

ԷԿՈԼՈԳԻԱ

**ԱՐԲԱՆՑԱԿԱՅԻՆ ԼՈՒՍԱՆԿԱՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ԳՈՐԾՈՒՄ**

Հովսեփյան Ա.

*ՀՀ ԳԱՍ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն,
Աբովյան 68, 0025 Երևան, Հայաստան
E-mail: aza.hovsepyan@cens.am
Հանձնվել է խմբագրություն 01.06.2020*

Սնանա լիճը Հայաստանի ամենամեծ ջրային ավազանն է, կարևորագույն բնապահպանական, տնտեսական, գեղարվեստական և մշակութային արժեք: Սակայն հիմնականում տնտեսական գործունեությունը և բնական տարրեր գործոններ ազդել են լճի էկոլոգիական վիճակի վրա, առաջ բերելով դրա աղտոտում և էվորոֆիկացում: Լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ են ժամանակակից մեթոդներ՝ լճի ջրի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող գործոնների մասին ճշգրիտ ինֆորմացիա ստանալու համար: Արբանյակային լուսանկարները և հեռազննման տեխնոլոգիաները հնարավորություն են տալիս ստանալ արագ, պարբերական ինֆորմացիա լճի ամբողջ տարածքի վերաբերյալ: Աշխատանքում ներկայացված են արբանյակային հեռազննման տվյալների կիրառմամբ Սնանա լճի էկոլոգիական վիճակը պայմանավորող և բնութագրող մի շարք ցուցանիշների ուսումնասիրման արդյունքները:

Հանգուցային բառեր՝ Սնանա լիճ, էկոլոգիական վիճակ, արբանյակային լուսանկարներ, հեռազննում, արբանյակային տվյալներ

Ներածություն

Հեռազննման տեխնոլոգիաների և արբանյակային տվյալների, տարբեր միջավայրերի, մասնավորապես ցամաքային ջրերի էկոլոգիական վիճակի ուսումնասիրման և գնահատման գործում կիրառությունը ունի տասնամյակների պատմություն (Dörnhöfer and Oppelt, 2016): Հեռազննումը հնարավորություն է տալիս կրճատել հետազոտությունների հետ կապված ժամանակն ու ծախսերը, ընդարձակել հետազոտության մասշտաբները, ուսումնասիրություններ կատարել հեռավոր և դժվար հասանելի տարածքներում (Dlamini et al., 2016; Klemas and Pieterse, 2015):

Ցամաքային ջրերի, մասնավորապես լճերի հեռազննումը, ի տարբերություն օվկիանոսների, սահմանափակվում է մի շարք գործոններով: Օվկիանոսների հեռազննման մեջ կիրառվող տիեզերական նկար-

ները, ինչպես օրինակ MODIS, MERIS, չնայած ունեն ջրերի հեռազննման համար անհրաժեշտ ռադիոմետրիկ լուծաչափ և նկարահանման մեծ պարբերականություն (ժամանակային լուծաչափ), դրանց փոքր տարածական լուծաչափը, որը կիրառելի է օվկիանոսների համասեռ ջրերի համար, շատ դեպքերում կիրառելի չէ ցամաքային ջրային մարմինների համար, որոնք ունեն անհամեմատ փոքր մակերես (Wang, 2005): Ցամաքային ջրերը, ի տարբերություն օվկիանոսների ջրերի, ունեն ավելի բարդ «օպտիկական կառուցվածք»: Մյուս կարևոր առանձնահատկությունը բնական պայմանների տարբերությունն է, որով նաև պայմանավորվում է այն հանգամանքը, որ հնարավոր չէ մշակել մեկ ունիվերսալ ալգորիթ, որը կիրառելի կլիներ բոլոր լճերի, նույնիսկ նման պայմաններում լճերի համար: Այդ պայմաններն են ռելիեֆի կառուցվածքը, ծովի մակարդակից բարձրությունը, անթրոպոգեն օբյեկտների մոտիկությունը, լճի խորությունը, մթնոլորտում աերոզոլների կազմը և այլն: Ելնելով դրանից, գրեթե յուրաքանչյուր լճի համար պետք է մշակել առանձին ալգորիթ/մոդել (Bukata, 1995):

Landsat շարքի արբանյակային լուսանկարները Երկրի հեռազննման տարբեր ոլորտներում, այդ թվում ցամաքային ջրերի հեռազննման մեջ ամենաշատ կիրառված արբանյակային լուսանկարներն են: Սա պայմանավորված է մի շարք հանգամանքներով.

- Landsat համակարգը ապահովում է Երկրի հեռազննման անընդմեջ ստացվող տվյալների ամենամեծ ժամանակային շարքը (սկսած 1972թ.-ից):
- Landsat շարքի արբանյակային նկարներն ունեն շատ լճերի հեռազննման համար բնորոշ տարածական լուծաչափ, նկարները ստացվում են 16 օրյա պարբերականությամբ, տվյալները ստացվում են նաև թերմալ տիրույթում (սկսած Landsat TM-ից (Landsat 4-5)) (Wulder et al., 2019):
- Landsat 8 OLI/TIRS արբանյակային նկարները ունեն ավելի բարձր ազդանշան/աղմուկ հարաբերակցություն (Signal to Noise Ratio – SNR): Սա բարձրացնում է հեռազննման տվյալների վերծանման արդյունավետությունն ու ճշտությունը, մասնավորապես, ջրային օբյեկտների համար, քանի որ խտարբերություն ցամաքային օբյեկտների, ջրային օբյեկտներից ճառագայթումը ավելի թույլ է (Kudela et al., 2019; Ren et al., 2014):

Հայաստանում ջրային մարմինների, մասնավորապես Սևանա լճի հեռազննումն ունի հարաբերականորեն կարճ պատմություն (բացահայտվում հասանելի հրատարակված աշխատանքների սկսած 2008թ.-ից): Չնայած դրան, այս հետազոտություններում ուսումնասիրվել են այն հիմնական գործոնները, որոնք կարևոր են լճի էկոլոգիական առանձնահատկությունների վերլուծության և գնահատման տեսանկյունից: Այսպես, MODIS արբանյակային նկարների և դաշտային սպեկտրոմետրի կիրառմամբ ուսումնասիրվել են Սևանա լճում քլորոֆիլ «α»-ի (քլորոֆիլ ալֆա) և կախված նյութերի սեզոնային փոփո-

