

**ՁՅԱՆ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ԵՎ ՀԱԼՔԻ ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ՈՒ
ՔԱՐՏԵԶԱԳՐՄԱՆ ՆՈՐ ՄԵԹՈԴ ԵՎ ԳՈՐԾԻՔԱԿԱԶՄ՝ SENTINEL-2
ԵՎ ՎԵՐԳԵՏՆՅԱ ԴԻՏԱՐԿՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ
(ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՔԱՄԱԽ ԳԵՏԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ)**

DOI: 10.54503/0515-961X-2023.76.1-51

Ավագյան Ա.Ա.¹, Առաքելյան Ա.Ա.¹, Մինասյան Գ.Հ.², Տառայան Ն.Հ.¹

¹ ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ
0019 Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պ. 24ա
e-mail: arshavir.avagyan@gmail.com

² ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտ
0014 Երևան, Պ. Մնակ 1
e-mail: mgaya@sci.am

Հանձնված է խմբագրություն 07.03.2023

Ամփոփում

Հողվածում նկարագրվում է արբանյակային տվյալների հիման վրա ձյան ծածկույթի մոնիթորինգի և քարտեզագրման մշակված նոր մեթոդը և գործիքակազմը, ինչպես նաև Քասախ գետի ավազանի համար դրանց կիրառմամբ ստացված արդյունքները: Ներկայացված մեթոդը օգտագործում է երկրի մակերևույթի արբանյակային դիտարկման և վերգետնյա հիդրոդերևութաբանական չափումների ինտեգրված տվյալները և թույլ է տալիս հաշվարկել ձյան ծածկույթի տարածքը, դրա բաշխումն ըստ բարձրության գոտիների և լանջերի կողմնադրությունների, կազմել քարտեզների շարք, որոնք ժամանակի ընթացքում արձանագրում են ձյան ծածկույթի տարածքի փոփոխությունները: Այս ուսումնասիրության արդյունքների օգտագործումը թույլ կտա առանց լրացուցիչ ծախսերի ձյան ծածկույթի մակերեսի վերաբերյալ տվյալներ ստանալ անհրաժեշտ ճշգրտությամբ, հաճախականությամբ և տարածական լուծաչափով:

Հանգուցային բառեր. արբանյակային տվյալներ, ձյան ծածկույթի մոնիթորինգ, ձյան ինդեքս, ջրային ռեսուրսներ

Ներածություն

Կլիմայական փոփոխությունների և ջրօգտագործման ինտենսիվ աճի պայմաններում չափազանց կարևոր է ջրային ռեսուրսների ձևավորման գործընթացի արդյունավետ մշտադիտարկումը, դրանց քանակական ցուցանիշների բարձր ճշտությամբ գնահատումը և տնտեսապես արդյունավետ օգտագործումը: ՀՀ-ում գործող օդերևութաբանական և հիդրոլոգիական դիտարկումների ցանցը տնօրինում ու

սպասարկում է ՀՀ Շրջակա միջավայրի նախարարության «Հիդրոօդերևութաբանության և մոնիթորինգի կենտրոն» ՊՈԱԿ-ը (ՀՄԿ): Օդերևութաբանական կայաններում և հիդրոլոգիական դիտակետերում գրանցվում են օդի ջերմաստիճանի, մթնոլորտային տեղումների, գետերում ջրի մակարդակի և ծախսի, ու մի շարք այլ ցուցանիշների արժեքներ: Այնուամենայնիվ, գործող ցանցից ստացված տվյալները, ինչպես նաև վերջիններիս մշակման և վերլուծության մեթոդները թույլ չեն տալիս լիարժեքորեն լուծել վերը նշված խնդիրները, քանի որ դիտարկումները կրում են դիսկրետ բնույթ և հիմնավոր կերպով չեն կարող ներկայացնել ամբողջ գետավազանի տարածքը:

ՀՀ գետերը, այդ թվում Քասախ գետը, պատկանելով լեռնային գետերի տիպին, հիմնականում ունեն խառը՝ հալոցքային, անձրևային և ստորերկրյա սնում, ընդ որում սնման հիմնական աղբյուրը համարվում են ձյան հալոցքային ջրերը: Այդ պատճառով, ավազանի ջրապահովվածության գնահատման և սեզոնային մակերևութային հոսքի կանխատեսման համար կարևոր նշանակություն ունեն հավաստի տվյալները ձմռան ընթացքում ձևավորված ձյան շերտի մակերեսի, բարձրության, հալքի ընթացքի և ձյան մեջ եղած ջրի պաշարի մասին: Ձյան կուտակման և հալքի պրոցեսների ուսումնասիրության նպատակով կազմվել է դրանց ընթացքի տարածաժամանակային մոնիթորինգի եղանակ և գործիքակազմ, որն օգտագործում է Sentinel-2 արբանյակային պատկերների և վերգետնյա հիդրոլոգիական ու օդերևութաբանական դիտարկումների համադրված տվյալները:

Տվյալ հոդվածում նկարագրվում են ձյան ծածկույթի քարտեզագրման մշակված եղանակը, գործիքակազմը և Քասախ գետի ավազանի համար դրանց կիրառմամբ ստացված արդյունքները: Ներկայացվող հետազոտությունը դիտարկվում է որպես ավելի ընդհանուր հեռանկարային հետազոտության՝ ձյան կուտակման և հալքի, ինչպես նաև սեզոնային և տարեկան ջրի պաշարների կանխատեսման բազմագործոն ՄՏՀ մոդելի մշակման առաջին խնդիրը: Աշխատանքի վերջնարդյունքը կարող է կիրառվել որպես լեռնային գետավազաններում ջրային ռեսուրսների արդյունավետ կառավարման պլանավորման գործիք:

Քասախ գետի ավազանի ջրային ռեսուրսների ուսումնասիրության ուղղությամբ նախորդ տարիներին կատարվել են որոշակի աշխատանքներ: Մասնավորապես, գետային հոսքի, օդի ջերմաստիճանի և մթնոլորտային տեղումների օրական արժեքների դիտարկումների երկարաժամկետ շարքերի վերլուծությամբ գնահատվել են Քասախ գետի ավազանի ջրային ռեսուրսները և մշակվել է Ապարանի ջրամբարի լցվածության կանխատեսման վիճակագրական եղանակ (Azizyan et al., 2018): Ձնհալի արհեստական կառավարման արդյունավետության գնահատման նպատակով իրականացված հայ-շվեյցարական ծրագրի սահմաններում բազմամյա դիտարկման տվյալներով և հիդրոլոգիական մոդելի կիրառմամբ Արագած լեռան ընտրված

