

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ ԱԶԱՏՈՒՀԻ ԱՐԾՐՈՒՆՈՒ

**ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎԻՃԱԿԻ ՁԵՎԱԲԱՆԱԿԱՆ, ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԵՎ
ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՈՐՈՇ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԱԿԱՆ ՄՈՏԵՑՈՒՄՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ**

ԻԴ.04.01 «Երկրաբնապահպանություն» մասնագիտությամբ
աշխարհագրական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2025

**Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային
հետազոտությունների կենտրոնում**

Գիտական ղեկավար՝

աշխ. գիտ. թեկնածու
Ասմարյան Շուշանիկ Գուրգենի

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

աշխ. գիտ. դոկտոր
Սայադյան Հովիկ Յախշիբեկի
աշխ. գիտ. թեկնածու
Փիլոյան Արտակ Սարգսի

Առաջատար կազմակերպություն՝

ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական
գիտությունների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2025 թ. հոկտեմբերի 21-ին, ժամը 14:30-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող «Երկրագիտության» մասնագիտական խորհրդի (թվանիշ 005) նիստում:

Հասցեն՝ ՀՀ, ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1, ԵՊՀ աշխարհագրության և երկրաբանության ֆակուլտետ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Երևանի պետական համալսարանի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2025 թ. սեպտեմբերի 8-ին:

**Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար,
աշխ. գիտ. թեկնածու**



Տ.Ա. Սարգսյան

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Արենախոսական թեմայի արդիականությունը. ՀՀ-ում 1278 քառ. կմ տարածք զբաղեցնող Սևանա լիճը, որը հանդիսանում է աշխարհի բարձրադիր ամենախոշոր լճերից մեկը, Հայաստանի և Հարավային Կովկասի տարածաշրջանի համար բացառիկ նշանակության խմելու ջրի խոշորագույն ավազան և կարևորագույն ռեկրեացիոն օբյեկտ՝ աչքի ընկնող լանդշաֆտային պայմաններով և բնաոռնության հսկայական պոտենցիալով, շարունակում է մնալ հանրապետության և միջազգային գիտական հանրության ուշադրության կենտրոնում մտահոգիչ և տարեց տարի ավելի էկոլոգիական խնդիրներով: Լճի ջրի մակարդակի նպատակային իջեցումը և 90-ական թթ. լճի ջրային և կենսաբանական պաշարների անխնա օգտագործումը դարձել են լճի բնական պայմանների քանակական և որակական փոփոխությունների լուրջ պատճառ, ինչի արդյունքում բնական պայմաններում բացառիկ մաքրության օլիգոտրոֆ Սևանա լիճը ներկայումս ունի մեզոտրոֆ լճի կարգավիճակ: Մինչ այժմ կատարվող մարդածին ազդեցության բարելավմանն ու հսկողության վերականգնմանն ուղղված փորձերն անարդյունք են կամ ոչ արդյունավետ: Ավելին, կլիմայական փոփոխությունների ֆոնին 2018թ-ից դիտվում է Սևանա լճի ինտենսիվ ծաղկում, ինչը ստիպեց ՀՀ Կառավարությանը և հայաստանյան և միջազգային գիտական հանրությանը վերանայել լճի էկոլոգիական խնդիրների պատճառների և այդ խնդիրների ձևավորման մեխանիզմների բացահայտմանն ուղղված ծրագրերը և մտածել լճի «առողջացման» ծրագրերի մասին: Սակայն, առանց հիմնական պատճառների բացահայտման, առողջացման ծրագրերն անհիմն են և անարդյունավետ: ՄԱԿ-ի Կայուն զարգացման հայեցակարգի և Եվրոպական Միության Զրի շրջանակային դիրեկտիվի սահմանմամբ լճերի էկոլոգիական վիճակի՝ այն է լճի էկոհամակարգի կառուցվածքի և գործունեության որակական դրսևորման, բարելավման անհրաժեշտությունը տարբեր երկրների պետական, ինչպես նաև միջազգային կազմակերպությունների քաղաքականության կարևոր մասն է և կարգավորվում է օրենքներով, որոնց ընդհանուր նպատակն է բարելավել ջրի որակը և իրականացնել կայուն կառավարման ռազմավարություն: Վերջինիս հիմքում էկոլոգիական վիճակը բնութագրող մի շարք կենսաբանական, ձևաբանական, ֆիզիկական ցուցանիշների **մշտադիփարկումն է կամ մոնիթորինգը**, գիտականորեն հիմնավորված մեթոդաբանությամբ, արդիականացված գործիքակազմով իրականացվող օբյեկտիվ դիտարկումներով և դրանց արդյունքում ստացվող հավաստի տվյալներով: Մեծ լճերի մշտադիտարկման ժամանակակից համակարգերի անբաժան մասն են կազմում արբանյակային հեռազննման (ԱՀ) տեխնոլոգիաները, որոնք լճի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող ձևաբանական, ֆիզիկական և կենսաբանական մի շարք առանձնահատկությունների ուսումնասիրության գործում ունեն ավանդական մեթոդներին փոխլրացման ընդգծված առավելություններ. երևույթի ուսումնասիրման և քարտեզագրման տարածական ընդգրկում, տվյալների ստացման

հստակ պարբերականություն (5-օրյա, ամենօրյա), ազատ հասանելի և ֆինանսապես մատչելի տվյալների ժամանակային մեծ շարք և դրանց արագ վերլուծության և քարտեզագրման գործիքակազմ, որոնք կարող են արագ արձագանքման հիմք հանդիսանալ: Սևանա լճի մոնիթորինգը, որն իրականացվում է ՀՀ ՇՄՆ «Հիդրոօգերևութաբանության և մոնիթորինգի կենտրոն» ՊՈԱԿի կողմից, ներառում է ավանդական բաղադրիչը, որը բավարար չէ լճում տեղի ունեցող պրոցեսների տարածական դիտարկման և քարտեզագրման և օբյեկտիվ ուսումնասիրման համար: Վերջինիս թանկարժեք արդիականացման միառժամանակյա այլընտրանք կարող են հանդիսանալ ԱՀ տեխնոլոգիաները, որոնց ներառումը մոնիթորինգային համակարգում կարող է էապես բարձրացնել համակարգի գիտահետազոտումը և գնահատման օբյեկտիվությունը, դա էլ իր հերթին՝ լճի էկոլոգիական վիճակի բարելավմանն ուղղված կայացվող որոշումների որակը՝ կարճաժամկետ փոփոխությունների գնահատումից մինչև երկարժամկետ ռազմավարության մշակում: Այդպիսով, Սևանա լճի մոնիթորինգային համակարգը ԱՀ բաղադրիչով «հարստացնելու» պոտենցիալ հեռանկարը ստիպում է ուսումնասիրել աշխարհի մեծ լճերի ԱՀ համաշխարհային փորձը և հիմնվելով Սևանա լճի դեպքում ջրի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող ձևաբանական (ջրի մակարդակի փոփոխության ցուցիչ հանդիսացող ափագծի փոփոխություն), ֆիզիկական (լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճան, սառցապատում, սառցապատման ֆենոլոգիա) և կենսաբանական (ֆիտոպլանկտոնի ծաղկման հեռազննման ցուցիչ հանդիսացող քլորոֆիլ «ա» և վնասակար ջրիմուռների քանակություն) ցուցանիշների ստուգաչափման համար անհրաժեշտ տվյալների փոքրիշատե առկայության վրա մշակել դրանց ԱՀ մեթոդական մոտեցումներ:

Աշխատանքի նպատակը և խնդիրները. Աշխատանքի նպատակն է մշակել Սևանա լճի էկոլոգիական իրավիճակը բնութագրող ձևաբանական (ափագիծ), ֆիզիկական (ջրի մակերևութային ջերմաստիճան (ՋՄՋ), սառցապատում) և կենսաբանական (քլորոֆիլ «ա», կապտականաչ ջրիմուռներ) որոշ ցուցանիշների տարածաժամանակային վերլուծության և գնահատման ԱՀ մեթոդական մոտեցումներ:

Նախանշված նպատակին հասնելու համար առաջադրվել են ներքոհիշյալ խնդիրները.