խությունները (Heblinski et al., 2010), Սևանա լճի լիթորալ բուսականության մոնիթորինգի և գնահատման համար կիրառվել է բարձր լուծաչափի (մինչև 61սմ) QuickBird տիեզերական լուսանկար (Heblinski et al., 2011): Տարբեր տարիների Landsat արբանյակային լուսանկարների տարածաժամանակային շարքի վերծանմամբ ուսումնասիրվել են լճի մակերեսի փոփոխությունները 1933-2005թթ. ժամանակահատվածում (Agyemang et al., 2009): Landsat արբանյակային նկարների կիրառմամբ լճի ջրի որակը բնութագրող հիմնական ցուցանիշներն ուսումնասիրվել (ջերմաստիճան, ծաղկում (քլորոֆիլ«a»), պղտորություն) են՝ հեռազննման մոնիթորինգային համակարգ ստեղծելու նպատակով (Ասմարյան, 2017): Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունները և սառցակալումը նույնպես հետազոտվել են Landsat արբանյակային նկարների կիրառմամբ (Hovsepyan et al., 2018): Մեկ այլ հետազոտության մեջ Landsat նկարների շարքը օգտագործվել է Սևանա լճի ջրի մակարդակի տատանումներով պայմանավորված լճի ափագծի փոփոխություններն ուսումնասիրելու համար՝ սպեկտրալ ինդեքսների և DSAS (Digital Shoreline Analysis System) գործիքի կիրառմամբ (Hovsepyan et al., 2019): Բացի լոկալ հետազոտություններից, Landsat արբանյակային նկարները և մի շարք սպեկտրալ ինդեքսներ կիրառվել են ուսումնասիրելու համար տարածաշրջանի (Հայկական լեռնաշխարհի) երեք ամենամեծ՝ Սևան, Վան և Ուրմիա լճերի վրա կլիմայի փոփոխության և անթրոպոգեն ազդեցությունները (Taravat et al., 2016):

Ներկայացվող աշխատանքի նպատակն է ներկայացնել արբանյակային տվյալների կիրառմամբ Սևանա լճի ջրի որակական մի շարք ցուցանիշների և ափագծերի փոփոխության ուսումնասիրությունների արդյունքները:

Հետազոտման օբյեկտ

Աշխատանքի հետազոտման օբյեկտն է Սևանա լիճը, որը հանդիսանում է աշխարհի ամենամեծ բարձրալեռնային քաղցրահամ լճերից մեկը: Այն ունի հսկայական նշանակություն ոչ միայն Հայաստանի, այլ նաև ամբողջ տարածաշրջանի համար, քանի որ հանդիսանում է քաղցրահամ ջրի ամենամեծ շտեմարանը Հարավային Կովկասում: Սևանա լճի հայելին գտնվում է ծովի մակարդակից մոտ 1900մ բարձրության վրա: Ձևաբանորեն Սևանը բաժանվում է երկու մասի՝ Մեծ Սևանի և ավելի խորը Փոքր Սևանի: Սևանա լճի և նրա ջրահավաք ավազանի մակերեսների հարաբերությունը մոտ 1:3 է (1247կմ² և 3649կմ² համապատասխանաբար): Սևանա լիճ են թափվում 28 գետեր ու գետակներ, և միայն Հրազդան գետն է հոսում լճից (Հայկական ՄՄՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն, 1971):

20-րդ դարի 30-ական թվականներին սկսված լճի մակարդակի արհեստական իջեցումը բերեց նրան, որ ջրի մակարդակը իջավ 19.6մ-ով, իսկ ջրի ծավալը կրճատվեց գրեթե երկու անգամ (58.5մ³-ից 32.5մ³):

Որպես հետևանք ջրից ազատված հատվածներում ակտիվացան էրոզիոն պրոցեսները, ջրի ծավալի կրճատումը բերեց ջրի թթվածնային և ջերմային ռեժիմների փոփոխությանը: Այդ ընթացքում նաև մեծ փոփոխություններ տեղի ունեցան լճի ջրահավաք ավազանում՝ արագ զարգացավ գյուղատնտեսությունը, արդյունաբերությունը, և որպես հետևանք, ավելացավ գետերից ջրառը, ջրի միջոցով աղտոտիչների ու սննդային նյութերի հոսքը դեպի լիճ, որն էլ հանգեցրեց լճի էկոլոգիական վիճակի շարունակական վատթարացմանը և էվտրոֆիկացիային (Оганесян, 1996): 2000-ական թվականներից սկսվեց Սևանա լճի ջրի մակարդակի բարձրացմանն ուղղված ծրագիրը, սակայն ավամերձ բուսականության և շինությունների ոչ լրիվ մաքրման հետևանքով այդ մնացորդները նույնպես հանդիսացան լճի աղտոտման աղբյուր (*Интегральная оценка экологического состояния озера Севан (GEO-Lake Sevan)*, 2011):

Հետազոտության մեթոդները

Հետազոտության մեթոդները աշխատանքում ներկայացված են բոլոր ուսումնասիրված ցուցանիշների:

Սևանա լճում ջրիմուռների ծաղկում/Ֆիտոպլանկտոնում քլորոֆիլ «α»-ի պոտորություն: Քլորոֆիլ «α»-ի և պոտորության ուսումնասիրման համար առաջին մոտեցմամբ փորձ է արվել Սևանա լճի համար կիրառել այլ լճերի հետազոտություններում կիրառված լուսանկարների վերծանման մոդելներ (Chao Rodríguez et al., 2014; Dekker et al., 2001):

Հեռազննման տվյալների միջոցով **քլորոֆիլ «α»-ի** ուսումնասիրման հիմքում դրա մոլեկուլների կողմից տեսանելի և ինֆրակարմիր տիրույթում լույսի կլանման և ցրման առանձնահատկություններն են: Իսկ քլորոֆիլ «α»-ի քանակությունը իր հերթին հանդիսանում է ջրիմուռների ծաղկման ցուցանիշ (Park et al., 2010):

Հեռազննման միջոցով **ջրի պոտորության** ուսումնասիրության հիմքում ջրում կախված մասնիկների կողմից լույսի ցրման ու անդրադարձման առանձնահատկություններն են (Nechad et al., 2010):

Հեռազննման տվյալներ: Հետազոտության մեջ օգտագործվել են 2016թ. մայիս (06, 22), օգոստոս (10, 26), սեպտեմբեր (11) ամիսների Landsat 8 OLI/TIRS բազմասպեկտրալ արբանյակային լուսանկարները: Իրականացվել է արբանյակային լուսանկարների ռադիոմետրիկ և մթնոլորտային աղավաղումների շտկում: Նկարների ընտրությունը պայմանավորված է Սևանա լճում ջրիմուռների ծաղկման ժամանակահատվածով (Оганесян, 1996): Ընտրվել են 2016թ. ծաղկման ժամանակահատվածի համար առկա բոլոր հասանելի Landsat 8 արբանյակային լուսանկարները, որոնք զուրկ են ամպային ծածկույթից կամ առկա է նվազագույն ամպային ծածկույթ: Landsat 8 նկարի տեսանելի, մոտակա ինֆրակարմիր (ՄԻԿ) և կարճալիք ինֆրակարմիր տիրույթների մթնոլորտային աղավաղումների շտկումն իրականացվել է ATCOR մեթոդի կիրառմամբ (Richter and Schlapfer, 2019):