տեղամասերի օրինակով ուսումնասիրվել են մթնոլորտային գործոնների ազդեցության հետևանքով ձյան դաշտի պարամետրերի և մակերևութային ջրային հոսքի փոփոխությունները (Nestler et al., 2014):

1.2. Հետազոտության տարածքը և օգտագործված տվյալները

Որպես ուսումնասիրության տարածք ընտրվել է Քասախ գետի ավազանը: Ուսումնասիրության համար օգտագործվել են Sentinel-2 արբանյակային տվյալները, ՀՄԿ կողմից տրամադրված Քասախի գետավազանի օդերևութաբանական կայանների և հիդրոլոգիական դիտակետերի տվյալները, ինչպես նաև SRTM 30մ լուծաչափով ռելիեֆի թվային մոդելը:

1.1. Հետազոտության տարածքը

Որպես սույն ուսումնասիրության տարածք է ընտրվել Քասախ գետի ավազանը, հաշվի առնելով Քասախի՝ ՀՀ 14 խոշոր գետերից մեկը լինելը և դրա երկրաձևաչափական (հիպսոմետրիկ) առանձնահատկությունները, արմատական ապարների միատարր լիթոլոգիան, տնտեսական կարևոր նշանակություն ունեցող Ապարանի ջրամբարի առկայությունը (նկ.1): Քասախ գետի ավազանը զբաղեցնում է 1390 քառ. կմ տարածք, պարագիծը 229կմ է:

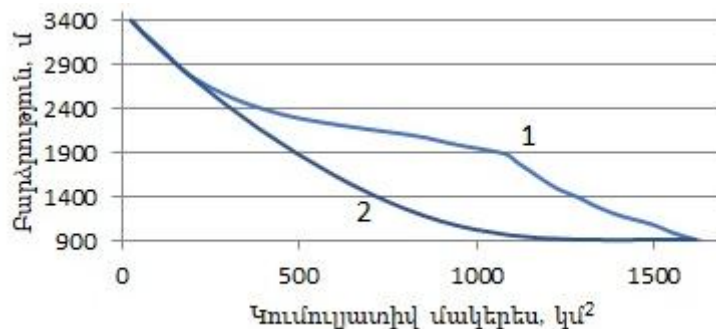
Ավազանի նվազագույն բարձրությունը գետի գետաբերանում 817մ է, ավազանի աջ հատվածը կազմում է Արագած լեռան արևելյան լանջը՝ 3993մ առավելագույն բացարձակ բարձրությամբ: Բարձրությունների առավելագույն տարբերությունը 3176մ է, միջին բարձրությունը՝ 1939մ: Ավազանի հիպսոմետրիկ առանձնահատկությունն այն է, որ բարձրադիր աջ կողմի շնորհիվ նրա տարածքի մոտ 60%-ը ավելի բարձր է, քան միջին բարձրությունը՝ 2000մ (նկ.2): Բոլոր հիպսոմետրիկ ցուցանիշները, ինչպես նաև համեմատությունը հավասարակշռված էրոզիոն գետավազանի տեսական ակումուլյատիվ կորի հետ վկայում են, որ տարածքի ուսումնասիրության արդյունքները կիրառելի կլինեն բարձր լեռնային գետավազանների համար:



Նկ.1. Քասախ գետի ավազանի եռաչափ թվային քարտեզ

1.2. Օգտագործված տվյալները

Այս ուսումնասիրության խնդիրների լուծման նպատակով օգտագործվել և վերլուծվել են տարասեռ տվյալներ հետևյալ երեք հիմնական աղբյուրներից՝ Sentinel-2 արբանյակ, SRTM ռելիեֆի թվային մոդել և ՀՄԿ դիտարկումների ցանց:



Նկ. 2. 1 - Քասախի գետավազանի հիպսոմետրիկ կորը,
2 – Հավասարակշռված գետավազանի տեսական կորը

1.2.1 Sentinel-2 արբանյակային տվյալներ

Sentinel-2 արբանյակի պատկերների տվյալներով հաշվարկվել է ձյան նորմալացված տարբերության ինդեքսը (NDSI):

Sentinel-2 արբանյակային համակարգի սենսորների միջոցով ստացվում են բարձր տարածական լուծաչափով օպտիկական պատկերներ ցամաքից և ափամերձ ջրերից: Ներկայումս համակարգը գործում է երկու նույնական արբանյակներով՝ Sentinel-2a և Sentine-2b:

Sentinel-2 համակարգն ունի հետևյալ հիմնական հատկանիշները (Addabo et al., 2016).

- բազմասպեկտրային տվյալներ 13 շերտով սպեկտրի տեսանելի, մոտ ինֆրակարմիր և կարճալիք ինֆրակարմիր հատվածներում,
- համակարգված գլոբալ ծածկույթ Երկրի մակերեսի 84° հյուսիսային լայնությունից մինչև 56° հարավային լայնությունը, ընդգրկելով ամբողջ ցամաքը և ափամերձ ջրերը,
- պատկերների ստացում 10 օր պարբերականությամբ (քանի որ միաժամանակ գործում են երկու արբանյակ, նույն տարածքի պատկերը ստացվում է 5 օր պարբերականությամբ),
- տարածական լուծաչափ՝ 10մ, 20մ և 60մ. աշխատանքում օգտագործվել են 10մ լուծաչափով 3-րդ ալիքը (կանաչ) և 20մ լուծաչափով 11-րդ ալիքը (կարճալիք ինֆրակարմիր),
- ազատ և բաց տվյալների քաղաքականություն:

1.2.2 Քասախ գետի ավազանում գործող օդերևութաբանական կայանների և հիդրոլոգիական մոնիթորինգի դիտակետերի տվյալներ

Արբանյակային պատկերներից ստացված տվյալների հավաստիության ստուգման համար և ձյան ծածկույթի տարածական անընդհատ ցուցանիշներ ստանալու նպատակով օգտագործվել են Քասախ գետի ավազանում գործող 6 օդերևութաբանական կայաններում (աղ.1) և 5 հիդրոլոգիական դիտակետերում (աղ.2) գրանցված տվյալները:

ՀՄԿ-ից ստացվել և վերլուծություններում կիրառվել են այս դիտակետերում՝ 2021թ. դեկտեմբերի 1-ից մինչև 2022թ. հուլիսի 5-ը չափված օրական տեղումների (մմ) և ձյան ծածկի բարձրության (սմ) արժեքները:

Աղյուսակ 1

Քասախ գետի ավազանում գործող օդերևութաբանական կայանները

Օդերևութաբանական կայան	Բարձրություն, մ	Կողմնադրություն
Արագած	3265	Հվ
Ծաղկահովիտ	2104	Հվ-Արլ
Ամբերդ	2027	Արմ
Ապարան	1923	Արլ
Ապարանի ջրամբար	1840	Արմ
Աշտարակ	1113	Արմ

1.2.3 SRTM արբանյակային համակարգի տվյալներ

SRTM տվյալներով կազմվել է Քասախ գետի ամբողջ ավազանն ընդգրկող ռելիեֆի թվային մոդելը (ՌԹՄ): Ռաստերային ֆայլից անցում է կատարվել վեկտորային ֆայլի, որտեղ ռաստերի յուրաքանչյուր պիքսելին համապատասխանում է 1 կետ: Ստացված ֆայլի յուրաքանչյուր օբյեկտի (կետի) հաստատուն (հետազոտության ընթացքում) ատրիբուտներն են նույնականացման համարը (ID), աշխարհագրական կոորդինատները (լայնություն և երկայնություն), բարձրությունը ծովի մակերևույթից, լանջի թեքությունը, լանջի կողմնադրությունը և ձյան նորմալացված տարբերության ինդեքսի ժամանակային շարքում փոփոխական հատկանիշը:

Քասախի գետավազանի հիդրոլոգիական դիտակետերը

Դիտակետ	Գետ	Ավազանի ցուցանիշներ			
		Ավազանի մակերես, կմ ²	Նվազագույն բարձրություն, մ	Առավելագույն բարձրություն, մ	Միջին բարձրություն, մ
Վարդենիս	Քասախ	441	1849	3994	2306
Աշտարակ	Քասախ	1020	1084	3995	2154
Հարթավան	Քասախ	656	1787	3993	2270
Արագած	Գեղարոտ	45.3	1925	3995	3022
Փարպի	Շահվերդ	72	1120	3387	2196

Յուրաքանչյուր ամսաթվի համար հաշվարկված ձյան ինդեքսը գրանցվել է ատրիբուտիվ աղյուսակում մեկ սյունակով՝ որպես նոր փոփոխական:

Որպես փոփոխական ատրիբուտներ կարող են լինել արբանյակային տվյալներով հաշվարկված այլ ինդեքսներ ևս: Այս հոդվածում օգտագործվել է միայն ձյան նորմալացված տարբերության ինդեքսը (*Normalized Difference Snow Index, NDSI*):

Օգտագործված երեք աղբյուրների տվյալները ինտեգրվել են որպես մեկ ընդհանուր տարածական և ժամանակային շտեմարան: Հետագայում դրան կավելացվեն նաև ձյան ծածկույթի ԱԹՄ լուսանկարներ:

Երկրի մակերևույթի դիտարկման տարաբնույթ եղանակների համադրության օգտագործումը թույլ է տալիս տվյալ հետազոտության ստորև ներկայացված խնդիրները լուծել կիրառելով «Մեծ տվյալների» ժամանակակից մեթոդները և տեխնոլոգիաները:

2. Հետազոտության մեթոդները

Ուսումնասիրության այս փուլի նպատակն է մշակել Sentinel-2-ի և վերգետնյա հիդրոդերևութաբանական դիտարկումների տվյալների, ՌԹՄ և USZ տեխնոլոգիաների ինտեգրմամբ ձյան սեզոնային ծածկույթի ձևավորման և հալքի գործընթացների մոնիթորինգի և քարտեզագրման մեթոդաբանություն և ծրագրային գործիքակազմ: Սույն հոդվածում նկարագրված մշակումները և դրանց փորձարկումը Քասախ գետի ավազանում հեղինակների կողմից դիտվում են որպես սկզբնական բաղադրիչի լուծում ավելի ընդհանուր խնդրի, որի նպատակն է

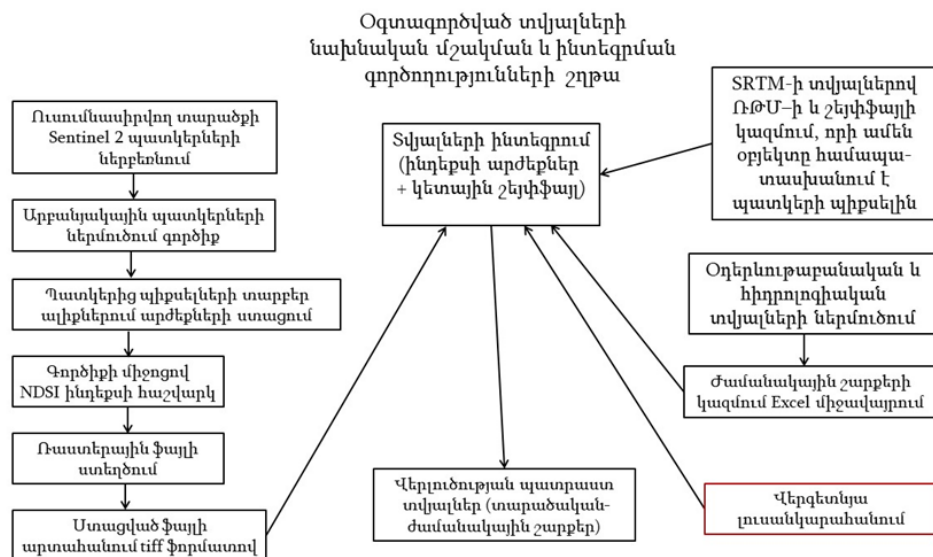
տակն է մշակել ձյան կուտակման և հալքի սեզոնային գործընթացների բազմագործոն մոդել, ինչպես նաև ջրային ռեսուրսների տարեկան և սեզոնային ապահովվածության (հաշվեկշռի) կանխատեսման համակարգչային ԱՏՀ հավելված, որը կիրառելի կլինի կամայական գետավազանի պայմաններում:

Հետազոտության մեթոդները ծառայում են երկու նպատակի. 1) տարաբնույթ տեղեկատվության նախնական մշակմանը, ստացված տվյալների ինտեգրմանը ու արխիվացմանը և 2) ուսումնասիրվող գործընթացի ձյան կուտակման և հալքի օրինաչափությունների բացահայտմանը նախնական մշակման արդյունքում ստացված տվյալների վերլուծության միջոցով:

Ելնելով նրանից, որ մեթոդների նպատակները և դրանցով ստացված արդյունքները տարբեր են, դրանք նկարագրվում են տարբեր՝ 2.1 և 4-րդ ենթագլուխներում:

2.1. Տվյալների նախնական մշակման մեթոդները

Նախնական մշակումը իրականացվել է «Մեծ տվյալների» ձևաչափի և կառուցվածքի վերափոխման արդի սկզբունքներով: Այդ սկզբունքներով պատրաստված տվյալները ընդունված է անվանել «վերլուծության համար պատրաստ տվյալներ» (Analysis Ready Data, ARD), որոնք կիրառելի են ԱՏՀ միջավայրում, ինչպես նաև մատչելի են վերլուծության ավանդական մեթոդներով և ծրագրային հավելվածներով (Ավագյան Ա.Ա. և ուր., 2021; Nativi, Mazzetti at al., 2017; Rizvi S.R., at al., 2018):



Նկ. 3. Տեղեկատվության նախնական մշակման գործողությունների շղթան

Նախնական մշակման մեթոդների նպատակն է Sentinel 2 նկարներից տարանջատել տվյալներ, հաշվարկել և արխիվացնել նորմա-

լացված տարբերության ձյան ինդեքսը, SRTM արբանյակային տվյալներով կառուցել ուսումնասիրվող տարածքի ՌԹՄ, կազմել վերգետնյա հիդրոլոգիական և օդերևութաբանական դիտարկումների տվյալների ժամանակային շարքեր, ինտեգրել տարբեր տվյալներ փոխկապակցված տարածական-ժամանակային տվյալների շտեմարաններում (նկ.3):

2.1.1 Sentinel-2 տվյալների ստացում, նախնական մշակում և կիրառում

Ձյան NDSI ինդեքսի հաշվարկի նպատակով ներբեռնվել են Քասախ գետի ավազանի տարածքի պատկերները՝ 3-րդ և 11-րդ ալիքներում (band):

NDSI արժեքները հաշվարկվել են QGIS ծրագրային փաթեթում ստեղծված գործիքի օգնությամբ: Ունենալով միևնույն օրվա B03 և B11 ալիքների պատկերները, օգտագործելով $Z = (B03 - B11) / (B03 + B11)$ բանաձևը հաշվարկվում է «Ձյան տարբերության նորմալացված ինդեքս» (NDSI) յուրաքանչյուր պիքսելի համար: Ստացված արդյունքը պահպանվում է TIFF ֆայլային ֆորմատով:

2.1.2 Հետազոտության տարածքի ԱՏՀ շերտի կազմում

Կազմվել է կետային Շեյֆֆայլ, որի յուրաքանչյուր կետ համապատասխանում է արբանյակային պատկերի ռաստերային ֆայլի մեկ բջջի: Շեյֆֆայլի ատրիբուտային աղյուսակում յուրաքանչյուր օբյեկտ (կետ) բնութագրվում է բացարձակ բարձրության, կողմնադրության և լանջի թեքության արժեքներով, ինչպես նաև յուրաքանչյուր ամսաթվի համար NDSI ինդեքսի արժեքով:

Կազմվել է նաև Քասախ գետի ավազանի սահմաններում գտնվող հիդրոօդերևութաբանական կայանների վեկտորային տարածական ֆայլը հետևյալ ատրիբուտներով՝ աշխարհագրական կոորդինատներ, բարձրություն, տեղադիրքի կողմնադրություն: Շեյֆֆայլի տվյալների հենքում պահվում են դիտակայանում գրանցված մթնոլորտային տեղումների քանակը՝ ձյան և անձրևի քանակը, ձյան շերտի բարձրությունը, դիտարկման ամսաթիվը: Նկարագրված եղանակով ԱՏՀ միջավայրում ինտեգրվում են տարբեր աղբյուրների տարածական, այդ թվում և արբանյակային, տվյալները (նկ.3):

2.2. Ձյան ինդեքսի NDSI արժեքների մեկնաբանությունը և հավաստիության ստուգումը

NDSI ինդեքսի արժեքները տատանվում են (-1,1) միջակայքում: Հաշվարկված արժեքներով ձյան առկայության հավանականությունը գնահատելու նպատակով ուսումնասիրվել է այս ուղղությամբ միջազգային լավագույն փորձը: Տարբեր աղբյուրներում որպես ձյան շեմ ընդունվում է ինդեքսի տարբեր արժեք, բայց միջազգային գրականության մեջ տարիների փորձի արդյունքում ընդունված է ձյան առկայության

շենը համարել ինդեքսի 0.4 արժեքը (J. Dozier 1989, J.P. Dedieu et al., 2016; G.A. Riggs et al., 2015):

Նախ, NDSI ինդեքսի արժեքներով կազմվել է ձյան ծածկույթի հավանական առկայության քարտեզների ժամանակային շարք: Քարտեզների տվյալները ստուգվել են՝ համեմատելով դրանք ուսումնասիրվող տարածքում մշտապես գործող դիտակայաններում գրանցված ձյան առկայության կամ բացակայության իրական պատկերի հետ: Այդ նպատակով NDSI թվային քարտեզներին վրադրվել են (overlay) դիտակայանների շեյփ ֆայլերը: NDSI մեկնաբանությունը և քարտեզը համարվել են հավաստի, եթե միաժամանակ տեղի են ունեցել հետևյալ երկու պայմանը՝ ա) բոլոր այն դիտակայաններում, որոնք գտնվում են NDSI ձյան ծածկույթի սահմաններում, նույն ամսաթվին առկա է ձյուն և բ) այն դիտակայաններում, որոնք NDSI ձյան ծածկույթի սահմաններից դուրս են՝ ձյուն չի դիտարկվել:

Ներկայացված պայմաններով դիտարկվել են հետևյալ 54 դեպքերը՝ Քասախ գետի ավազանում գտնվող օդերևութաբանական 6 կայանների համար 2021թ. դեկտեմբեր - 2022թ. մարտ ամիսներին 9 տարբեր ամսաթվերին դիտարկված տվյալները վրադրման եղանակով համեմատվել են NDSI ինդեքսով կազմված քարտեզների հետ: Համեմատության արդյունքները հետևյալներն են .