- ❖ **ափագծերի** փոփոխության քարտեզագրման արբանյակային հեռազննման մեթոդական մոտեցման մշակում, տարածաժամանակային փոփոխությունների վերլուծություն և գնահատում,
- ❖ **ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի և սառցապատման** քարտեզագրման և գնահատման արբանյակային հեռազննման մեթոդական մոտեցման մշակում,
- ❖ արբանյակային հեռազննմամբ **ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի և օդի ջերմաստիճանի** փոխազդեցության միջտարեկան և ներտարեկան առանձնահատկությունների վերլուծություն,

- ❖ **Լճի ծաղկման** որոշ պարամետրերի (քլորոֆիլ «a», **վնասակար ջրիմուռների ծաղկում**) արբանյակային հեռազննման մեթոդիկայի մշակում:

Պաշտպանվող հիմնական դրույթները.

- Արբանյակային հեռազննմամբ Սևանա լճի ափագծերի վերծանման, քարտեզագրման և փոփոխությունների գնահատման համար ափագծերի վերծանման մոդելների շարքում լավագույն արդյունք ցույց է տալիս NDWI (Normalized difference water index-Նորմավորված տարբերությունների ջրային ինդեքս) սպեկտրալ ինդեքսի և DSAS (Digital shoreline analysis system-ափագծերի վերլուծության թվային համակարգ) համակարգի համադրությունը: Վերջինիս կիրառմամբ նույնականացվել և քանակապես գնահատվել են Սևանա լճի ափագծի տարածական նշանակալի փոփոխությունները և դրանցում ընդհանուր ջրածածկված տարածքներում ծառաթփային բուսածածկի գերակշռմամբ առանձնացող և լճի ջրի պոտենցիալ երկրորդային օրգանական աղտոտման աղբյուր հանդիսացող ափամերձ տեղամասերը:
- Ի լրումն լճի սառցապատման ավանդական վիզուալ դիտարկման՝ Սևանա լճի սառցածածկի ամբողջական դիտարկման, քարտեզագրման և քարտեզաչափման լավագույն մեթոդական մոտեցումը NDSII էմպիրիկ ինդեքսի կիրառումն է: Վերջինիս կիրառմամբ դիտարկվել, քարտեզագրվել և քարտեզաչափվել է Սևանա լճի սառցածածկը և դուրս է բերվել լճի ամբողջական սառցապատման դիտարկման NDSII ինդեքսի շեմային արժեքը:
- Վնասակար ջրիմուռների ծաղկման երևակումների, քլորոֆիլ «a», սեկի սկավառակի և լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի ցուցանիշների՝ MIP (Modular Inversion & Processing) ալգորիթմներով վերծանման արդյունքների և Sentinel 3 OLCI տեսանելի սպեկտրում (RGB) պատկերների բինար համակարգով դասակարգման արդյունքների համադրմամբ մշակվել է Սևանա լճի ծաղկման գրանցման և մշտադիտարկման մեթոդական մոտեցում: Վերջինիս կիրառմամբ գրանցվել և մշտադիտարկվել է Սևանա լճի ծաղկման ժամանակահատվածը:

Աշխարհնքի գիտական նորույթը. Առաջին անգամ ԱՀ կիրառմամբ՝

- իրականացվել է Սևանա լճի ջրի մակարդակի տատանման հետևանքով ափագծի երկարաժամկետ (1929-2022թթ.) փոփոխության քանակական գնահատման մեթոդական մոտեցման մշակում և գնահատում:
- իրականացվել է Սևանա լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի մշտադիտարկման համար պիտանի արբանյակային տվյալների բազայի ուսումնասիրում, ընտրված տվյալների հիման վրա Սևանա լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի և լճավազանի օդի ջերմաստիճանի փոխհարաբերության միջտարեկան և ներտարեկան առանձնահատկությունների վերլուծություն:
- մշակվել է լճի սառցապատման ԱՀ մեթոդական մոտեցում, որի կիրառմամբ իրականացվել է Սևանա լճի սառցածածկի տարածաժամանակային շարքի քարտեզագրում և սառցապատված մակերևույթի քանակական գնահատում:

- մշակվել է Սևանա լճի ծաղկման մոնիթորինգի ԱՀ մեթոդական մոտեցում:
Աշխատանքի փաստացի նյութը. Աշխատանքն իրականացվել է ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոնում (Էկոկենտրոն)՝ ՀՀ ՇՄ Նախարարության «Հիդրոօդերևութաբանության և մոնիթորինգի կենտրոն» ՊՈԱԿ-ի, ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոնի, «Սևանի Իշխան» հիմնադրամի, «Սևան» ազգային պարկ ՊՈԱԿ-ի, Գերմանիայի Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլց կենտրոնի Լճերի հետազոտության ղեկավարամենտի և Գերմանական EOMAP Co. կազմակերպության և Ռուսաստանի գիտությունների ակադեմիայի Աշխարհագրության Ինստիտուտի հետ սերտ համագործակցությամբ: Հետազոտություններն իրականացվել են ներքոհիշյալ նախագծերի շրջանակում՝
- 2016-2017թթ., «Սևանա լճում իշխանի պաշարների վերականգնման և ծրկաբուծության զարգացման համալիր ծրագրի շրջանակներում լճի ջրի որակի հեռազննման մոնիթորինգային համակարգի ստեղծման գիտահետազոտական աշխատանքների ծրագիր» (Պայմանագիր՝ N03/05-16),
- 2018-2020թթ., ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԳԿ ֆինանսավորման հայ-ռուսական նախագիծ «Գերբարձր լուծաչափի տվյալների կիրառմամբ լեռնային լճերի էկոլոգիական վիճակի գնահատման հեռազննման մեթոդի մշակում» (Նախագծի ծածկագիր՝ 18RF-140)
- 2021-2024թթ., ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԲԿԳԿ ֆինանսավորման թեմատիկ նախագիծ «Լեռնային լճերի ջրի որակի տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատում հեռազննման տվյալների մշակման տեխնոլոգիաների կիրառմամբ» (Նախագծի ծածկագիր՝ 21T-1E252),
- 2020-2023թթ., Գերմանիայի կրթության և գիտության ֆեդերալ նախարարության և ՀՀ ՇՄ Նախարարության ֆինանսավորմամբ հայ-գերմանական նախագիծ՝ «SEVAMOD2. Հայաստանում Սևանա լճի գիտահեն կառավարման գործիքակազմի հզորացում» (նախագիծ՝ ID 01DK20038),
- «Շրջակա միջավայրի երկրաբնապահպանական հետազոտություններ» ՀՀ ԿԳՄՍՆ բազային ֆինանսավորման ծրագիր:

Աշխատանքի գիտագործնական նշանակությունը. Սևանա լճում վնասակար ջրիմուռների ծաղկման ԱՀ մշակված մեթոդական մոտեցումը հիմք է դարձել 2023թ-ին Սևանա լճի համապարփակ մշտադիտարկման հայեցակարգի մշակման համար, որտեղ ԱՀ ներառվել է, որպես մոնիթորինգի պարտադիր բաղադրիչ և առկա է Շրջակա միջավայրի նախարարության համաձայնությունը մշակված մոտեցումների կիրառման վերաբերյալ: Բացի այդ, աշխատանքի արդյունքները կարող են կիրառվել.