Դաշտային տվյալներ: Արբանյակային նկարների վերձանման արդյունքների ստուգման նպատակով 2016թ. սեպտեմբերի 19-ին կատարվել են դաշտային չափումներ՝ վերցվել են Սևանա լճի ջրի նմուշներ պոտորության չափման համար:

Սևանա լճում քլորոֆիլ «α»-ի տարածաժամանակային բաշխվածության պատկերը ստանալու համար կիրառվել է հետևյալ բանաձևը.

$$[Chla]=0.0979*exp(1)^{2.5926*(b3/b2)} (1):$$

Բանաձևում b3-ը և b2-ը անդրադարձումն է համապատասխանաբար կանաչ և կապույտ տիրույթներում: Ջրում քլորոֆիլ «α»-ի պարունակությունը տվյալ բանաձևում չափվում է մգ/մ³-ով:

Սևանա լճի ջրի պոտորության ուսումնասիրության համար կիրառվել է հետևյալ բանաձևը, որը չափում է կախված մասնիկների կոնցենտրացիան ջրում.

$$[TSS/SPM]=0.7581*exp(1)^{(61.683*(b3+b4)/2)} (2):$$

Որտեղ b3 և b4 անդրադարձումն է համապատասխանաբար կանաչ և կարմիր տիրույթներում: Տվյալ դեպքում պոտորության չափման (կախված նյութերի կոնցենտրացիայի) միավորն է մգ/լ:

Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխություն, լճի սառցակալում: Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունները ուսումնասիրելու համար օգտագործվել են 2013-2018թթ. Landsat 8 տիեզերական նկարները, որոնք ջերմային տվյալներ են ապահովում երկու տիրույթներում (B10-10.6-11.19մմ և B11-11.50-12.51մմ): 110 հասանելի նկարներից ընտրվել և ներբեռնվել են այն նկարները, որոնց վրա ամպային ծածկույթը նվազագույն է կամ բացակայում է: Կատարվել է նկարների ռադիոմետրիկ և մթնոլորտային աղավաղումների շտկում, ստացվել են ճառագայթման (emissivity) և ջերմաստիճանի տվյալները: Ջերմաստիճանի ստացումը հիմնված է բացարձակ սև մարմինների համար Պլանկի հավասարման վրա (Kealy and Hook, 1993): Ուսումնասիրվել են Մեծ և Փոքր Սևանի ջերմաստիճանների տարածաժամանակային փոփոխությունները օգոստոս և հունվար ամիսներին, ինչը համապատասխանում է լճի համար ամենատաք և ամենացուրտ ժամանակահատվածներին՝ համապատասխանաբար: Լուսանկարներից լճի յուրաքանչյուր հատվածի համար վերցվել են կտրվածքներ, որտեղից վերձանվել են ջերմաստիճանների արժեքները (37 և 17 կետերից համապատասխանաբար Մեծ և Փոքր Սևանի համար):

Լճի ջրի սառցակալման պարբերականությունը հեռագնման միջոցով ուսումնասիրելու համար օգտագործվել են Landsat 7 և Landsat 8 նկարները՝ 2000-2017թթ. համար: Ջուրը, ցամաքը և ձյունը/սառույցը տարբերակելու համար կիրառվել է նորմավորված տարբերությունների ձյան/սառույցի ինդեքսը (Normalized Differences Snow/Ice Index-NDSII), որը հիմնված է կանաչ և կարճ ալիք ինֆրակարմիր (SWIR) տիրույթների վրա.

$$NDSII=(Green-SWIR)/(Green+SWIR) (3),$$

որտեղ Green և SWIR ճառագայթումն է համապատասխանաբար կանաչ և կարճալիք ինֆրակարմիր տիրույթներում: $NDSII \geq 0.4$ արժեքները համապատասխանում են ձյանը/սառույցին (Riggs et al., 1994):

Լճի ափագծի փոփոխություն

Հեռագնման տվյալներ: Աշխատանքում օգտագործվել են 1973-2015թթ. համար Landsat MSS, Landsat TM, Landsat 8OLI/TIRS տիեզերական լուսանկարները:

Օժանդակ տվյալներ: 1927-2015թթ. Սևանա լիճ ջրի հոսքի (տեղումներ, գետերով հոսք, Արփա-Սևան թունելով հոսք) և լճից արտահոսքի (գոլորշիացում, Հրազդան գետով հոսք և ջրի բացթողումներ) տվյալները վերցվել են գրականությունից (Պապիկյան, 2011) և «Հիդրոդերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի հրատարակած ձեռնարկներից (Սևանա լճի հիդրոլոգիական ռեժիմը, 2017): «Սևան» ազգային պարկի կողմից տրամադրվել են լճի ափամերձ տարածքների հողօգտագործման տվյալները: Լճի ափագծերը տարբեր տարիների տիեզերական լուսանկարներից ստացվել են Սքեետերսի (1996) կողմից առաջարկված Նորմավորված տարբերությունների ջրային ինդեքսի (Normalized Differences Water Index – NDWI) կիրառմամբ.

$$NDSII = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (4),$$

որտեղ Green և NIR ճառագայթումն է համապատասխանաբար կանաչ և մոտակա ինֆրակարմիր տիրույթներում:

Ինդեքսի արժեքները տատանվում են -1-ից 1 տիրույթում, որտեղ 0-ից բարձր արժեքները համապատասխանում են ջրային մակերևույթին, իսկ 0-ից փոքր արժեքները՝ ցամաքին (McFeeters, 1996):