- 41 դեպքում և NDSI, և վերգետնյա դիտակետերի տվյալներով առկա է ձյան ծածկույթ,
- 10 դեպքում և NDSI, և վերգետնյա դիտակետերի տվյալներով ձյան ծածկույթը բացակայում է,
- 3 դեպքերում դիտակետերում գրանցվել է 1-3 սմ հաստությամբ ձյան ծածկույթի առկայություն, իսկ NDSI տյալներով այն բացակայում է:

Համաձայն համեմատության արդյունքի, 94.6% դեպքերում NDSI տվյալները համապատասխանում են իրականությանը: Անհամապատասխանությունների վերլուծությամբ պարզվում է, որ դրանք տեղի ունեն ձյան շերտի սահմանային մասում, ինչի մասին վկայում են հետևյալ փաստերը. ա) վերգետնյա դիտակետերում ձյան գրանցված բարձրությունը չի գերազանցում 3սմ, բ) վերգետնյա դիտարկումներից տարբերվող NDSI մեծություններ ունեցող պիքսելների հարևան պիքսելներում առկա է ձյուն, գ) արբանյակային և վերգետնյա դիտարկումների ժամերը տարբեր են, հետևաբար դիտարկված ձյան բարակ շերտը կարող է և՛ գոյանալ, և՛ վերանալ երկու դիտարկումները բաժանող ժամերի ընթացքում: Բերենք օրինակ. վերգետնյա դիտարկման տվյալներով փետրվարի 20-ին Ծաղկահովիտ կայանում առկա է 1 սմ հաստությամբ ձյան շերտ, իսկ արբանյակային տվյալներով ձյուն առկա չէ: Սակայն փետրվարի 21-ին վերգետնյա դիտարկման տվյալներով ևս ձյան ծածկույթը բացակայում է, հետևաբար, այն հալվել է փետրվարի 20-ին՝ օրվա ընթացքում:

Այսպիսով, ներկայացված համեմատական վերլուծության ար-

դյունքները վկայում են այն մասին, որ արբանյակային պատկերների լուծաչափի այն է 20մ ճշտությամբ 0.4-ից 1-ի սահմաններում գտնվող NDSI արժեքները իրապես հանդիսանում են ձյան առկայության ցուցանիշ:

3. Նյութի նկարագրություն և վերլուծություն

Ձյան կուտակման և հալքի գործընթացը ուսումնասիրվել է 2021 թվականի դեկտեմբերից մինչև 2022 թվականի հունիս դիտարկված տվյալներով: Կազմվել են այդ ժամանակահատվածի NDSI արժեքների և ուսումնասիրված տարածքի մոնիթորինգի վեց վերգետնյա կայանների ձյան բարձրության, մթնոլորտային տեղումների դիտարկումների ժամանակային շարքեր: Դիտարկված ժամանակահատվածն ամբողջությամբ ընդգրկում է կայուն ձյան ծածկույթի ձևավորման և քայքայման ողջ ցիկլը:

Հետազոտության նպատակով օգտագործված արբանյակային պատկերները ունեն բարձր լուծաչափ պատկերի մեկ բջջին Երկրի մակերևույթի վրա համապատասխանում է 20մ X 20մ մակերես: Հետազոտվող տարածքի նույնիսկ մեծ մասշտաբի (1:25,000) քարտեզի համեմատ արբանյակային պատկերի լուծաչափը ավելի մեծ է, քանի որ նրա մեկ բջիջը քարտեզի վրա կգրադեցնի ավելի փոքր մակերես, քան 1մ²:

Ուսումնասիրվող պրոցեսների վրա ռելիեֆի ազդեցությունը պարզելու նպատակով վերլուծվել է ձյան ծածկույթի բաշխումը ըստ բարձրության գոտիների և լանջերի կողմնադրությունների: Հայտնաբերված կապերը անհրաժեշտ են ռելիեֆի տարբեր պայմաններում տեղակայված վերգետնյա դիտակետերի օդերևութաբանական տվյալների հիմնավոր էքստրապոլյացիայի համար:

3.1. Ձյան ծածկույթի տարածական բաշխման վերլուծություն

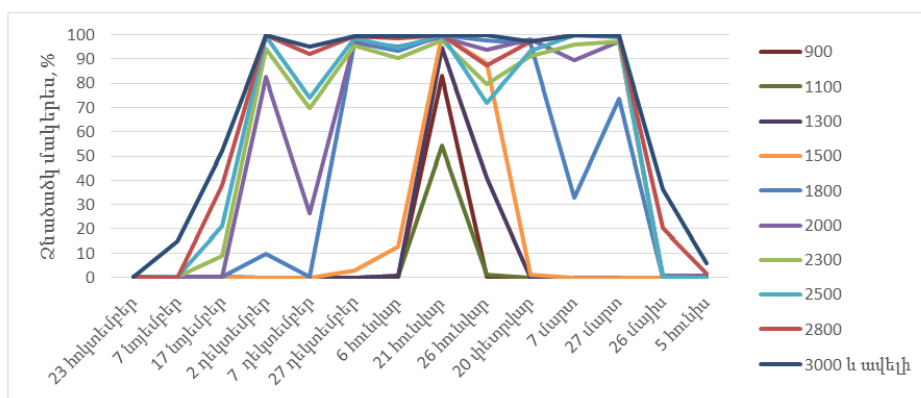
Վերլուծության նպատակն է դիտարկման պահին ձյան առկա ծածկույթի մակերեսի մեծության և անհամասեռության բացահայտումը: Որպես անհամասեռության առաջացման գործոններ դիտարկվել են ուսումնասիրվող տարածքի ռելիեֆի բարձրության գոտիները և լանջերի կողմնադրությունները:

3.1.1 Ձյան ծածկույթի տարածական բաշխումը ըստ ռելիեֆի բարձրության գոտիների

Ձյան ծածկույթի ձևավորման և հալքի ընթացքը պարզելու նպատակով դիտարկվել է ձյան բաշխումը ըստ 100 մ բարձրության գոտիների: Բաշխման կորերը ներկայացնում են յուրաքանչյուր գոտու հարաբերական ձևաձևի տարածքի սեզոնային փոփոխությունը (նկ. 4): Մեր ուսումնասիրության տվյալներով, ձյան ծածկույթը սկսում է առաջանալ նոյեմբերին, վերջնականապես ձևավորվել հունվարին, մասամբ սկսում է քայքայվել մարտի վերջին և ամբողջովին վերանում է հունիսին: Գրաֆիկից պարզվում է նաև այն, որ ձյան էական պաշարը կուտակվում է 1800 մետրից բարձր գոտիներում:

Գրաֆիկները թույլ են տալիս տրված պահին քանակապես գնահատել վերացած և պահպանված ձնածածկ տարածքների հարաբերությունը:

Միևնույն ժամանակ գրաֆիկների համեմատությունը ցույց է տալիս, որ բարձրության գոտիների ինչպես ձյան կուտակման, այնպես էլ հալքի ընթացքը որոշակի կերպով տարբերվում են: Վերլուծությունից պարզվում է, որ դիտվող երևույթի պատճառը ռելիեֆի կողմնադրության տարբերությունն է: Բերենք օրինակ. հունվարի 21-ին, 900մ բարձրության գոտում ձյան ծածկույթն ավելի մեծ մակերես է զբաղեցնում, քան 1000մ բարձրություններում: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ 1000-1100մ բարձրություններում մեծ տարածք են զբաղեցնում հարավային և արևելյան կողմնադրություն ունեցող լանջերը, որտեղ ձյան հալոցքն ավելի արագ է ընթանում:



Նկ. 4. Ձյան բաշխումը ըստ բարձրության գոտիների

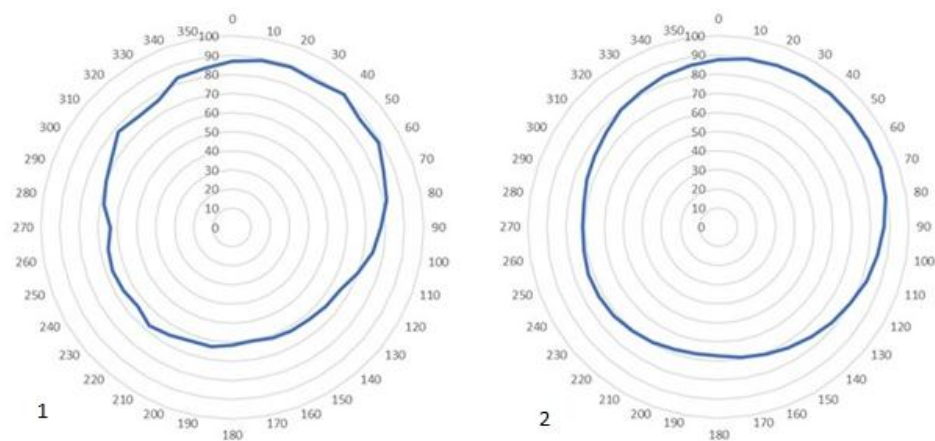
3.1.2 Ձյան ծածկույթի տարածական բաշխումը ըստ լանջերի կողմնադրության

Ձյան ծածկույթի մակերեսի կապը ռելիեֆի կողմնադրությունների հետ ուսումնասիրվել է ըստ 10° գոտիների (նկ.5): Յուրաքանչյուր գոտու համար հաշվարկվել է ձնածածկ տարածքի մակերեսը: Քանի որ տարբեր կողմնադրության տիրույթներում ունենք տարբեր մակերեսով տարածք, գրաֆիկում պատկերել ենք ոչ թե ձնածածկ տարածքի մակերեսը, այլ ընդհանուր տարածքում դրա մասնաբաժինը՝ արտահայտված տոկոսներով:

Դիտարկված արբանյակային տվյալների համաձայն, ձյան ծածկույթը առավել տարածված է հյուսիս - արևելյան 50°-60° ուղղությամբ, և դեկտեմբեր ամսի սկզբին ծածկում է տարածքի մոտ 90%, իսկ հունվարին՝ ավելի քան 90%: Ձյան ծածկույթի նվազագույն տարածումը դիտվում է հարավային ուղղությամբ՝ դեկտեմբերի սկզբին մոտ 60%, հունվարին՝ մոտ 75% (նկ.5): Ներկայացված տվյալները, ինչպես նաև

ձյան ծածկույթի մակերեսի բաշխումը միջանկյալ ուղղություններով, համապատասխանում են բնական օրինաչափություններին:

Այսպիսով, ներկայացված վերլուծությունները վկայում են այն մասին, որ ռելիեֆի հիպսոմետրիկ և մորֆոմետրիական առանձնահատկություններով է հապես պայմանավորված ձյան տարածման մակերեսի մեծությունը: Մեծ հավանականությամբ, այդ գործոնները նույն չափի ազդեցություն ունեն ձյան ծածկույթի բարձրության տարածական փոփոխականության վրա: Ելնելով նշվածից, այդ գործոնների համատեղ ազդեցությունը պետք է հաշվի առնվի ձյան պաշարների քանակական գնահատման հաշվարկներում: Մորֆոմետրիական գործոնների թվում պետք է դիտարկել նաև լանջերի թեքությունը, կորության բնույթը և մեծությունը:



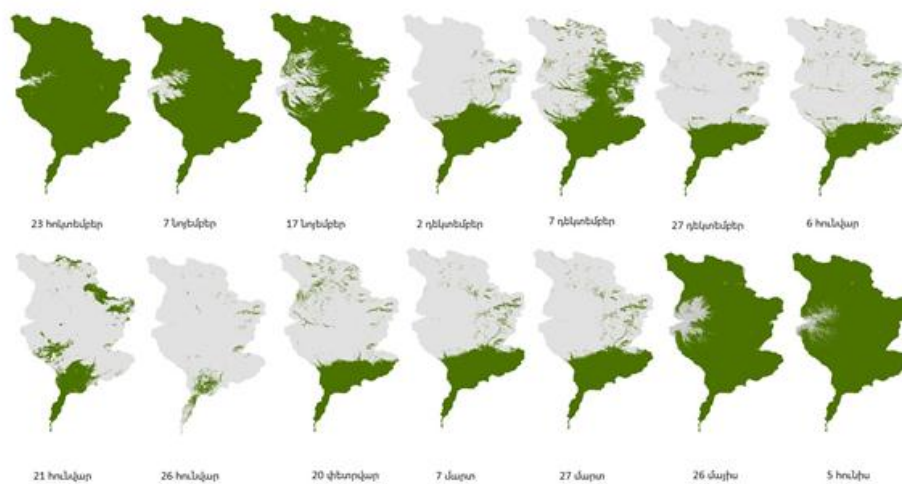
Նկ.5 Ձյան բաշխումը ըստ լանջերի կողմնադրության.
1.2 դեկտեմբերի, 2021թ. և 2. 6 հունվարի, 2022թ. դրությամբ