- Սևանա լճի մակարդակի հետագա փոփոխությունների դեպքում այդ փոփոխությունների մշտադիտարկման և ափագծի փոփոխություններով պայմանավորված ափամերձ գոտում մակերևութային ծածկի փոփոխությունների քանակական գնահատման համար:

- Սևանա լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի և սառցապատման քարտեզագրման և մշտադիտարկման համար:

Փորձահավանությունը. Հետազոտության արդյունքները ներկայացվել են. 1. Միջազգային գիտաժողով «Երկրի հեռագնման ռեգիոնալ խնդիրները» (Ռուսաստան, Կրասնոյարսկ, 10-13 սեպտեմբեր, 2017թ.), բանավոր զեկույց, 2. Միջազգային գիտաժողով «Աշխարհագրություն, Շրջակա միջավայր և ԱՏՀ» (Ռումինիա, Տարգովիցե, 17-19 մայիս, 2018թ.), բանավոր զեկույց, 3. Գիտաժողով «Կոնստրուկտիվ (կառուցողական) աշխարհագրության ժամանակակից հիմնախնդիրները, դրանց լուծման պրագմատիկ նշանակությունը (Հայաստան, Երևան, 2019թ.), բանավոր զեկույց, 4. Միջազգային համաժողով «Սևանա լճի էկոհամակարգի պահպանությանն և կայուն զարգացմանն ուղղված ջանքերի միավորում» (Հայաստան, Երևան, 1 հուլիս, 2022թ.), բանավոր զեկույց, 5. Միջազգային սիմպոզիում «Ապրող մոլորակ (Living Planet)» (Գերմանիա, Բոնն, 23-27 մայիս, 2022թ.), ստենդային զեկույց, 6. Միջազգային գիտաժողով «Հիդրոօդերևութաբանության զարգացման հիմնախնդիրներն ու հեռանկարները կիսալեռնային և լեռնային երկրներում» (Հայաստան, Երևան, 29 օգոստոս, 2023թ.), բանավոր զեկույց, 7. Ամփոփիչ գիտաժողով – 2024 (Հայաստան, Երևան, 07-15 դեկտեմբեր), պաստառային զեկույց, 8. Միջազգային գիտաժողով «Հիդրոօդերևութաբանության և շրջակա միջավայրի մոնիթորինգի ընթացիկ խնդիրները փոփոխվող կլիմայի պայմաններում. ադապտացիա, կայունություն և արտադրական պրոցեսներ» (Հայաստան, Երևան, 20-22 մարտ, 2025թ.), բանավոր զեկույց:

Հրապարակված աշխատանքները. Աշխատանքի արդյունքներն ամփոփված են 8 գիտական հոդվածներում, 2-ը՝ տեղական, 6-ը՝ միջազգային ամսագրերում: Եվս երկու հոդված տպագրության փուլում են:

Արենախոսության կառուցվածքը և ծավալը. Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրակացությունից, գրականության ցանկից, առաջարկություններից, հապավումների ցանկից և հավելվածներից: Օգտագործված գրականությունն ընդգրկում է 207 անվանում: Աշխատանքը շարադրված է 150 (179) էջերի վրա, ներառում է Հապավումների ցանկ և Հավելվածներ:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԳԼՈՒԽ 1 ԼՃԵՐԻ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՈՒՄ. ԿԱՐԵՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ (ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱԿՆԱՐԿ)

Ատենախոսության գրականության ակնարկը ներկայացված է 3 ենթագլուխներով, որոնցում քննարկվել են լճերի էկոլոգիական հիմնախնդիրները, էկոլոգիական վիճակը բնութագրող հիմնական ցուցանիշները, դրանց՝ ԱՀ ուսումնասիրման հնարավորություններն ու սահմանափակումները, մեծ լճերի համար ԱՀ հնարավորությունները: Անդրադարձ է կատարվել հետազոտման օբյեկտի՝ Սևանա լճի և ավազանի ֆիզիկաաշխարհագրական առանձնահատկություններ-

րին, Սևանա լճի հիմնախնդրին, ամփոփվել են Սևանա լճի ԱՀ մինչ այժմ իրականացված հետազոտությունները և հիմնավորվել է Սևանա լճի էկոլոգիական մոնիթորինգի արդիականացման անհրաժեշտությունը և դրանում ԱՀ ներառման և կիրառման կարևորությունը:

ԳԼՈՒԽ 2. ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐԸ ԵՎ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

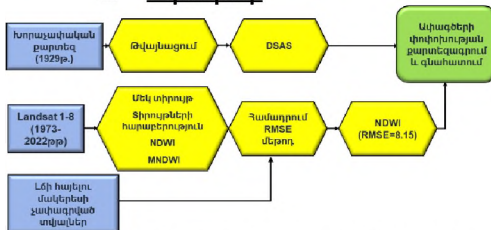
Հետազոտության օբյեկտը Սևանա լիճն է՝ Հայաստանի և Հարավային Կովկասի ամենամեծ (1278կմ²) քաղցրահամ բարձրալեռնային լիճը: Հետազոտվել են լճի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող ձևաբանական (ափագիծ), ֆիզիկական (ջերմաստիճան, սառցածածկ) և կենսաբանական (ֆիտոպլանկտոնի ծաղկում) ցուցանիշները:

Աշխարհային տեղեկատվական հենքը կազմել են Landsat 1-9 և Sentinel 2,3 արբանյակային պատկերները (1973-2022թթ.) և դրանց հիման վրա ստացված տեղեկատվությունը (պատկերները կիրառվել են հանածայն առաջադրված խնդիրների), 1929թ. Սևանա լճի խորաչափական քարտեզը, կլիմայական տվյալներ, Սևանա լճի վերաբերյալ թեմատիկ քարտեզագրական շերտեր, հիդրոէկոլոգիական դաշտային չափումների տվյալներ և այլն:

Արբանյակային տվյալների նախնական մշակումն իրականացվել է համաձայն պատկերների մետատվյալների՝ համապատասխան տեխնիկական ցուցումների: Պատկերների մթնոլորտային աղավաղման ուղղման համար կիրառվել է DOS (Dark Object Subtraction) մեթոդը՝ Landsat (1-9)՝ ENVI և QGIS, իսկ Sentinel 2 MSI պատկերները՝ SNAP ծրագրային միջավայրներում: Sentinel 3 արբանյակների (A, B) OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) և SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Instrument) սենսորների տվյալները մշակվել են Գերմանական EOMAP կազմակերպության eoLytics (<https://www.eomap.com/>) և Եվրոպական Կոպեռնիկոս C-GLOB համակարգերում (<https://land.copernicus.eu/en/global>): ESRI ArcGIS 10.6.1 և ArcGISPro ծրագրային փաթեթները կիրառվել են քարտեզագրական շերտերի մշակման, վերլուծության և գնահատման համար:

Աշխատանքների մեթոդական քայլային հաջորդականությունը սխեմատիկորեն ներկայացված է հաջորդիվ՝ համաձայն հետազոտվող ցուցանիշների հետևյալ կերպ՝

1. Ափագծեր

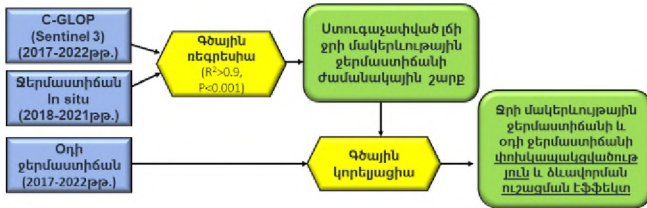


$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

NIR - մուրակա ինֆրակարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեք
 Green - կանաչ տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեք
 NDWI>0 - ջուր, NDWI<0 - ցամաք

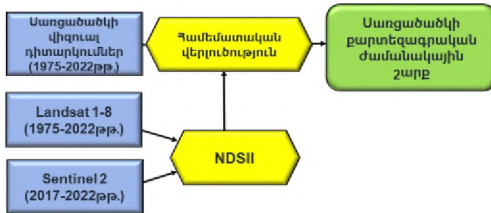
Նկար 1. Սևանա լճի ափագծերի փոփոխության քանակական գնահատման մեթոդական մոդելի մշակման համառոտ սխեման

2. Զրի մակերևույթային ջերմաստիճան



Նկար 2. ՋՄՋ ԱՀ և օդի ջերմաստիճանի հեղ փոխազդեցության միջդարեկան և ներդարեկան առանձնահատկությունների վերլուծության համառոտ սխեման