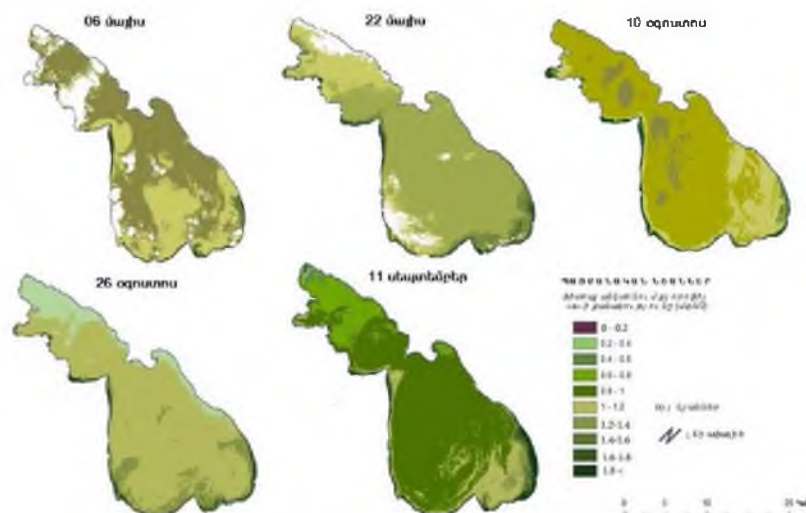
Ստացված ափագծերի ճշտությունը ստուգելու համար NDWI կիրառմամբ ստացված լճի մակերեսի տվյալները համեմատվել են «Հիդրոդերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի հրատարակած տվյալների հետ (լճի մակերեսը չափվում է ամեն տարվա հունվարի մեկին, իսկ տիեզերական նկարները ընտրվել են այդ ամսաթվին հնարավորինս մոտ):

Ափագծի փոփոխությունները գնահատվել են 1973-2015թթ. միջև ընկած հինգ ժամանակահատվածների համար (1973-1985, 1985-1990, 1990-1995, 1995-2002, 2002-2015): Ափագծերի փոփոխությունների քանակական գնահատման համար կիրառվել է DSAS (Digital Shoreline Analysis System) գործիքը (Himmelstoss, 2009):

Արդյունքների քննարկում

Սևանա լճում ջրի մոտերի ծաղկում/Ֆիտոպլանկտոնում քլորոֆիլ ԸԸԸ և պլոտոքլորին: Քլորոֆիլ «α»-ի բաշխման համար բանաձևի կիրառմամբ արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքները

ցույց են տալիս, որ 2016թ. մայիսի 6-ին քլորոֆիլ «α»-ի պարունակությունը տատանվել է 0.4-1.8մգ/մ³ տիրույթում, մայիսի 22-ին՝ 0.9-1մգ/մ³ տիրույթում, օգոստոսի 10-ին և 26-ին համապատասխանաբար՝ 0.3-1 և 0.4-1.8մգ/մ³ տիրույթում, սեպտեմբերի 11-ի համար ստացվել են 0.2-1.8մգ/մ³ արժեքները (նկ.1):

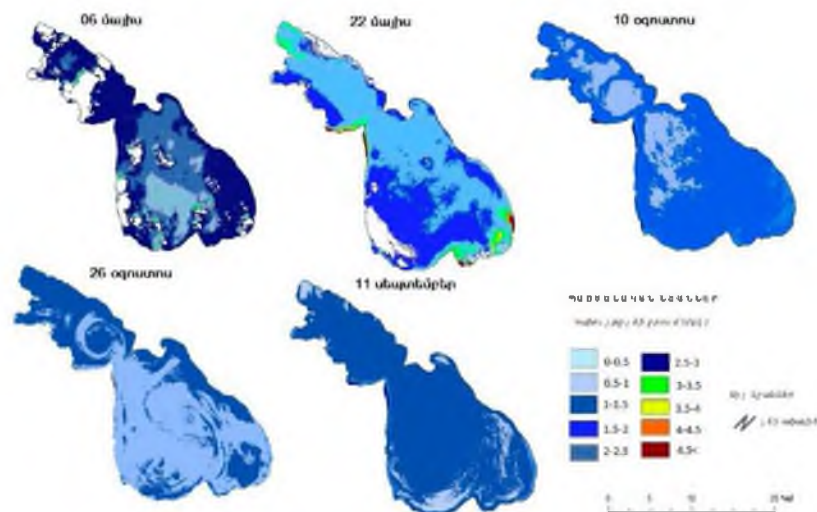


Նկ.1. Սևանա լճի ջրի ծաղկումը՝ ջրում քլորոֆիլի ընդհանուր քանակությամբ արտահայտված մգ/մ³, մայիս, օգոստոս, սեպտեմբեր ամիսներին՝ ըստ LANDSAT 8 OLI արբանյակային լուսանկարի:

Պղտորության/կախված նյութերի կոնցենտրացիայի բանաձևի կիրառմամբ ստացվել են հետևյալ արդյունքները մայիսի 6-ին և 22-ին կախված նյութերի կոնցենտրացիան տատանվել է, համապատասխանաբար, 1-2.5մգ/լ և 1.5-5մգ/լ տիրույթներում: Առավելագույն կոնցենտրացիաները դիտվել են Մասրիկ գետի գետաբերանային հատվածում և Նորատուս թերակղզու ավերի երկայնքով: Օգոստոս ամսվա համար ստացվել են 0.8-2.5մգ/լ և 0.5-4մգ/լ սահմաններում (օգոստոսի 10 և 26 համապատասխանաբար): Սեպտեմբերի 11-ին կախված նյութերի կոնցենտրացիան տատանվել է 0-3.5մգ/լ տիրույթում (նկ.2):

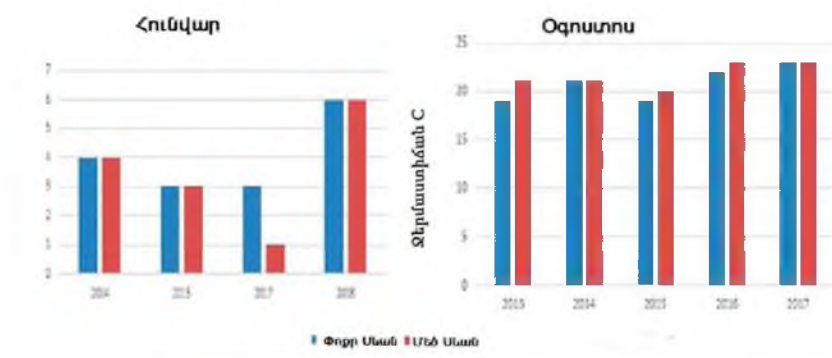
Արբանյակային նկարների վերծանմամբ ստացված տվյալները համադրվել են պղտորության դաշտային չափումների հետ և ստացվել է դետերմինացիոն գործակցի բարձր արժեք ($R^2=0.73$):

Ջրի մակերևութային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխություն, լճի սառցակալում: Սևանա լճի ջրի ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխության ուսումնասիրության արդյունքները ցույց են տալիս, որ օգոստոս ամսին լճի ջրի մակերևութային ջերմաստիճանը ավերի մոտ ավելի բարձր է քան կենտրոնական հատվածում ինչպես Մեծ, այնպես էլ Փոքր Սևանում: Հունվար ամսին դիտվում է հակառակ պատկերը՝ լճի ավիամերձ հատվածներում ջրի մակերևութային ջերմաստիճանը ավելի ցածր է, քան կենտրոնական հատված-



