

Ծրագրի ամփոփ նկարագրություն

**SEVAMOD2-ի գործունեության վերաբերյալ ընթացիկ հաշվետվություն
Հայաստանի Հանրապետության Շրջակա միջավայրի նախարարության
համար**

Հիմնական հեղինակներ՝ Մարտին Շուլցե, Գայանե Շահնազարյան,
Ամալյա Միսակյան, Գոռ Գևորգյան, Արմինե Հայրապետյան, Կարստեն
Ռինկե

Հիմնական խնդիրները

- Սևանա լիճը էվտրոֆացման հստակ նշաններ է ցուցաբերում՝ վնասակար ցիանոբակտերիաների աճի հետևանքով լճի ամառային ծաղկման և խորը ջրաշերտերում թթվածնի ուժեղ սպառման պատճառով:
- Պարզվել է, որ էվտրոֆացման գործընթացի հիմնական շարժիչ ուժը հանդիսանում է սննդանյութերի բարձր քանակը /բեռնվածությունը/, ուստի, սննդանյութերի քանակի կրճատումը կարևոր է:
- Ջրի մակարդակի պահպանումը կամ նույնիսկ բարձրացումը նույնպես կբարելավի թթվածնային պայմանները, սակայն դրա ազդեցությունը այնքան էլ ուժեղ չէ, ուստի սննդանյութերի քանակի կրճատումն ավելի կարևոր է, քան ջրի մակարդակի բարձրացումը:
- Սևանա լճի էկոհամակարգի վրա հետագա ճնշումն էլ ավելի կմեծանա այս դարի երկրորդ կեսին կլիմայի շարունակական տաքացման հետևանքով՝ լճի տաքացման, շերտավորման /ստրատիֆիկացիա/ շրջանի երկարաձգման և թթվածնի սպառման ինտենսիվացման պատճառով:
- Սևանա լճի էկոլոգիական և հիդրոոդերևութաբանական պայմանների մոնիթորինգը շատ կարևոր է և հիմք է հանդիսանում արդյունավետ որոշումների կայացման, կայուն զարգացման, որոշում կայացնողների ու հետազոտողների միջև արդյունավետ համագործակցության համար:

Սույն հաշվետվությունն ընթացիկ հաշվետվություն է, քանի որ SEVAMOD2 ծրագիրը շարունակվելու է մինչև 2023 թվականի վերջը և, հետևաբար, ոչ բոլոր արդյունքներն են այժմ հասանելի: 2023 թվականի հոկտեմբերի 5-ին SEVAMOD2 ծրագրի արդյունքներն ավելի մանրամասն կներկայացվեն աշխատաժողովի ընթացքում: Սա կմիավորի հայաստանյան բոլոր համապատասխան հաստատություններին և SEVAMOD2 թիմին և հնարավորություն կտա քննարկելու առաջադրվող հարցերն ու մեկնաբանությունները, ինչպես նաև ապագա աշխատանքները:

Ամփոփ հաշվետվությունը սահմանափակվում է ծրագրի հակիրճ նկարագրությամբ, իսկ կից հաշվետվության մեջ ներկայացված են SEVAMOD2-ի արդյունքների և այլ նախագծերի հետ համագործակցության մանրամասները:

SEVAMOD2-ի արդյունքները

Սևանա լճի մոնիթորինգ/մշտադիտարկում

SEVAMOD2-ի շրջանակներում Սևանա լճի ամենամսյա մոնիթորինգը շարունակվել է՝ որպես 2018 թվականին SevaMod ծրագրի շրջանակներում դրա մեկնարկի շարունակություն: Գործընթացն ընդլայնվել է 2020 թվականի մայիսից ի վեր՝ ֆիտոպլանկտոնի և զոոպլանկտոնի մանրամասն վերլուծությունների իրականացման միջոցով: Մոնիթորինգի արդյունքները նոր տեղեկատվություն և գիտելիքներ ապահովեցին սննդանյութերի և այլ քիմիական միացությունների, ինչպես նաև Սևանա լճի պլանկտոնի ժամանակային դինամիկայի և ուղղահայաց գրադիենտների վերաբերյալ: Մոնիթորինգի նախորդ ռազմավարությունը, համաձայն որի նմուշառում կատարվում էր տարեկան ընդամենը երեք անգամ, չէր ապահովում նման կարևոր տեղեկատվությունը: Ավելին, չափաբերումն ու ստուգաճշտումը և, հետևաբար, մշակված մոդելների օգտագործումը հնարավոր չէր առանց SevaMod և SEVAMOD2 ծրագրերի շրջանակներում ստացված տվյալների:

Չնայած ամենամսյա նմուշառումներին՝ ֆիտոպլանկտոնի տարեկան ծաղկման ամբողջական ընթացքը հնարավոր չի ֆիքսել: Նման ծաղկման ընթացքը չափազանց արագ է (ընդամենը մի քանի շաբաթում տեղի է ունենում լրիվ զարգացում և քայքայում), ուստի անհրաժեշտ է իրականացնել երկշաբաթական կամ շաբաթական նմուշառում ամբողջական ծաղկման ընթացքի վերլուծության համար: Ցավոք, ֆինանսական և մարդկային ռեսուրսները թույլ չեն տվել լրացուցիչ նմուշառումներ կատարել ծաղկման ժամանակ: Այդուհանդերձ, ջրիմուռների կողմից սննդանյութերի մի մասի սպառումը և որոշ չափով հենց իրենք ջրիմուռները ակնհայտորեն տեսանելի են հավաքագրված տվյալներում: Բացի դա, ֆիտոպլանկտոնի դինամիկայի արբանյակային ուսումնասիրությունները հեռահար

զոնդավորման միջոցով թույլ են տալիս ավելի հստակ վերծանել ծաղկման առաջացումն ու տևողությունը:

SEVAMOD2 ծրագրի նպատակներից մեկը Սևանա լճի երկարաժամկետ մոնիթորինգի հայեցակարգի մշակումն է:

Սննդանյութերի պաշարները

Սննդանյութերի պաշարների/ հաշվեկշռի հաշվարկը ցույց է տվել, որ Սևանա լիճն ունի սննդանյութերի շատ բարձր պահողունակություն: Սա նշանակում է, որ ֆոսֆորի ճնշող մեծամասնությունը (մոտ 90%) մնում է Սևանա լճում և կուտակվում դրա նստվածքներում: Ազոտի պահողունակությունը նույնիսկ ավելի բարձր է: Սակայն ի տարբերություն ֆոսֆորի, այն առնվազն մասամբ, լիովին արտանետվում է լճից դենիտրիֆիկացման միջոցով. այսինքն լճի նստվածքներում առանց երկարաժամկետ կուտակման: Դենիտրիֆիկացման ժամանակ նիտրատները վեր են ածվում տարրական ազոտի, որը լճից ետ է արտանետվում դեպի մթնոլորտ:

SevaMod ծրագրի շրջանակներում նստվածքների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ նստվածքներում առկա ֆոսֆորի մինչև 50%-ը կարող է ետ արտանետվել դեպի լճի ջրային հատված և հանդես գալ որպես այսպես կոչված ներքին բեռնվածություն: Սա զգալի ռիսկ է Սևանա լճի հետագա զարգացման համար և, հավանաբար՝ վերջին տարիներին ծաղկման պատճառներից մեկը:

Սևանա լճի մոդելավորում

Սևանա լճի հիդրոդինամիկ վարքագիծը, այսինքն՝ լճի ջրի ջերմաստիճանը և սեզոնային ջերմաշերտավորումը, կարող են մոդելավորվել բարձր ճշգրտությամբ, ինչը հնարավորություն կտա մոդելավորել կլիմայի փոփոխության ազդեցությունները Սևանա լճի վրա՝ ջրի ջերմաստիճանի, շերտավորման և խառնման նկատմամբ: Ակնկալվում է ջրի ջերմաստիճանի բարձրացում ինչպես մակերևութային շերտում (մոտավորապես 2-ից 5 աստիճան՝ կախված կլիմայական սցենարից), այնպես էլ խորը ջրային շերտում (մոտավորապես 0.2-ից 2 աստիճան՝ կախված կլիմայական սցենարից): Ակնկալվում է նաև ջերմաշերտավորման շրջանի էական երկարաձգում (20-ից 60 օր՝ կախված կլիմայական սցենարից): Երկու ազդեցություններն էլ մեծացնում են հիպոլիմնիոնում (Սևանա լճի ջրային մարմնի խորջրյա հատվածը) ավելի երկարատև անոքսիայի վտանգը: Խորջրյա անոքսիան կարագացնի Սևանա լճում էվտրոֆացման գործընթացը, կինտոնսիվացնի ջրիմուռների ծաղկման ընթացքը և կխոչընդոտի ձկնարտադրությանը:

Սևանա լճի ջրի որակի մոդելը դեռևս մշակման փուլում է, քանի որ մոդելի որոշ պարամետրեր դեռ վերջնականապես որոշված չեն: Առայժմ հուսալի է աշխատում միայն թթվածնի կոնցենտրացիայի սիմուլյացիան/մոդելը: Այն արդեն օգտագործվել

է EU4Sevan ծրագրի շրջանակներում՝ ջրի մակարդակի տատանումների ազդեցությունները բացահայտելու նպատակով (տես ստորև):

Սևանա լճի համար լճային մոդելների բարեհաջող մշակումն ու կիրառումը հնարավոր չէր լինի առանց մոնիթորինգի արդյունքների առկայության:

Հեռահար զոնդավորման կիրառումը

Սևանա լճի չափերը թույլ չեն տալիս դասական դաշտային նմուշառման միջոցով վերհանել ֆիտոպլանկտոնի բաշխման մեջ առաջացող տարածական տարասեռությունները (նույնիսկ 16 նմուշառման կետերի օգտագործման դեպքում, ինչպես արվել է Սևանա լճի նախորդ պետական մոնիթորինգի ընթացքում): Արբանյակային հեռահար զոնդավորումը դիտարկվեց որպես այդ սահմանափակումը հաղթահարելու տարբերակ, ներառյալ ժամանակային դինամիկայի ավելի ընդգրկուն մոնիթորինգի իրականացումը (օրինակ՝ ծաղկման սկսելու ժամանակ): Այդուհանդերձ բոլոր առկա տվյալների, ներառյալ SevaMod և SEVAMOD2 ծրագրերի շրջանակում իրականացվող ամսական մոնիթորինգի արդյունքների վերլուծությունը ցույց տվեցին, որ ներկայումս հնարավոր չէ հուսալի կերպով գնահատել քլորոֆիլի կոնցենտրացիան Սևանա լճի ջրերում արբանյակային հեռահար զոնդավորման միջոցով: Նմուշառման արդյունքներից դեռևս չկան բավարար տվյալներ քլորոֆիլի վերաբերյալ՝ մեթոդի համապարփակ ստուգաճշտման համար: Սակայն ամսական մոնիթորինգի երկարաժամկետ շարունակելիությունը, ծաղկման ժամանակ լրացուցիչ նմուշառումների ընդգրկման հետ մեկտեղ, ավելի կընդլայնի Սևանա լճում հեռահար զոնդավորման հիման վրա քլորոֆիլի քանակական որոշման մեթոդաբանության մշակման հնարավորությունները:

Այնուամենայնիվ, հնարավոր եղավ գտնել գնահատման այնպիսի ալգորիթմ, որը թույլ է տալիս հայտնաբերել ջրիմուռների ծաղկումը, այսպես կոչված, HAB/ՎՋԾ-ցուցանիշի հիման վրա (HAB = վնասակար ջրիմուռների ծաղկում): Այս մոտեցումը գործում է նույնիսկ այն դեպքում, երբ Սևանա լճի միայն մի մասն է ծաղկում, որը նույնիսկ հստակ տեսանելի չէ ափից և հազիվ թե հայտնաբերվի ամսական նմուշառման արդյունքում: Ալգորիթմը կարող է լայնորեն ավտոմատացվել և օգտագործվել որպես ապագա մոնիթորինգի մաս՝ ծաղկման ժամանակահատվածում վաղ նախազգուշացման տրամադրման համար: Նման տեղեկատվություն կարող է օգտագործվել ջրային կառավարման մարմիններին և զբոսաշրջիկներին զգուշացում տալու համար: Սա նաև թույլ կտա նմուշառումը հարմարեցնել ծաղկման քանակական գնահատման և ներգրավված տեսակների բացահայտման համար:

Կարողությունների զարգացում

SEVAMOD2-ի կարևոր բաղադրիչներից է կարողությունների զարգացումը: Մինչ այժմ թվով 11 մեկամսյա վերապատրաստումներ են կազմակերպվել SEVAMOD2