3. Սառցապատում

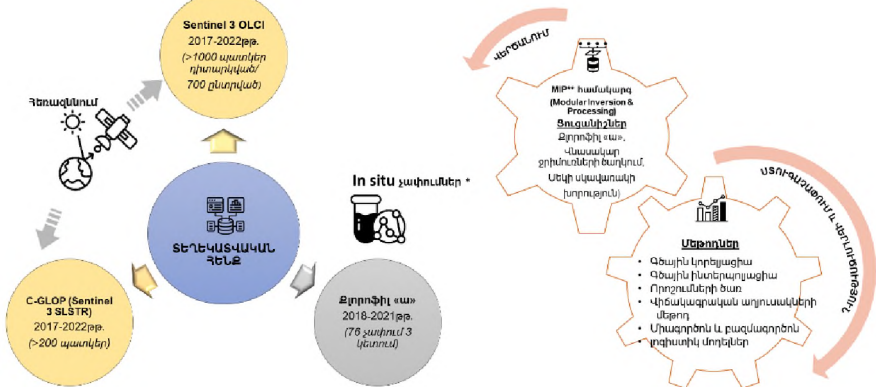


$$NDSII = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

SWIR – կարճալիք ինֆրակարմիր տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեք,
Green – կանաչ տիրույթում սպեկտրալ անդրադարձման արժեք
NDSII>0.40 – սառույց

Նկար 3. Սևանա լճի սառցային ռեժիմի ԱՀ համառոտ սխեման

4. Լճի ֆիտոպլանկտոնի ծաղկում



Նկար 4. Լճի ծաղկման մեթոդական մոդեցման մշակման տեղեկատվական հենքը

Տվյալների վիճակագրական վերլուծության համար կիրառվել են ռեգրեսիոն անալիզ, գծային ինտերպոլյացիա, կորելյացիոն անալիզ, որոշումների ծառ,

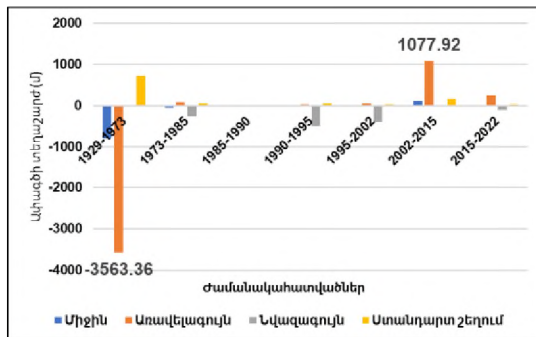
միագործոն և բազմագործոն լոգիստիկ մոդելներ, բազմակի գծային վիճակագրական մոդելներ և վիճակագրական վերլուծության այլ մոդելներ ու մեթոդներ:

ԳԼՈՒԽ 3.

3.1 ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎԻՃԱԿԸ ԲՆՈՒԹԱԳՐՈՂ ԶԵՎԱԲԱՆԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻՑ ԱՓԱԳԾԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾԱԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱՐՔԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴԱԿԱՆ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄ

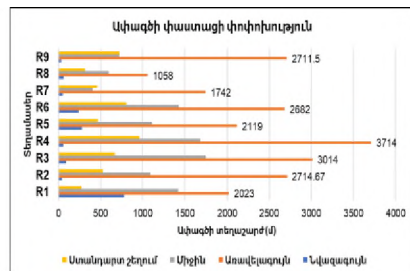
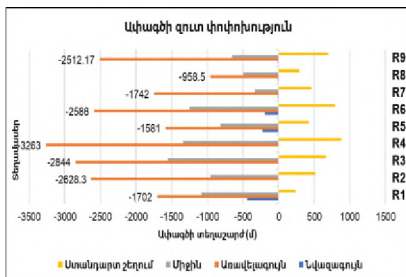
Սևանա լճում ջրի մակարդակի փոփոխության արդյունքում 1927-2022թթ. առանձնացված ժամանակահատվածներում (1927-1973, 1973-1985, 1985-1990, 1990-1995, 1995-2002, 2002-2015, 2015-2022 թթ.) ափագծի ամենամեծ փոփոխությունը՝ 3563մ, տեղի է ունեցել 1927-1973թթ. ժամանակահատվածում՝ ջրի մակարդակի նվազման արդյունքում ափագիծը հետ է քաշվել, իսկ ամենամեծ դրական տեղաշարժ՝ 1078 մ, տեղի է ունեցել 2002-2015թթ.՝ ջրի մակարդակի բարձրացման արդյունքում (նկ.1):

Սևանա լճի ափերի ռելիեֆի ձևաբանական առանձնահատկություններով պայմանավորված ափագիծը փոփոխվել է ոչ հավասարաչափ: Առանձնացված առավել փոփոխված 9 տեղամասերից (նկ. 2) տարածական ամենամեծ փոփոխությունները տեղի են ունեցել Նորատուս թերակղզու հատվածում:



Նկար 1. Սևանա լճի ափագծերի փոփոխությունները 1929-2022թթ., ըստ առանձին ժամակահատվածների

Սևանա լճի ջրի մակարդակի նվազման արդյունքում ջրից ազատվել է գրեթե 1440 կմ² տարածք: Ափագծի հիմնական փոփոխությունները դիտվում են լճի հյուսիս-արևմտյան, ողջ արևմտյան, հարավային և ծայր հարավ-արևմտյան հատվածում: «Սևան» ազգային պարկի տրամադրած տվյալների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ 2002-2015թթ., երբ տեղի է ունեցել լճի ջրի մակարդակի հիմնական բարձրացումը, մոտ 1900 հա անտառապատ տարածք (ծառեր և թփեր) անցել է ջրի տակ:

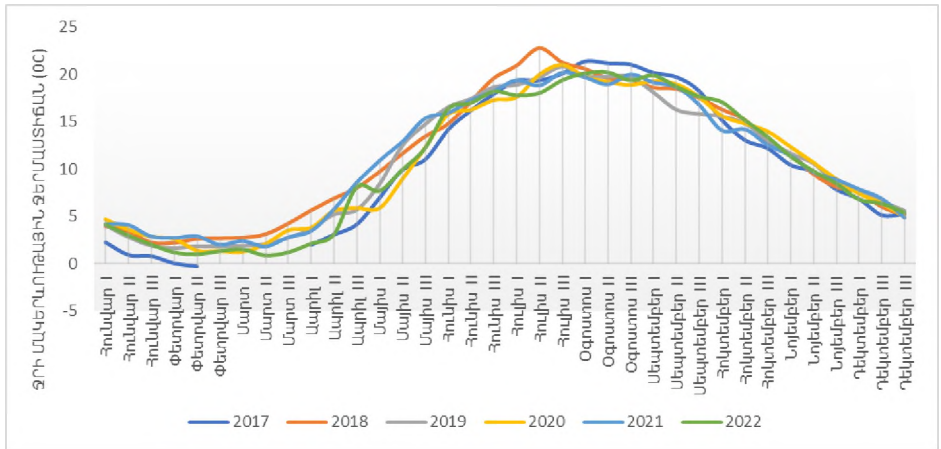


Նկար 2. Սևանա լճի ափագծի առանձին՝ առավել մեծ փոփոխություններ կրած հատվածները

3.2. ԶՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԵՎ ՍԱՌՑԱՊԱՏՄԱՆ ՔԱՐՏԵԶԱԳՐՄԱՆ ԵՎ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴԱԿԱՆ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄ, ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՄԲ ԶՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ և ՕԴԻ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՏԱՐԵԿԱՆ ԵՎ ՆԵՐՏԱՐԵԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

3.2.1. Զրի մակերևութային ջերմաստիճանի արբանյակային հեռազննում և կլիմայական ցուցանիշների (օդի ջերմաստիճան) հեղ փոխազդեցության միջտարեկան և ներտարեկան առանձնահատկությունների վերլուծություն