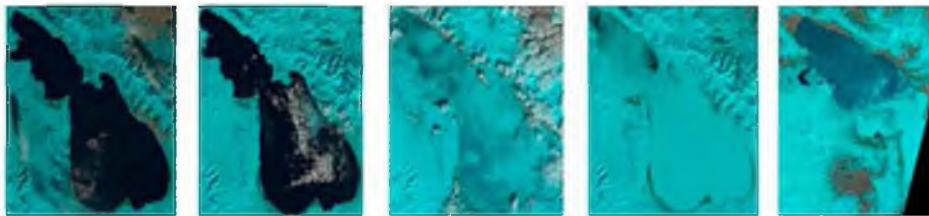
Նկ.2. Սևանա լճի ջրի պղտորությունը՝ ջրում կախված նյութերի ընդհանուր քանակությամբ արտահայտված մգ/լ, մայիս, օգոստոս, սեպտեմբեր ամիսներին՝ ըստ LANDSAT 8 OLI արբանյակային լուսանկարի:

ներում և Փոքր, և Մեծ Սևանի համար: Բացի այդ, տարբեր տարիների նկարներից ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ամռանը (օգոստոսին) հիմնականում Փոքր Սևանում ջրի մակերևույթային ջերմաստիճանը ավելի ցածր է համեմատած Մեծ Սևանի հետ, իսկ հունվարին դիտվում է հակառակ պատկերը՝ Մեծ Սևանում ջերմաստիճանը ավելի բարձր է քան Փոքր Սևանում (նկ.3): Սա, պայմանավորված է Փոքր Սևանի, ավելի մեծ խորությամբ, որի պատճառով ջուրն ավելի դանդաղ է տաքանում ամռանը, համեմատած Մեծ Սևանի հետ, իսկ ձմռանը տեղի ունի հակառակ պատկերը՝ Մեծ Սևանում ջուրը ավելի արագ է սառում համեմատած Փոքր Սևանի հետ:



Նկ.3. Փոքր և Մեծ Սևանի հունվար և օգոստոս ամիսների ջրի մակերևույթի միջին ջերմաստիճանների համեմատությունը (ջրի մակերևույթի ջերմաստիճանները ստացվել են Landsat 8 տիեզերական նկարներից):

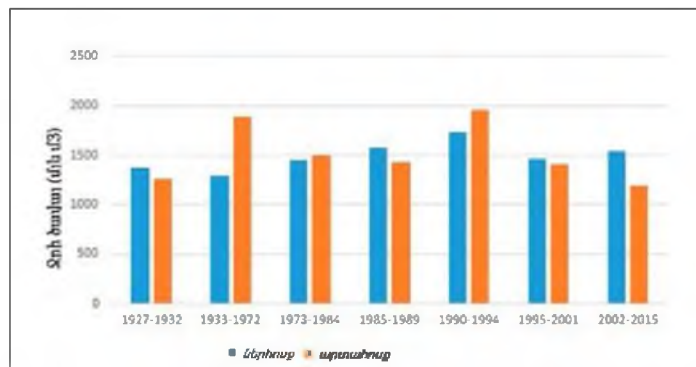
2000-2017թթ. Landsat արբանյակային նկարների վիզուալ վերլուծությունը ցույց է տվել, որ այս ժամանակահատվածում Սևանա լիճը մասամբ սառել է (հիմնականում Մեծ Սևանը) 2000, 2002 և 2007թթ. և ամբողջությամբ սառույցով է պատվել 2008 և 2017թթ.: Մինչև մակարդակի արհեստական իջեցումը Սևանա լիճը սառույցով էր պատվում 15-20 տարին մեկ անգամ (Оганесян, 1996): 2017թ. դիտվել է ուսումնասիրված ժամանակահատվածի (2000-2017թթ.) ամենաերկարատև սառցակալումը: Նկ.4-ից կարելի է տեսնել, որ փետրվարի 2-ին լիճը դեռևս սառած չէ, բայց սկսում է սառել, իսկ արդեն փետրվարի 18-ի նկարի վրա երևում է, որ լիճն ամբողջությամբ պատված է սառույցով: Մարտի 29-ի նկարում լիճը դեռևս սառած է ամբողջությամբ, բայց նկատելի է, որ սառույցը սկսում է հալվել: Հետագա ամպագուրկ նկարների բացակայությունը թույլ չի տալիս մինչև վերջ հետևել սառույցի հալման պրոցեսին:



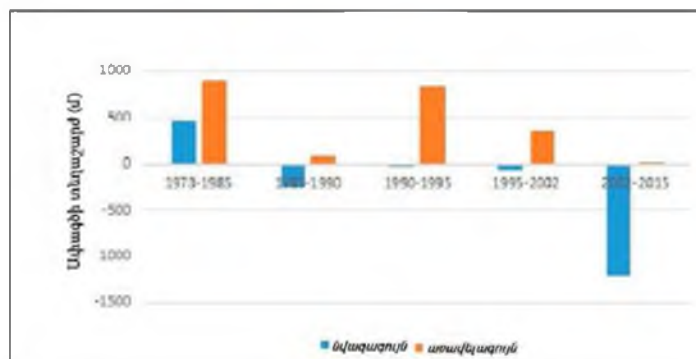
Նկ.4. Սառույցի ձևավորման և հալման ընթացքը Սևանա լճի վրա 2017թ. հունվարի 17-ից մինչև մարտի 29-ը ըստ Landsat 8 տիեզերական լուսանկարների (հունվար 17, փետրվար 2, փետրվար 18, մարտ 22, մարտ 29 ձախից աջ հաջորդականությամբ):

Լճի ափագծի փոփոխություն: 1973-2015թթ. համար NDWI սպեկտրալ ինդեքսի կիրառմամբ վերծանված լճի հայելու մակերեսի հաշվման արդյունքների համեմատությունը «Հիդրոոդերևութաբանության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն» ՊՈԱԿ-ի տվյալների հետ ցույց է տալիս բավական մեծ ճշտություն (RMSE=8.15): NDWI կիրառմամբ ստացված ափագծերի, DSAS կիրառմամբ ստացված ափագծերի փոփոխության չափի և ուղղության վերաբերյալ տվյալների համեմատությունը լճում ջրի ներհոսքի և արտահոսքի տվյալների հետ առանձին ժամանակահատվածների համար ցույց է տալիս, որ այն դեպքում, երբ ջրի բալանսը եղել է բացասական, տեղի է ունեցել ափագծի տեղաշարժ դեպի լիճ, իսկ այն դեպքերում, երբ բալանսը եղել է դրական՝ դեպի ցամաք (նկ.5):