3.1.3 Ձյան ծածկույթի մակերեսի սեզոնային փոփոխությունը

Ձյան ծածկույթի մակերեսի սեզոնային փոփոխությունները ներկայացված են աղյուսակով (աղ.3), քարտեզների շարքով (նկ.6) և ստորին սահմանի նվազագույն բարձրության գրաֆիկով (նկ.7): Նշված տեղեկատվության բոլոր ձևերը կազմվել են NDSI արժեքներով: Այդ նպատակով, արբանյակային նկարների նախնական մշակման արդյունքում ստացված սկզբնական բազայի բոլոր ռաստերները, որոնց NDSI արժեքները 0,4-ից 1-ի սահմաններում են, նշանակվել են «1» պայմանական նշանով, որով տարանջատվել են Քասախ գետի ավազանի ձնածածկ տարածքների ռաստերները: Քարտեզները կազմվել են սկսած դիտարկման այն օրերից, երբ առաջացել է էական չափերի ձնածածկ մակերես:

Ջյան ծածկույթի մակերեսը ըստ NDSI ինդեքսի

Ամսաթիվ	Մակերես (քառ.կմ)	
	Ջյան ծածկույթ առկա է	Ջյան ծածկույթ առկա չէ
Հոկտեմբեր 23	12.6	1380.21
Նոյեմբեր 7	77.65	1315.16
Նոյեմբեր 17	191.16	1201.65
Դեկտեմբեր 2	1000.33	392.48
Դեկտեմբեր 7	703.95	688.84
Դեկտեմբեր 21	1105.59	287.22
Հունվար 6	1090.82	301.99
Հունվար 21	1341.22	51.55
Հունվար 26	1133.11	259.69
Փետրվար 20	1092.16	300.652
Մարտ 7	1036.69	356.14
Մարտ 27	1086.25	306.58
Մայիս 26	125.95	1266.7
Հունիս 5	51.29	1341.37

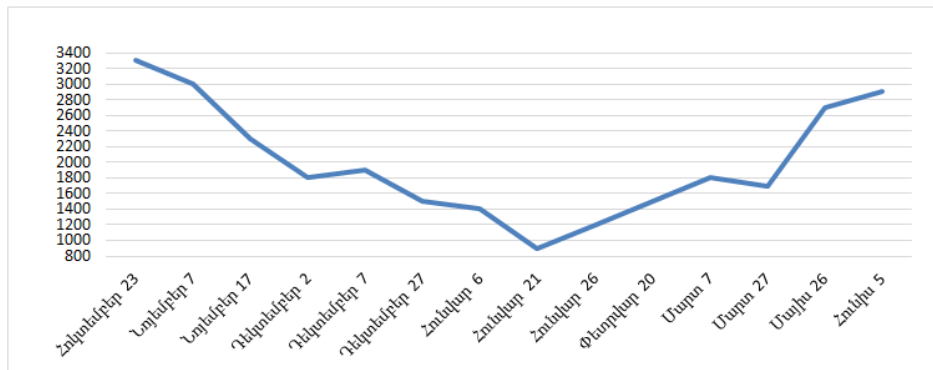


Նկ. 6. Քասախ գետի ավազանի ձևաձածկ տարածքների քարտեզներ

Ներկայացված տեղեկատվությունը ցույց է տալիս, որ ձյան կուտակումը դիտարկված սեզոնին ընթացել է համաձայն կլիմայական նորմերի՝ ձևավորվել է նոյեմբերի կեսերին, առավելագույն տարածման հասել է հունվարի վերջին, որից հետո նվազելով գործնականում

վերացել է հունիսին: Ձյան ստորին սահմանը իջել է մինչև 900մ բարձրակ բարձրություն:

Ներկայացրած տվյալները անհրաժեշտ են ձյան կուտակման և հալքի մոդելի կառուցման և ջրային պաշարների հաշվարկի համար, ինչպես նաև կարող են օգտագործվել այլ կիրառական նպատակներով:



Նկ.7. Ձնածածկ տարածքի ստորին սահմանի սեզոնային փոփոխություն

4. Ամփոփում և եզրակացություններ

Հետազոտության արդյունքում մշակվել են ձյան կուտակման և հալքի ընթացքի մոնիթորինգի նոր եղանակ և դրա իրականացման համակարգչային գործիքակազմ: Դրանք օգտագործում են Երկրի մակերևույթի արբանյակային դիտարկման և վերգետնյա չափումների հասանելի տվյալները և թույլ են տալիս հաշվարկել ձյան ծածկույթի մակերեսը, կազմել դրա փոփոխությունը ներկայացնող քարտեզների շարք:

Կատարվել է նաև ուսումնասիրություն, որից պարզ է դարձել, որ գետավազանի ռելիեֆի ձևաբանական կառուցվածքը էապես ազդում է ձյան կուտակման և հալքի ընթացքի վրա, ինչից հետևում է, որ գետավազանի տարածքում ձյան պաշարի քանակական գնահատման համար որպես գործոններ պետք է հաշվի առնվեն նաև ռելիեֆի հիպսոմետրիկ (բարձրության գոտիներ) և մորֆոմետրիկ (լանջերի կողմնադրություն, կորություն, թեքություն) բնութագրիչները:

Տվյալ հետազոտության արդյունքների կիրառմամբ հնարավոր կլինի առանց լրացուցիչ ծախսերի վերգետնյա դիտարկման կայաններ ավելացնելու և «երթուղային ձևաչափություն» կատարելու, անհրաժեշտ ճշտությամբ, ժամանակային հաճախականությամբ և տարածական լուծաչափով ստանալ ձյան ծածկույթի մակերեսը և ձյան շերտի բարձրությունը: Այդ տվյալներն անհրաժեշտ են կուտակված ձյան պաշարների հաշվարկման և ձյան հալքի արդյունքում առաջացող մակերևութային հոսքի մեծության կանխատեսման համար:

Կատարված հետազոտության հետագա զարգացումը պետք է իրականացվի ի նպաստ ջրային ռեսուրսների գետավազանային կառավարման մեթոդական և տեղեկատվական բարելավման:

Նշված խնդրի լուծման համալիր և արդյունավետ մեթոդաբանություն մշակելու ու դրա ալգորիթմային և ծրագրային ապահովումը կազմելու համար անհրաժեշտ է հաջորդաբար իրականացնել հետևյալ հետազոտությունները.

