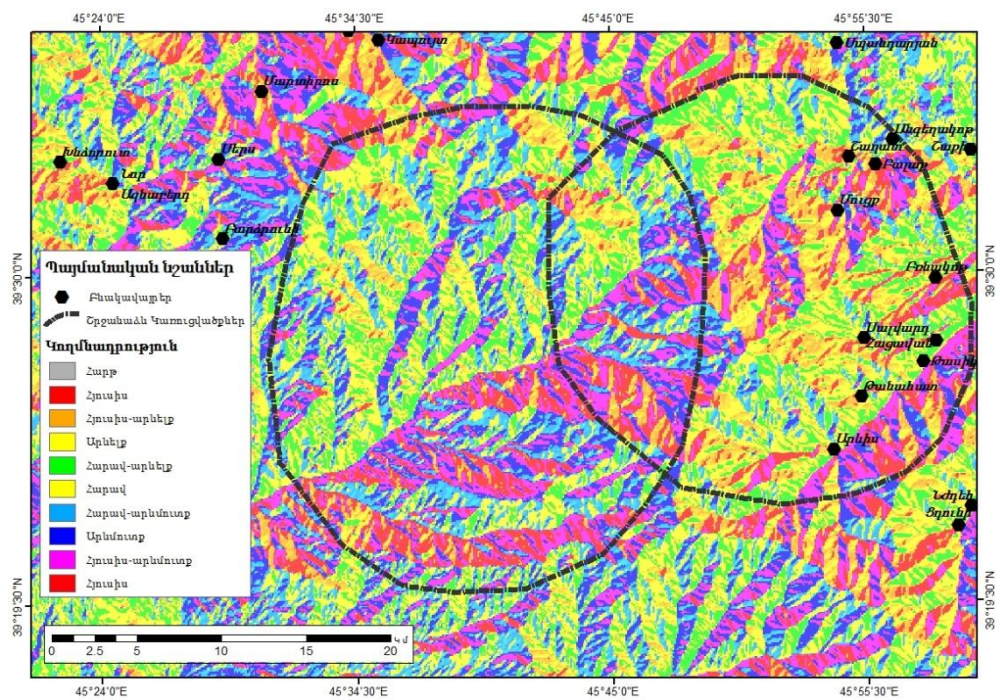
USGS – United States Geological Survey

X-SAR – X-band Synthetic Aperture Radar

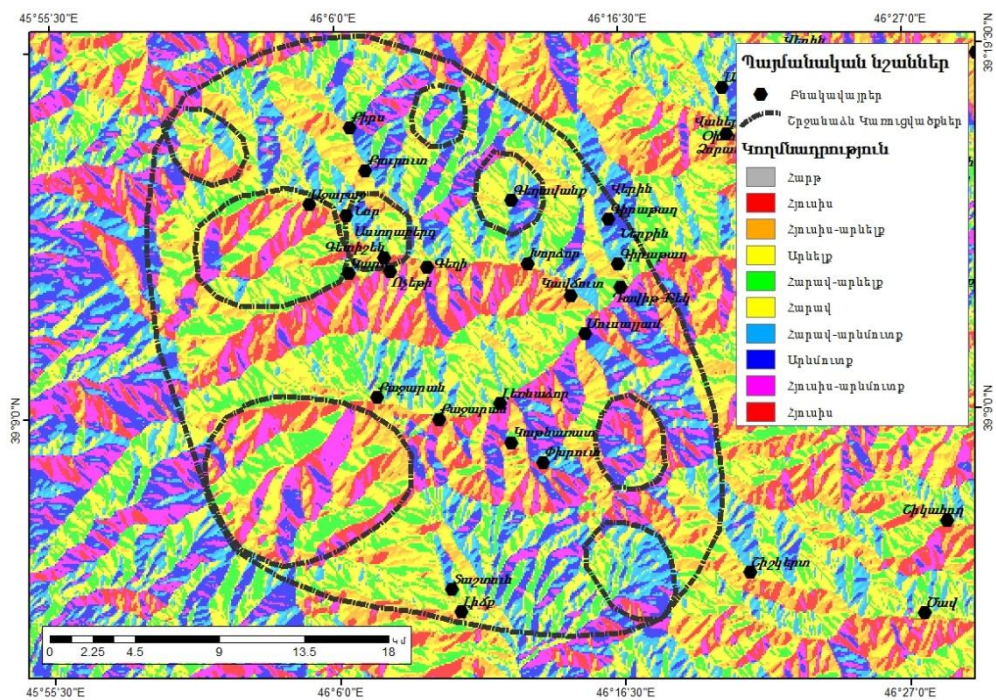
Հավելված 3. Վայքի շրջանաձև կառուցվածքների խումբը կողմնադրությունների քարտեզի վրա



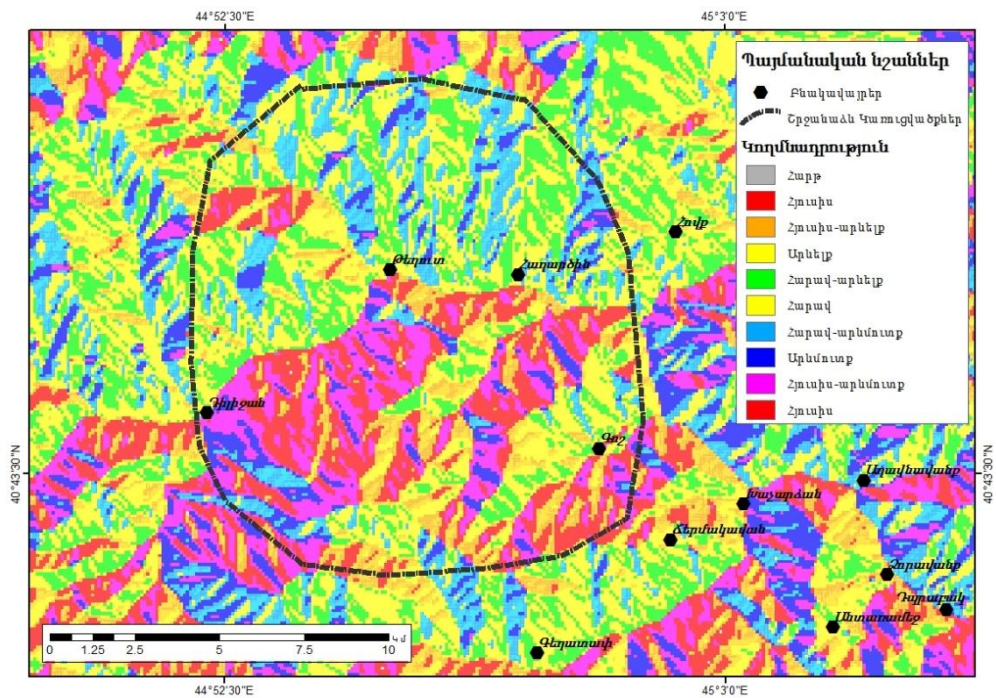
Հավելված 4. Հյուսիսային Զանգեզուրի շրջանաձև կառուցվածքների խումբը
կողմնադրությունների քարտեզի վրա



Հավելված 5. Մեղրի-Բարգուշատի շրջանաձև կառուցվածքների խումբը
կողմնադրությունների քարտեզի վրա



Հավելված 6. Միջին Աղստևի շրջանաձև կառուցվածքը կողմնադրությունների քարտեզի վրա



Հավելված 7. Փամբակ-Շիրակի շրջանաձև կառուցվածքը կողմնադրությունների քարտեզի վրա