Բացի ափագծերի ընդհանուր փոփոխություններից, առանձնացվել են առանձին տեղամասեր՝ 5 տեղամաս, որտեղ փոփոխություններն առավել նկատելի են: Այս տեղամասերում ափագծի փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ Սևանա լճի ափամերձ հատվածն ունի բավականին բարդ ռելիեֆ և տարբեր հատվածներում փոփոխությունները տարբեր են կախված ռելիեֆի թեքություններից, ափերի կտրտվածու-



ա

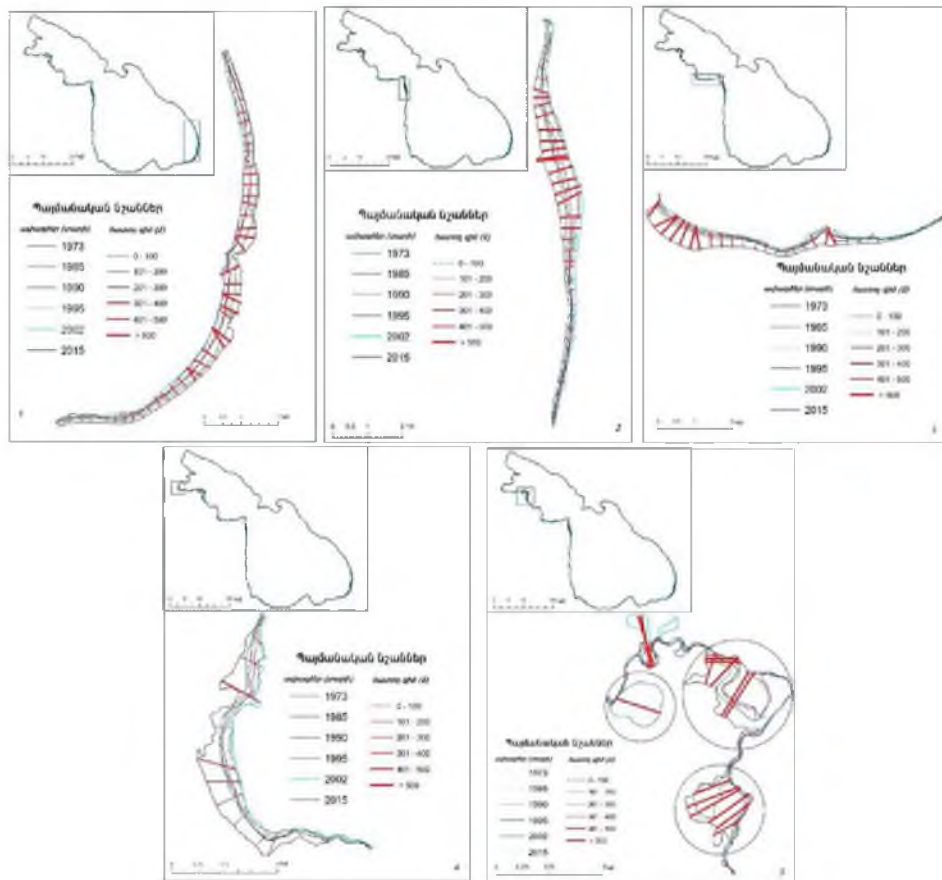


բ

Նկ.5. 1927-2015թթ. Սևանա լճի ջրի բալանսի միջինացված տվյալներ (ա) և յուրաքանչյուր ժամանակահատվածի համար ափագծի փոփոխությունները ըստ DSAS-ի (բ) (4ա նկարի վրա առաջին երկու ժամանակահատվածները 1927-1932 և 1933-1972թթ. ներկայացված են ցույց տալու համար լճում ջրի բալանսը բնական պայմաններում և մակարդակի իջեցման պահից սկսած):

թյունից, իչպես նաև անթրոպոգեն բեռնվածության աստիճանից: Ափագծի այն հատվածներում, որտեղ թեքությունները ավելի փոքր են, ափագիծը զգալի փոփոխության է ենթարկվել, ինչպես օրինակ, Լճաշեն գյուղի, Սևան քաղաքի և Գավառագետ գետի գետաբերաններում իսկ այն հատվածներում, որտեղ թեքություններն ավելի մեծ են, փոփոխությունները համեմատաբար թույլ են արտահայտված, ինչպես օրինակ, Փոքր Սևանի ափերը, որոնք ավելի մեծ թեքություններ ունեն, հատկապես այն հատվածներում, որտեղ ափը եզերվում է Արտանիշի լեռնաշղթայով (նկ.6):

Առանձին տեղամասերում ափագծերի փոփոխության չափը տարբեր է, այսպես տեղամաս 1 և 2-ում ափագիծը տեղաշարժվել է որոշ հատվածներում մինչև 400-500մ-ով, 3-րդ և 4-րդ տեղամասերում նույնպես համանման փոփոխություններ են, բնորոշում, բոլոր 4 հատվածներում ամենամեծ տեղաշարժը դիտվել է 2002-2015 ժամանակահատվածում, ինչը համընկնում է ՀՀ Կառավարության ծրագրի սկզբին ուղղված Սևանա լճի մակարդակի բարձրացմանը: 5-րդ տեղամասում



Նկ.6. Սևանա լիճը և ափագծի առավել արտահայտված փոփոխությունների ենթարկված հատվածները (ըստ ներկայացման հերթականության): Տրված են ափագծերը ըստ տարբեր տարիների և փոփոխությունների չափերի:

պատկերը փոփոխությունները ըստ DSAS-ի առավել մեծ են՝ մոտ 850մ: Սակայն այստեղ ամասը ունի բավականին բարդ «կառուցվածք»: Տեղամասը գտնվում է Նորաշեն արգելոցի տարածքում, որտեղ ռելիեֆը բավականին հարթ է և կան երեք փոքր լճեր (նկարի մեջ վերցված են շրջանակի մեջ), որոնց սահմանագատումը Սևանից ոչ միշտ է հնարավոր տարբերակել տիեզերական նկարի վրա:

Եզրակացություն

Աշխատանքում ներկայացվել են արբանյակային հեռագնման հնարավորությունները Սևանա լճի էկոլոգիական հիմնախնդիրների ուսումնասիրման գործում՝ առանձին գործոնների ուսումնասիրման օրինակով:

Սևանա լճի ջրում քլորոֆիլ «α»-ի՝ արբանյակային լուսանկարների վերծանման կիրառված մոդելը հնարավորություն է տալիս ստանալ