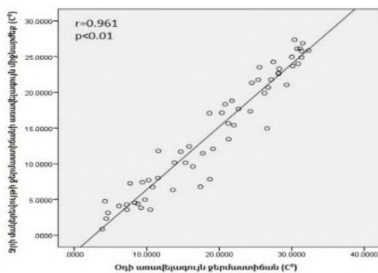
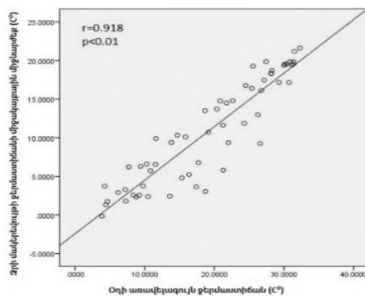
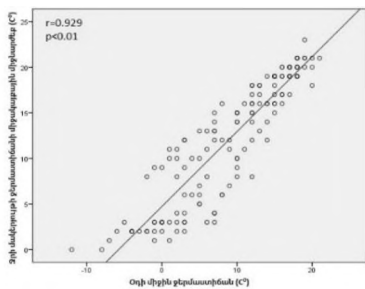
Ըստ Կոպեռնիկոս C-GLOP տվյալների լճում բարձր ՋՄՋ դիտարկվում է հուլիս-օգոստոս ամիսներին, որը հետազոտված ժամանակահատվածում տարբեր կերպ է դրսևորվել: Ամենացածր մակերևութային ջերմաստիճանը դիտվում է փետրվար ամսին (նկ. 1):



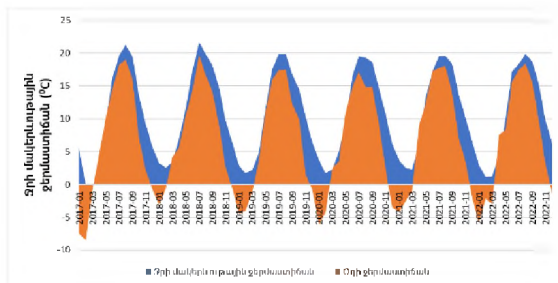
Նկար 1. Լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի «վարքը» 2017-2022 թթ.

Սևանա լճի տասնօրյա միջին ՋՄՋ և ջրհավաք ավազանի օդի միջին տասնօրյակային ջերմաստիճանները, ՋՄՋ միջին ամսական ջերմաստիճանները և օդի ամսական առավելագույն ջերմաստիճանները, ՋՄՋ ամսական առավելագույն և օդի ամսական առավելագույն ջերմաստիճաններ միմյանց հետ ցույց են տալիս հստակ արտահայտված նշանակալի կորելյացիա. ՋՄՋ տասնօրյա միջին և օդի տասնօրյա միջին ջերմաստիճանների միջև ($r=0.929$), ՋՄՋ ամսական միջին և օդի առավելագույն ամսական ջերմաստիճանների միջև ($r=0.918$), ՋՄՋ առավելագույն ամսական և օդի առավելագույն ամսական ջերմաստիճանների միջև ($r=0.961$), ընդ որում բոլոր դեպքերում կորելյացիայի արդյունքները գտնվում են $p < 0.001$ հավաստիության սահմաններում (նկ. 2):

Արդյունքները հաստատագրում են Սևանա ՋՄՋ և Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի օդի ջերմաստիճանի միջև նշանակալի փոխկապակցվածության մասին, որոնց համադրությամբ հնարավոր է վեր հանել այս ցուցանիշների ներտարեկան և միջտարեկան վարքում դրսևորվող և օրինաչափությունները, դրանցից հնարավոր շեղումները: Ինչպես նաև ԱՀ հաստատագրվում է, բայց ոչ չափագրվում օդի ջերմաստիճանի և ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի ձևավորման ժամանակ դրսևորվող «ուշացման» էֆֆեկտը (նկ. 3):



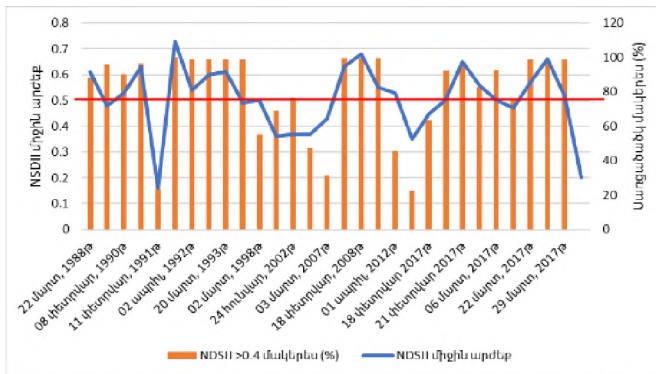
Նկ. 2. Սևանա լճի ՋՄՋ և Սևանի ավազանի օդի ջերմաստիճանի միջև փոխկապակցվածությունը ա) ՋՄՋ տասնօրյա միջին և օդի տասնօրյա միջին ջերմաստիճանների միջև, բ) ՋՄՋ ամսական միջին և օդի ամսական առավելագույն ջերմաստիճանների միջև, գ) ՋՄՋ ամսական առավելագույն և օդի ամսական առավելագույն ջերմաստիճանների միջև



Նկ. 3. Սևանա լճի ՋՄՋ միջին և Սևանի ջրի վրա ավազանի օդի միջին տասնօրյա ջերմաստիճանի ներդրողական և տարեկան դրսևորումները 2017-2022թթ.

3.2.2 Սևանա լճի սառցային ռեժիմի ուսումնասիրություն արբանյակային հեռազննման կիրառմամբ

Հետազոտվող 1975-2022թթ. ժամանակահատվածում Սևանա լիճը սառել է 22 անգամ, որից ԱՀ հնարավոր է եղել գրանցել, քարտեզագրել և չափել 15 դեպք: 7 տարիների համար բավարար որակի արբանյակային տվյալներ հասանելի չեն եղել: Սևանա լճի սառցածածկի վերլուծությամբ, հիմնվելով սառցածածկ մակերեսների քարտեզաչափման տվյալների վրա, որոնք համադրվել են լճում NDSII միջին արժեքների հետ, սահմանվել է ինդեքսի այն արժեքը՝ NDSII >0,5, որից բարձր արժեքի դեպքում դիտվում է Սևանա լճի ամբողջական սառցածածկում:

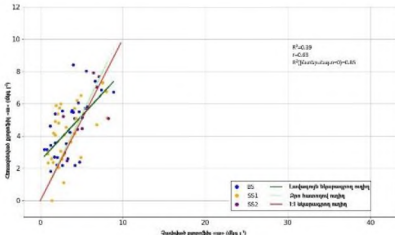
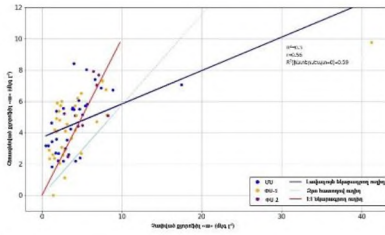


Նկար 1. Սևանա լճի սառցածածկի NDSII արժեքները և լճի սառցապատ մակերեսը՝ ըստ Landsat և Sentinel 2 արբանյակային պատկերների

Ըստ 2017թ. սառցածածկի ֆենոլոգիայի հեռազննումը ցույց է տալիս, որ Սևանա լճում փետրվարի 2-ին դեռևս առկա է միայն եղրասառույց, փետրվարի 18-ից դիտվում է լճի համատարած սառցապատում, որը ըստ պատկերների, պահպանվում է մինչև մարտի 23: Մարտի 29-ին ստացված Landsat պատկերի վրա Փոքր Սևանն ամբողջությամբ և Մեծ Սևանի մի հատվածը և սառցապատ է, որից կարելի է ենթադրել, որ մարտի 29-ին լիճը դեռևս սառած է, այնինչ ապրիլի 12-ի պատկերում լիճն ամբողջությամբ սառցազատ է: Այսինքն, սառույցի վերացման ընթացքը չի գրանցվում և այս փաստը դեռևս սահմանափակում է ԱՀ կիրառումը ֆենոլոգիայի դիտարկման գործում:

3.3 ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎԻՃԱԿԸ ԲՆՈՒԹԱԳՐՈՂ ՄԻ ՄԻ ՇԱՐՔ ԿԵՆՍԱՐԱՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ (ՔԼՈՐՈՖԻԼ «Ա», ՎՆԱՍԱԿԱՐ ԶՐԻՄՈՒՌՆԵՐԻ ԾԱՂԿՈՒՄ) ԱՐՔԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶՆՆՄԱՆ ԵՎ ՔԱՐՏԵԶԱԳՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ և ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Հետազոտության համար ընտրվել է 2017-2022թթ. ապրիլից նոյեմբեր ժամանակահատվածը, որը պայմանավորված է հեռազննման Sentinel 3 OLCI սենսորի մեկնարկով (2016թ) և հեռազննման արդյունքների ստուգաչափման համար դաշտային չափումների առկա բազայով (2018-2021թ): ԱՀ դիտարկվել են քլորոֆիլ «ա» և ՎԶԾ ցուցանիշները: Հեռազննված և in situ չափված քլորոֆիլ «ա» տըվյալների համադրությունը ցույց է տալիս նշանակալի գծային կորելյացիա՝ $r=0.56$ ($p<0.001$): Հատկանշական է, որ կորելյացիոն գործակցի արժեքի վրա զգալի չափով ազդել են «կարգաշեղումները», որոնց բացառման դեպքում կորելյացիայի արժեքները բարելավվում են՝ $r=0.63$ ՝ $p<0.001$ նշանակալիությամբ (նկ. 1): Սակայն, չնայած նրան, որ քլորոֆիլ «ա» բարձր արժեքները վիճակագրորեն դիտարկվում են որպես կարգաշեղումներ, այդուհանդերձ, դրանք իրական չափումներ են և դրանցից միայն մեկն է արտացոլում լճի «այլ» վիճակը՝ **ծաղկումը**:

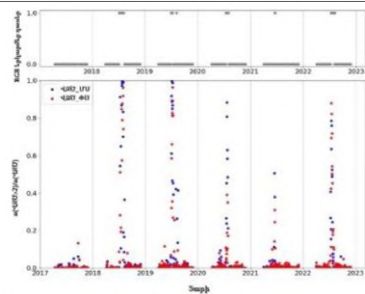


Նկար 1. Չափված և հեռագնված քլորոֆիլ «ա» արժեքների միջև կապը (ա կարգաշեղումներով, բ առանց կարգաշեղումների)

Կարգաշեղումների բացառումը բարելավում է վիճակագրական ցուցանիշները, սակայն նաև մատնանշում է խնդիրն առ այն, որ նշված պատկերներից ջրում քլորոֆիլ «ա» բարձր պարունակությունները, վերծանման *eolytics* MIP համակարգի ալգորիթմի միջոցով, դեռևս չենք կարող ստանալ: Ի տարբերություն դրան, ՎՋԾ որակական գնահատման սխեմայի համաձայն, վերծանվում է լճի ինտենսիվ ծաղկումը (հատկանշական են 2018 և 2019 թթ. դեպքերը)՝ արտահայտված 3 և 4 բալերով: ՎՋԾ գնահատման արդյունքների ստուգաչափման նպատակով գերմանացի գործընկերների կողմից առաջարկվեց մշակել սուգաչափման մոտեցում հիմնված՝ RGB բինար գնահատման երկարժեք (ԱՅՈ՝ ծաղկման վիզուալ առկայություն և ՈՉ՝ ծաղկման բացակայություն) փոփոխականների վրա, որի արդյունքները համադրվել են Որոշումների ծառ - ՈՉ մոդելով բինար վերադասակարգված (չենք՝ ՎՋԾ=2 բալ) ՎՋԾ հետ: Արդյունքների համադրությունը վիճակագրական աղյուսակի միջոցով ցույց տվեց, որ 700 պատկերների համար դիտվում է 671 համընկնում, որից 28-ում ծաղկման դեպքերը համընկնում են (աղ. 1, նկ. 2):

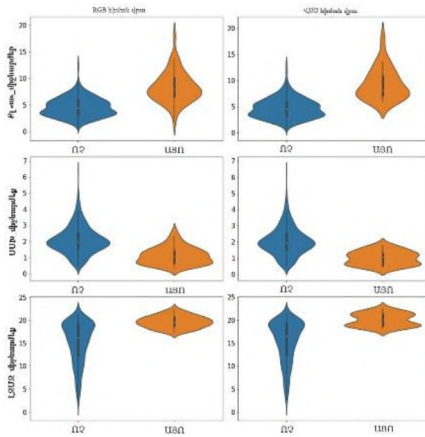
Աղյուսակ 1. RGB պատկերների երկուական (բինար) դասակարգման արդյունքների և ՎՋԾ ցուցանիշների համադրման վիճակագրական աղյուսակ

		RGB_երկարժեք		
		ՈՉ	ԱՅՈ	
ՎՋԾ	ՈՉ (ՎՋԾ ≤ 2)	643	29	672
	ԱՅՈ (ՎՋԾ > 2)	0	28	28
		643	57	700



Նկար 2. Բոլոր 700 պատկերների դիֆարկում՝ Սևանա լճի RGB վրա հիմնված ծաղկման հայտնաբերման համար (վերև) և ՎՋԾ հիմնված դասակարգում (ներքև)

Դաշտային չափումների արդյունքում ծաղկում է հայտնաբերվել միայն 2018թ. քլորոֆիլ «ա» արժեքը գրանցվել է 41 $\mu\text{g/L}$, իսկ հեռագննմամբ ծաղկում չի հայտնաբերվել միայն 2017թ.:



Նկար 3. Քլորոֆիլ «ա»-ի (վերև), ՍՍԽ (միջին) և ՋՄՋ (ստորին) արժեքների ջրօթակաձև գրաֆիկները՝ լճի ծաղկած և չծաղկած վիճակի համադրմամբ: Ծաղկման վիճակի տարբերակումը իրականացվել է ինչպես RGB պատկերների (ծախ), այնպես էլ ՎՋԾ ցուցիչի (աջ) գնահատմամբ

Աղյուսակ 2. Միագործոն և բազմագործոն մոդելների կիրառմամբ ՎՋԾ կամ RGB վերծանված ծաղկման և լճի ծաղկումը նկարագրող մյուս փոփոխականների (Քլորոֆիլ «ա», ՍՍԽ և ՋՄՋ) համադրման վիճակագրական ցուցանիշները

Միագործոն մոդել (single factor model)			
Պատասխան փոփոխական (Response variable)	Բացատրական փոփոխական (Explanatory variable)	Նշանակալիության արժեք (p)	Կեղծ դեպերմինացիոն գործակից (Pseudo-R ²)
ՎՋԾ հիմնված ծաղկման Հայտնաբերում	Քլորոֆիլ «ա»	<0.001	0.36
	ՍՍԽ	<0.001	0.23
	ՋՄՋ	<0.001	0.26
RGB հիմնված ծաղկման Հայտնաբերում	Քլորոֆիլ «ա»	<0.001	0.33
	ՍՍԽ	<0.001	0.22
	ՋՄՋ	<0.001	0.24
Բազմագործոն մոդելներ (Best Multiple Models)			
ՎՋԾ հիմնված ծաղկման Հայտնաբերում	Քլորոֆիլ «ա»	<0.001	0.59
	ՋՄՋ	<0.001	
RGB հիմնված ծաղկման Հայտնաբերում	Քլորոֆիլ «ա»	0.005	0.58
	ՋՄՋ	<0.001	
	Քլորոֆիլ «ա»/ՋՄՋ	0.048	

ՎՋԾ վերծանման և RGB պատկերների երկուական դասակարգման արդյունքների վիճակագրական ստուգաչափման նպատակով կիրառվել են **Միագործոն և բազմագործոն լոգիստիկ մոդելներ**՝ ներառելով քլորոֆիլ «ա», ՍՍԽ, ՋՄՋ ցուցանիշները: Միագործոն մոդելի արդյունքների համաձայն արդյունքների հավաստիությունը բնութագրող ցուցանիշները դետերմինացիոն գործակիցները (Pseudo R² {0,2-0,4} արժեքային տիրույթում և նշանակալիության (p-value <0,001)) հաստատում են, որ ՎՋԾ և RGB (պատասխանատու փոփոխականներ) վերծանմամբ դիտարկված լճի ծաղկմանը համապատասխանում են համեմատաբար