ա) բազմամյա օդերևութաբանական տվյալներով ուսումնասիրել և բացահայտել ռելիեֆի ձևաչափական հատկանիշների (բարձրություն, լանջերի կողմնադրություն, կորություն, թեքություն) և օդերևութաբանական դիտարկումների (օդի ջերմաստիճան, տեղումների քանակ) միջև քանակական կապը և/կամ համատեղ ազդեցությունը ձյան կուտակման և հալքի ընթացքի վրա,

բ) կազմել ձյան շերտի առաջացման և քայքայման ռեժիմի հաշվարկային և մակերևութային հոսքի կանխատեսման հավանականային բազմագործոն մոդել,

գ) կազմել գետավազանի ջրային հաշվեկշռի կանխատեսումային ծրագրային ապահովում՝ հիմնված ձնհալից ձևավորվող մակերևութային հոսքի հաշվարկային ալգորիթմի վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ավագյան Ա.Ա., Ասցատրյան Հ.Վ., Առաքելյան Ա.Ա., Տարասյան Ն.Հ., Ներսիսյան Ա.Հ. 2021. Մեծ տվյալներ, երկրի մասին եվ որոշ հարակից գիտություններում դրանց կիրառման հեռանկարները եվ արդի խնդիրները Հայաստանի Հանրապետությունում: ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, հ. 74, N 1, 20-39 էջ:
- Addabbo P., Focareta M., Marcuccio S., Votto C., Ullo S.L. 2016. Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation monitoring. ACTA IMEKO, V. 5, N. 2, p.44-54
- Azizyan L.V., Gevorgyan A.M., Misakyan A.E., Danielyan A.G., Azizyan H.H. 2018. Assessment of climate change impact on Hydrological regime of Aparan reservoir Известия НАН РА, Науки о Земле, 71, № 3, p.13-25.
- Dedieu, J.-P., Carlson, B.Z., Bigot, S., Sirguey, P., Vionnet, V., Choler, P. 2018. On the Importance of High-Resolution Time Series of Optical Imagery for Quantifying the Effects of Snow Cover Duration on Alpine Plant Habitat. Remote Sens. p.481.
- Dozier, J. 1989. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. Remote Sens. Environ. 28, p.9–22.
- Nativi S., Mazzetti P., Craglia M. 2017. A view-based model of data-cube to support big earth data systems interoperability. Big Earth Data 1 (1-2), p.75-99.
- Nestler A., Huss M., Ambartsumian R., Hambarian A. Hydrological Implications of Covering Wind-Blown Snow Accumulations with Geotextiles on Mount Aragats, Armenia. Geosciences 2014, 4, <https://doi.org/10.3390/geosciences4030073> p.73-92.
- Ranghetti L., Boschetti M., Nutini F., Busetto L. 2020. “sen2r: An R toolbox for automatically downloading and preprocessing Sentinel-2 satellite data”. Computers & Geosciences, 104473. P.139.
- Riggs G. A., Dorothy K. Hall, and Miguel O. Roman. 2015. VIIRS Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Rizvi S.R., Killough B., Cherry A., Gowda S. 2018. The Ceos Data Cube Portal: A User-Friendly, Open Source Software Solution for the Distribution, Exploration, Analysis, and Visualization of Analysis Ready Data. In Proceedings of the IGARSS 2018–2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, July, p.8639–8642. 5, p.22–27.

**НОВЫЙ МЕТОД И ИНСТРУМЕНТАРИЙ МОНИТОРИНГА И
КАРТИРОВАНИЯ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ И СНЕГОТАЯНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ SENTINEL-2 И НАЗЕМНОГО
НАБЛЮДЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА РЕКИ
КАСАХ В АРМЕНИИ)**

Авакян А.А., Аракелян А.А., Минасян Г. А., Тарасян Н.А.

Резюме

В статье описываются разработанный метод и инструментарий мониторинга и картирования снежного покрова на основе спутниковых данных, а также результаты, полученные с их применением для бассейна реки Касакх. Представленные результаты авторы рассматривают как решение первой части более общего перспективного исследования – разработки многофакторной ГИС-модели процесса накопления и таяния снега, а также прогнозирования сезонных и годовых запасов воды. Представленный метод использует интегрированные доступные данные спутникового наблюдения поверхности Земли и наземных гидрометеорологических измерений, и позволяет вычислять площадь снежного покрова, ее распределение по высотным поясам и экспозициям склонов, составлять серию карт, фиксирующих изменения площади снежного покрова во времени. Использование результатов данного исследования позволит без дополнительных затрат получить данные о поверхности снежного покрова с необходимой точностью, частотой и пространственным разрешением.

**NEW METHOD AND TOOLS FOR MONITORING AND MAPPING OF
SNOW ACCUMULATION AND MELTING USING SENTINEL-2 DATA
AND GROUND-BASED OBSERVATIONS (ON THE EXAMPLE OF
THE KASAKH RIVER BASIN IN ARMENIA)**

Avagyan A.A., Araqelyan A.A., Minasyan G.H., Tarasyan N.H.

Abstract

The article describes the method and tools developed for monitoring and mapping of snow cover, as well as the results obtained with their application for the Kasakh River basin. The method uses integrated satellite and ground-based data. The presented study is considered as the first step of a more general perspective study for snow accumulation and melt process GIS modeling and development of a multifactorial prediction method for seasonal and annual water availability assessment. The presented method of using available satellite and ground observation data allows us to calculate the area of snow cover and to develop a time series of maps that record its change. Using the results of this study, it is possible to obtain data on the area of the snow cover with the necessary accuracy, temporal frequency, and spatial resolution without additional costs.