լՃի ջրի ծաղկման տարածաժամանակային փոփոխությունները և կատարել լՃի ծաղկման որակական գնահատում: Քլորոֆիլ «a»-ի բաշխվածության պատկերը ցույց է տալիս, որ քլորոֆիլի քանակը առավել շատ է գետաբերաններին, մասնավորապես Մասրիկ և Գավառագետ գետերի գետաբերաններին և այն հատվածներում, որտեղ ափի ռելիեֆը զառիթափ չէ և ջրի խորությունը համեմատաբար փոքր է: Ուսումնասիրված ժամանակահատվածում լՃի ամբողջ մակերեսով ծաղկումը նվազագույնն է օգոստոս ամսվա առաջին կեսին (11 օգոստոս), իսկ առավելագույնը՝ սեպտեմբերի առաջին կեսին (11 սեպտեմբեր): Ի տարբերություն մայիս ամսվա՝ մնացած ամիսներին լՃի ծաղկումը առավել հավասարաչափ է:

Պղտորության արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքում ստացված տվյալների և դաշտային չափումների միջև առկա լավ արտահայտված կորելյացիան ($R^2=0.73$) ցույց է տալիս, որ լուսանկարների վերծանման կիրառված մոդելով հնարավոր է ուսումնասիրել Սևանա լճում պղտորության տարածաժամանակային փոփոխությունները և կատարել էկոլոգիական վիճակի որակական գնահատում: Կախված նյութերի տարածաժամանակային բաշխվածության պատկերից երևում է, որ ուսումնասիրված ժամանակահատվածում մայիս ամսին լՃի ջրի պղտորությունը ավելի մեծ է համեմատած այլ ամիսների հետ, պղտորության առավել բարձր արժեքները մայիս ամսին են (22 մայիս), հիմնականում գետաբերաններին: Հետագա ամիսներին պղտորությունը նվազում է, և բաշխվածությունը դառնում է համեմատաբար համասեռ:

Սևանա լՃի ջրի մակերևույթային ջերմաստիճանի տարածաժամանակային փոփոխությունների արբանյակային նկարների վերծանման արդյունքները հաստատում են լճում ջրի ջերմաստիճանի տարածաժամանակային բաշխման դասական եղանակով ուսումնասիրության արդյունքները:

Սևանա լՃի ջրի սառույցով պատման ուսումնասիրությունը 2000-2017թթ. ցույց է տալիս, որ լիճը մասամբ սառույցով է պատվել 3 անգամ, իսկ ամբողջությամբ՝ 2 անգամ: Մինչև մակարդակի իջեցումը լիճը սառում էր շատ ավելի փոքր հաճախականությամբ (15-20 տարին մեկ): Սա խոսում է այն մասին, որ ջրի մակարդակի իջեցումը և ջրի ծավալի կրճատումը ուղղակիորեն խախտել է լՃի ջրի ջերմային ռեժիմը՝ նվազեցնելով ջերմունակությունը:

NDWI ինդեքսի կիրառմամբ Landsat արբանյակային լուսանկարներից ստացված Սևանա լՃի ափագծերի 1973-2015թթ ժամանակահատվածում փոփոխությունները և լՃի ջրի բալանսի համեմատությունը ցույց է տալիս, որ ափագծի փոփոխությունը անմիջականորեն կախված է լճում ջրի բալանսի փոփոխությունից: DSAS-ի կիրառմամբ հնարավոր է ստանալ ափագծի փոփոխությունների քանակական պատկերը՝ ամենամեծ փոփոխության ենթարկված հատվածներով, փոփոխությունների ուղղությունը և չափը:

Արբանյակային նկարների, NDWI ինդեքսի և DSAS-ի կիրառությունը միասին հնարավոր են դարձնում Սևանա լճի ափագծի փոփոխության պարբերական ուսումնասիրությունը:

Դաշտային տվյալների ավելի մեծ քանակը և ժամանակային շարքը, հնարավորություն կտան մշակել լճի էկոլոգիական վիճակը բնութագրող ցուցանիշների վերծանման մոդելներ հատուկ Սևանա լճի համար, ինչը կմեծացնի ստացված արդյունքների ճշտությունը:

Աշխատանքներն իրականացվել են «Սևանա լճում իշխանի պաշարների վերականգնման եվ ձկնաբուծության զարգացման համալիր ծրագրի շրջանակներում լճի ջրի որակի հեռազննման մոնիթորինգային համակարգի ստեղծման գիտահետազոտական աշխատանքների ծրագրի» և «ՀՀ ԿԳՆ (ԿԳՄՍ) նախարարության Գիտության պետական կոմիտեի և ՌԴ Հիմնարար գիտությունների հիմնադրամի 18RF-140 և RFBR 18-55-05015 Arm-a» նախագծերի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ասմարյան, Շ. 2017. Սևանա լճում իշխանի պաշարների վերականգնման և ձկնաբուծության զարգացման համալիր ծրագրի շրջանակներում լճի ջրի որակի հեռազննման մոնիթորինգային համակարգի ստեղծման գիտահետազոտական աշխատանքների ծրագիր. ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն, Երևան, 44 էջ:
- Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն. 1971. ՀՀ ԳԱԱ հրատարակչություն, Երևան, 469 էջ:
- Պապիկյան, Ս. 2011. Սևանի հիմնախնդիրը, Երևան, 22 էջ:
- Սևանա լճի հիդրոլոգիական ռեժիմը, 2017. ՀՀ Արտակարգ իրավիճակների նախարարություն հիդրոոդերնությամբության և մթնոլորտային երևույթների վրա ակտիվ ներգործության ծառայություն, Երևան, 27 էջ:
- Интегральная оценка экологического состояния озера Севан (GEO-LakeSevan). 2011. Ассоциация “За УЧР”/UNEPCom, Ереван, 42 с.
- Оганесян Р. 1996. Озеро Севан вчера, сегодня... Издательство “Титутюн” НАН РА, Ереван, 478 с.
- Agyemang T.K., Schmieder K., Heege T., Heblinski J., Sajadyan H., Vardanyan L., BGcker R. 2009. Reviewing Lake Sevan’s surface area using remote sensing & GIS techniques. SIL Proc. 1922-2010 30, p.1264-1266. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11923926>
- Bukata, R.P. (Ed.), 1995. Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Chao Rodriguez Y., el Anjoumi A., Dominguez Gomez J.A., Rodriguez Perez D., Rico E. 2014. Using Landsat image time series to study a small water body in Northern Spain. Environ. Monit. Assess. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3634-8>
- Dekker A.G., Vos R.J., Peters S.W.M. 2001. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian lakes. The Science of the Total Environment 268, p.197-214.
- Dlamini S., Nhapi I., Gumbindoga W., Nhwatiwa T., Dube T. 2016. Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe. Phys. Chem. Earth Parts ABC 93, p.2-11. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.004>
- Dornhofer K., Oppelt N. 2016. Remote sensing for lake research and monitoring - Recent advances. Ecol. Indic. 64, 05-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.009>
- Heblinski J., Schmieder K., Heege T., Agyemang T.K., Sayadyan H., Vardanyan L. 2011. I high-resolution satellite remote sensing of littoral vegetation of Lake Sevan (Armenia) as a basis for monitoring and assessment. Hydrobiologia 661, p.97-111. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0466-6>