բարձր քլորոֆիլ «ա» ($> 10\mu\text{g l}^{-1}$), ցածր ՍՍԽ ($< 2\text{մ}$) և բարձր ՋՄՋ ($> 20^\circ\text{C}$) հեռազննված ցուցանիշները (բացադրական փոփոխականներ) (աղ. 3): **Բազմագործոն լոգիստիկ մոդելի** արդյունքների համաձայն ՎՋԾ և RGB (պատասխանատու փոփոխականներ) վերձանմամբ դիտարկված լճի ծաղկմանը բացատրական փոփոխականների ցանկում քլորոֆիլ «ա», ՍՍԽ և ՋՄՋ փոփոխականներից վիճակագրորեն ավելի նշանակալի են համադրվում հեռազննված քլորոֆիլ «ա»-ն և ՋՄՋ-ը, համեմատաբար ավելի բարձր դետերմինացիոն գործակիցներով $\{0 - 1\}$ արժեքային տիրույթում համապատասխանաբար $\text{Pseudo } R^2 = 0,59$ (ՎՋԾ) և $= 0,58$ (RGB), որը խոսում է վերջիններիս ծաղկման գործընթացի, որպես ցուցիչ կայունության մասին (աղ. 2):

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ուսումնասիրության ստացված արդյունքները թույլ են տալիս անել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Արբանյակային հեռազննմամբ Սևանա լճի ափագծերի քարտեզագրման գործում սպեկտրալ վերձանման մեթոդներից առավելագույն ճշտություն ($\text{RMSE}=8,15$) ապահովվում է NDWI ինդեքսը, որի կիրառմամբ վերձանված ափագծերի DSAS գործիքակազմով քանակական գնահատումը ցույց է տալիս լճի ափագծերի փոփոխության տարածական և ժամանակային անհամաչափություն, իսկ DSAS համակարգում ափագծի զուտ փոփոխության ցուցանիշը կարող է կիրառվել, որպես լճի ափագծի և ափամերձ գոտում ծառաթփային բուսածածկ տարածքների փոփոխության մոնիթորինգային գործիք:
2. Sentinel 3 արբանյակային պատկերներից ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի C-GLOP պրոդուկտները կիրառելի են լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի ներտարեկան և միջտարեկան առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունների գործում, իսկ օդի ջերմաստիճանի և հեռազննված ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի միջև գործող նշանակալի կորելյացիոն կապի ($r=0,9$; $p<0.001$) շնորհիվ արբանյակային հեռազննումը հաստատագրում է, բայց դեռևս ոչ ճշգրիտ չափագրում Սևանա լճավազանի օդի ջերմաստիճանի և Սևանա լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի ձևավորման ժամանակ դրսևորվող «ուռացման» էֆֆեկտը:
3. Սևանա լճի սառցածածկի ավանդական և հեռազննման NDSII սպեկտրալ ինդեքսի վերձանմամբ դիտարկման արդյունքները փաստում են սառցապատման պարբերականության փոփոխության մասին՝ հաստատագրելով մակարդակի իջեցումից հետո լճի սառույցապատման 2-5 տարի պարբերականությունը:
4. Լճի սառցապատման ֆենոլոգիայի հեռազննմամբ ուսումնասիրությունը սահմանափակված է ազատ հասանելի առկա տվյալների ժամանակային լուծաչափով (Landsat՝ 16օր, Sentinel 2 MSI՝ 10օր), կամ ամենօրյա պատկերներում սպեկտրալ տիրույթի բացակայությամբ (Sentinel 3 OLCI՝ անհրաժեշտ ԿԻԿ տիրույթը): Արբանյակային պատկերների ստացման պարբերականության

ակնկալվող մեծացումը կբարձրացնի սառույցի ֆենոլոգիայի ուսումնասիրման հնարավորությունները:

5. Sentinel 3 արբանյակային պատկերների սպեկտրալ առանձնահատկությունները և պատկերների վերծանման MIP մոդելը դեռ թույլ չեն տալիս քանակապես գնահատել Սևանա լճում ֆիտոպլանկտոնի ծաղկումը, մասնավորապես որսալ ծաղկումը հավաստող քլորոֆիլ «a»-ի բարձր ($>15\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) պարունակությունները:
6. Հեռազննման Վնասակար Ջրիմուռների Ծաղկման (ՎՋԾ) MIP ալգորիթըմը հանդիսանում է լճում ՎՋԾ երևակումների հեռազննման կայուն ցուցիչ (ինդիկատոր) և լճի ծաղկման որակական գնահատման գործիք՝ և կարող է կիրառվել լճի ծաղկման գործընթացի հայտնաբերման և դրա ժամանակահատվածի մշտադիտարկման ու տարածական քարտեզագրման նպատակով:

ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

- Ավանդական չափումների հաճախականության հետագա ավելացումը և թիրախային մոնիթորինգային տվյալների հավաքման արդյունքում ձևավորված տվյալների շարքը կարող են հիմք հանդիսանալ ջրային մարմիններում ծաղկման հայտնաբերման մշակված գործիքակազմի հետագա կատարելագործման համար:
- Այդուհանդերձ, Սևանա լճի առանձնահատկությունների պարագայում ավանդական մոնիթորինգային ցանցի ավելացման դեպքում անգամ լճի էկոլոգիական վիճակի մշտադիտարկման գործում հեռազննումը մնում է ուսումնասիրված ցուցանիշների (ափագիծ, ՋՄՋ, սառցածածկի, ՎՋԾ) տարածական քարտեզագրման արդյունավետ գործիք և պետք է լիարժեք կիրառվի պետական մշտադիտարկման համակարգում որպես պարտադիր բաղադրիչ:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. Tepanosyan, G., Muradyan, V., Hovsepyan, A., Minasyan, L., & Asmaryan, S. (2017). A Landsat 8 OLI Satellite Data-Based Assessment of Spatio-Temporal Variations of Lake Sevan Phytoplankton Biomass. *Annals of Valahia University of Targoviste, Geographical Series*, 17, 83 – 89.
2. Асмарян Ш., Мурадян В., Тепаносян Г., Овсебян А., Сагателян А., Применение спутниковых снимков Landsat 8 OLI/TIRS для оценки экологического состояния воды озера Севан в Армении. Крацноярск, Россия: Сибирский федеральный университет, 2017. Р. 183–186.
3. Hovsepyan A., Muradyan V., Tepanosyan G., Minasyan L., Asmaryan Sh., Studying the Dynamics of Lake Sevan Water Surface Temperature Using Landsat8 Satellite Imagery // *Annals of Valahia University of Targoviste, Geographical Series*. 2018. Vol. 18, № 1. P. 68–73.
4. Hovsepyan A., Tepanosyan G., Muradyan V., Asmaryan Sh., Medvedev A., Koshkarev A., Lake Sevan Shoreline Change Assessment Using Multi-Temporal Landsat Images // *GES*. 2019. Vol. 12, № 4. P. 212–229. <http://dx.doi.org/10.24057/2071-9388-2019-46>

5. Asmaryan Sh., Muradyan V., Tepanosyan G., **Hovsepyan A.**, Saghatelyan A., Atsatryan H., Grigoryan H., Abrahamyan R., Guigoz Y., Giuliani G., *Paving the Way towards an Armenian Data Cube* // *Data*. 2019. Vol. 4, № 3. P. 117. <http://dx.doi.org/10.3390/data4030117>
6. **Հովսեփյան Ա.** Արբանյակային լուսանկարների կիրառման հնարավորությունները Սևանա լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման գործում // *Գիտություններ Երկրի մասին*. 2020. Vol. 73. P. 57–71.
7. **Овсепян А.**, Хлгатыан А., Аветисян Р., Мурадыан В., Асмарьян Ш., *Дистанционное зондирование температуры поверхности воды озера севан с применением данных copernicus global land service* // *Proc. YSU C: Geol. Geogr. Sci.* 2023. Vol. 57, № 3 (261). P. 255–263. <http://dx.doi.org/10.46991/PYSU:C/2023.57.3.255>
8. Asmaryan S., Khlghatyan A., **Hovsepyan A.**, Muradyan V., Avetisyan R., Gevorgyan G., Hayrapetyan A., Eissa M.M.A.A., Bernert H., Schultze M., Rinke K., *Satellite-Based Detection of Algal Blooms in Large Alpine Lake Sevan: Can Satellite Data Overcome the Unavoidable Limitations in Field Observations?* *Remote Sens.* 2024, 16, 3734. <https://doi.org/10.3390/rs16193734>

ОВСЕПЯН АЗАТУИ АРЦРУНОВНА

РЕЗЮМЕ

Озеро Севан, одно из крупнейших высокогорных озер в мире, является крупнейшим резервуаром пресной воды, имеющий исключительное значение для Армении и всего Южного Кавказа, а также важным рекреационным объектом с прекрасными ландшафтными условиями и огромным потенциалом природных ресурсов. Однако целенаправленное понижение уровня воды озера, бемерное использование водных и биологических ресурсов стали серьезной причиной количественных и качественных изменений природных условий озера, в результате чего исключительно чистое в натуральных условиях олиготрофное озеро Севан в настоящее время имеет статус мезотрофного озера, с возрастающими с каждым годом экологическими проблемами.

Необходимость усовершенствования экологического состояния озера - качественного проявления структуры и функционирования озерной экосистемы требует мониторинга биологических, морфологических, физических показателей, характеризующих экологическое состояние озера, с проведением объективных наблюдений с использованием научно обоснованной методики, модернизированных средств и полученных в результате достоверных данных. Технологии спутникового дистанционного зондирования (ДЗ) являются неотъемлемой частью современных систем мониторинга больших озер, которые имеют существенные преимущества перед традиционными методами в изучении ряда морфологических, физических и биологических особенностей, характеризующих экологическое состояние озера, и включение их в систему мониторинга может

существенно повысить научную обоснованность системы и объективность оценки, а это, в свою очередь, качество принимаемых решений, направленных на улучшение экологического состояния озера, от оценки краткосрочных изменений до разработки долгосрочной стратегии и основы быстрого реагирования.

Исходя из этого, была поставлена цель разработать методические подходы спутникового ДЗ для пространственно-временного анализа и оценки некоторых морфологических (береговая линия), физических (температура поверхности воды, ледовый покров) и биологических (хлорофилл «а», сине-зеленые водоросли) показателей, характеризующих экологическое состояние озера Севан. Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи. 1. разработка методического подхода спутникового дистанционного картографирования изменений береговой линии, анализ и оценка пространственно-временных изменений, 2. разработка методического подхода спутникового дистанционного картографирования и оценки температуры поверхности воды и ледяного покрова, 3. анализ межгодовых и внутригодовых особенностей взаимодействия температуры поверхности воды, полученных средствами спутникового дистанционного зондирования и температуры воздуха, 4. разработка методологии спутникового ДЗ некоторых параметров цветения озер (хлорофилл а, цветение вредоносных водорослей).

В итоге были получены следующие важные результаты: 1. Для дешифровки, картографирования и оценки изменений береговой линии озера Севан посредством спутникового ДЗ, среди моделей дешифровки береговой линии спектральный индекс NDWI (Нормализованный разностный водный индекс), в комбинация с системой DSAS (Цифровая система анализа береговой линии) показывает лучший результат. С использованием последнего были идентифицированы и количественно оценены значительные пространственные изменения береговой линии озера Севан и прибрежные участки, выделяющиеся преобладанием древесно-кустарниковой растительности на общих территориях, покрытых водой, и являющиеся потенциальным источником вторичного органического загрязнения воды озера. 2. в дополнение к традиционному визуальному наблюдению за замерзанием озера, наилучшим методологическим подходом к всецелому наблюдению, картированию и картографированию ледяного покрова озера Севан является применение эмпирического индекса NDSII. С помощью последнего был зарегистрирован, картографирован и измерен ледяной покров озера Севан, а также было получено пороговое значение индекса NDSII для мониторинга полного замерзания озера. 3. Сопоставлением результатов дешифровки алгоритмами MIP (Modular Inversion & Processing) показателей проявления цветения вредоносных водорослей, хлорофилла «а», секи-диска и температуры поверхности воды озера и результатов бинарной

классификации изображений видимого спектра (RGB) Sentinel 3 OLCI была разработана методика регистрации и мониторинга цветения озера Севан. С помощью последнего были зафиксированы цветение и период цветения озера Севан.

Разработанный методологический подход спутникового дистанционного мониторинга цветения вредоносных водорослей в озере Севан стал основой для разработки концепции комплексного мониторинга озера Севан в 2023 году, в которой спутниковый дистанционный мониторинг был включен в качестве обязательного компонента мониторинга и имеется согласие министерства окружающей среды на применение разработанных подходов.

Результаты работы обобщены в 8 научных статьях: 2 в локальных и 6 в международных журналах.

HOVSEPYAN AZATUHI ARTSRUNI

SUMMARY

Lake Sevan, one of the largest high-altitude lakes in the world, is the large reservoir of fresh water, which is of exceptional importance for Armenia and the entire South Caucasus, as well as an important recreational facility with excellent landscape conditions and huge potential of natural resources. However, the purposeful lowering of the lake water level, ruthless use of water and biological resources became a serious cause of quantitative and qualitative changes in the natural conditions of the lake, as a result of which the exceptionally clean in natural conditions oligotrophic Lake Sevan now has the status of a mesotrophic lake, with environmental problems increasing every year.

The need to improve the ecological state of the lake - quality manifestation of the structure and functioning of the lake ecosystem requires monitoring of biological, morphological, physical indicators characterizing the ecological state of the lake, with objective observations using scientifically based methodology, modernized means and reliable data obtained as a result. Satellite remote sensing (RS) technologies are an integral part of modern monitoring systems of large lakes, which have significant advantages over traditional methods in studying a number of morphological, physical and biological features characterizing the ecological state of the lake, and their inclusion in the monitoring system can significantly increase the scientific validity of the system and the objectivity of the assessment, and this, in turn, the quality of decisions aimed at improving the ecological condition of the lake.

Based on this, the goal was to develop methodological approaches to satellite RS for spatial and temporal analysis and assessment of some morphological (coastline), physical (water surface temperature, ice cover) and biological (chlorophyll "a", blue-

green algae) indicators characterizing the ecological state of Lake Sevan. To achieve the stated goal, the following tasks were set. 1. development of a methodological approach for satellite RS of mapping of coastline changes, analysis and assessment of spatiotemporal changes, 2. development of a methodological approach for satellite remote mapping and assessment of water surface temperature and ice cover, 3. analysis of interannual and intra-annual features of the interaction of water surface temperature obtained by means of satellite RS and air temperature, 4. development of a methodology for satellite remote sensing of some lake bloom parameters (chlorophyll a, harmful algae bloom).

As a result, the following important results were obtained: 1. For deciphering, mapping and assessing changes in the shoreline of Lake Sevan by satellite RS, among the shoreline deciphering models, the NDWI (Normalized Difference Water Index) spectral index in combination with DSAS (Digital Shoreline Analysis System) shows the best result. With the use of the latter, significant spatial changes in the shoreline of Lake Sevan were identified and quantitatively assessed, as well as coastal areas, which are characterized by the predominance of tree and shrub vegetation in the total areas covered by water and are a potential source of secondary organic pollution of the lake water. 2. In addition to the traditional visual observation of lake freezing, the best methodological approach to the comprehensive observation, mapping and mapping of Lake Sevan ice cover is the application of the empirical NDSII index. With the help of the latter the ice cover of Lake Sevan was registered, mapped and measured, as well as the threshold value of NDSII index for monitoring the complete freezing of the lake was obtained. 3. By comparing the results of decoding by MIP (Modular Inversion & Processing) algorithms the indicators of harmful algae blooms, chlorophyll "a", Secchi-disc and lake water surface temperature and the results of binary classification of Sentinel 3 OLCI visible spectrum (RGB) images, the methodology of registration and monitoring of Lake Sevan blooms was developed. With the help of the latter, blooming and blooming period of Lake Sevan were registered.

The developed methodological approach of satellite remote monitoring of harmful algal blooms in Lake Sevan became the basis for the development of the concept of integrated monitoring of Lake Sevan in 2023, in which satellite remote monitoring was included as a mandatory monitoring component and there is a consent of the Ministry of Environment to apply the developed approaches.

The results of the work are summarized in 8 scientific articles, 2 in local and 6 in international journals.