- Heblinski J., Schmieder K., Heege T., Agyemang T.K., Sayadyan H., Vardanyan L.** 2010. Mapping of water constituents in high mountainous Lake Sevan (Armenia). *SIL Proc.* 1922-2010 30, p.1453-1455. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902352>
- Himmelstoss E.A.** 2009. "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in: Thielcr, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Hovsepyan A., Muradyan V., Tepanosyan G., Minasyan L., Asmaryan S.** 2018. Studying the Dynamics of Lake Sevan Water Surface Temperature Using LandsatS Satellite Imagery. *Ann. Valahia Univ. Targoviste Geogr. Ser.* 18, p.68-73. <https://doi.org/10.2478/avutgs-2018-0008>
- Hovsepyan A., Tepanosyan G., Muradyan V., Asmaryan S., Medvedev A., Koshkarev A.** 2019. Lake Sevan Shoreline Change Assessment Using Multi- Temporal Landsat Images. *Geogr. Environ. Sustain.* 12, p.212-229. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-46>
- Kealy P.S., Hook S.J.** 1993. Separating temperature and emissivity in thermal infrared multispectral scanner data: implications for recovering land surface temperatures. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 31, p.1155-1164. <https://doi.org/10.1109/36.317447>
- Klemas V., Pieterse A.** 2015. Using Remote Sensing to Map and Monitor Water Resources in Arid and Semiarid Regions. in: Younos, T., Parece, T.E. (Eds.), *Advances in Watershed Science and Assessment*. Springer International Publishing, Cham. p.33-60. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14212-8_2
- Kudela R.M., Hooker S.B., Houskeeper H.F., McPherson M.** 2019. The Influence of Signal to Noise Ratio of Legacy Airborne and Satellite Sensors for Simulating Next-Generation Coastal and Inland Water Products. *Remote Sens.* 11, 2071. <https://doi.org/10.3390/rs11182071>
- McFeeters S.K.** 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, p.1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nechad B., Ruddick K.G., Park Y.** 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sens. Environ.* 114, p.854-866. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>
- Park Y.-J., Ruddick K., Lacroix G.** 2010. Detection of algal blooms in European waters based on satellite chlorophyll data from MERIS and MODIS. *Int. J. Remote Sens.* 31, p.6567-6583. <https://doi.org/10.1080/01431161003801369>
- Ren H., Du C., Liu R., Qin Q., Yan G., Li Z.-L., Meng J.** 2014. Noise Evaluation of early images for Landsat 8 Operational Land Imager. *Opt. Express* 22, 27270. <https://doi.org/10.1364/OE.22.027270>
- Richter R., Schlapfer D.** 2019. Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery 211.
- Riggs G.A., Hall D.K., Salomonson V.V.** 1994. A snow index for the Landsat Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. in: *Proceedings of IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Presented at the IGARSS '94 - 1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, Pasadena, CA, USA, p.1942- 1944.* <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1994.399618>
- Taravat A., Rajaei M., Emadodin L., Hasheminejad H., Mousavian R., Biniyaz E.** 2016. A Spaceborne Multisensory, Multitemporal Approach to Monitor Water Level and Storage Variations of Lakes. *Water* 8, 478. <https://doi.org/10.3390/w8110478>
- Wang M.** 2005. Estimation of ocean contribution at the MODIS near-infrared wavelengths along the east coast of the U.S.: Two case studies. *Geophys. Res. Lett.* 32, L13606. <https://doi.org/10.1029/2005GL022917>
- Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P., Crawford C.J., Masek J.G., Woodcock C.E., Allen R.G., Anderson M.C., Belward A.S., Cohen W.B., Dwyer J., Erb A., Gao F., Griffiths P., Helder D., Hermosilla T., Hippie J.D., Hostert P., Hughes M.J., Huntington J., Johnson D.M., Kennedy R., Kilic A., Li Z., Lyburner L., McCorkel J., Pahlevan N., Scambos T.A., Schaaf C., Schott J.R., Sheng Y., Storey J., Vermote E., Vogelmann J., White J.C., Wynne R.H., Zhu Z.** 2019. Current status of Landsat program. science, and applications. *Remote Sens. Environ.* 225, p.127-147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОЗЕРА СЕВАН

Овсепян А.

Резюме

Озеро Севан является крупнейшим водоемом Армении. Озеро имеет огромную экологическую, экономическую, эстетическую и культурную ценность для Армении. Однако, в основном экономическая деятельность и разнообразные природные факторы повлияли на экологическое состояние озера, вызывая его загрязнение и эвтрофикацию. Для изучения экологических проблем озера необходимы современные методы, с целью получения точной информации о факторах, характеризующих экологическое состояние озера. Спутниковые снимки и технологии дистанционного зондирования дают возможность получать быстрые и периодические данные для всей площади озера. В статье представлены результаты исследования ряда показателей, характеризующих экологическое состояние озера Севан с использованием данных спутниковых снимков. В частности, были исследованы цветение озера, выраженное общим количеством хлорофилла «а», мутность воды, выраженная общим количеством взвешенных частиц, температурный режим озера, периодичность его замерзания с 2000г. по 2017г., изменение береговой линии, обусловленное изменением водного баланса и уровня воды в озере.

THE POSSIBILITIES OF USING THE SATELLITE IMAGERY WHEN STUDYING ECOLOGICAL ISSUES OF LAKE SEVAN

Hovsepian A.

Abstract

Lake Sevan is the biggest water body in Armenia. The lake has huge ecological, economic, aesthetical and cultural value for Armenia. However, mainly economic activity and various natural factors have affected the ecological state of the lake, causing its pollution and eutrophication. Modern methods are needed to study the ecological problems of the lake in order to get accurate information about the factors characterizing the ecological state of the lake water. Satellite images and remote sensing technologies allow to get fast, regular information for the entire area of the lake. The study presents the results of a study of a number of indicators characterizing the ecological state of Lake Sevan using satellite image data. In particular, the lake water bloom expressed in terms of total chlorophyll content «a», water turbidity expressed in terms of total suspended solids, the thermal regime of the lake, periodicity of freeze-up between 2000 and 2017, the lake shoreline change determined by the water budget and water level change was investigated.