թիմի հայկական անդամների համար Գերմանիայում: Դրանց հիմնական ուղղությունները եղել են լճաբանության ներածություն (1), տվյալների գնահատման առաջադեմ մեթոդները (2), ֆիտոպլանկտոնի անալիզի առաջադեմ մեթոդները (2), հեռահար զոնդավորումը (3) և լճերի մոդելավորումը (3):

Արդյունքների հրապարակում և իրազեկում

Քանի որ SEVAMOD2-ը հետազոտական ծրագիր է, գիտական հրապարակումները ծրագրի գործունեության մաս են կազմում: Մինչ այժմ հրատարակվել է չորս գիտական հոդված՝ օգտագործելով նաև նախորդ՝ SevaMod հետազոտական ծրագրի արդյունքները: Բացի այդ, ներկայումս գրախոսվում կամ լրամշակվում են երեք հոդվածներ, և պատրաստվում են նոր հոդվածներ: Այնուամենայնիվ, SEVAMOD2-ի շրջանակներում ստացված բոլոր տվյալները անմիջապես հասանելի են Սևանա լճի համար պատասխանատու Հայաստանի իշխանությունների կողմից ներքին օգտագործման պահանջի ներկայացման դեպքում:

Նախնական արդյունքները հանրությանը ներկայացվել են 2022 թվականի հուլիսին Երևանում կայացած Սևանի համաժողովի ժամանակ, իսկ միջազգային գիտական հանրությանը՝ երեք միջազգային գիտաժողովների ժամանակ:

SEVAMOD2-ի հետ սերտորեն առնչվող այլ ծրագրերի գործունեության ուղղություններն ու հայկական կողմից իրականացվող լրացուցիչ հետազոտական ծրագրերի հետ փոխգործունեության շրջանակները

Գոյություն ունի զգալի համահարաբերակցական կապ (սիներգիա) SEVAMOD2 և EU4Sevan ծրագրերի միջև: Հետևաբար տեղի են ունենում ինտենսիվ փոխանակություններ, ինչպես նաև այդ համատեքստում SEVAMOD2 թիմի մի մասն ընդգրկված է EU4Sevan ծրագրի 1 և 4 բաղադրիչների գործունեության մեջ: Հիմնական նպատակներն են.

- I. մոնիթորինգի հայեցակարգի մշակում, որն իրականացվում է համատեղ,
- II. ապագա կլիմայական պայմանների մոդելավորում, ներառյալ Սևանա լճի ջրային հաշվեկշռի և ապագա ներհոսքի դինամիկայի՝ ջրհավաք ավազանի հիդրոլոգիական մոդելի կիրառմամբ, և
- III. Սևանա լճի ջրի մակարդակի մինչև 1903,5 մ բարձրացման հետևանքների մոդելավորումը:

Բացի EU4Sevan-ի հետ համագործակցությունից, կա նաև սերտ համագործակցություն երկու հետազոտական ծրագրերի հետ, որոնք ֆինանսավորվում են ՀՀ կրթության, գիտության, մշակույթի և սպորտի նախարարության գիտության կոմիտեի կողմից: Այս ծրագրերը կենտրոնացած են Սևանա լճում ցիանոբակտերիալ ծաղկման մեխանիզմների վրա և Սևանա լճի մոնիթորինգի համար հեռահար զոնդավորման կիրառման հետագա կատարելագործման վրա:

Առաջարկվող հետագա հետազոտությունները

Կան բազմաթիվ հետազոտական հարցեր, որոնք պահանջում են ավելի խորը վերլուծություններ և կարող են լինել Սևանա լճի հետագա հետազոտական ծրագրերի ուսումնասիրության առարկա՝ սկսած հիմնարար գիտությունից մինչև կիրառական գիտություն: Այստեղ մենք կենտրոնանում ենք Սևանա լճի կառավարման հետ կապված կիրառական գիտության վրա՝ ուղղակիորեն հիմնվելով SEVAMOD2-ի աշխատանքի և արդյունքների վրա: Մենք առաջարկում ենք հետազոտության հետևյալ ուղղությունները.

- I. ջրի որակի մոդելի հետագա բարելավում՝ լճի կառավարման հարցերով զբաղվող մասնագետների հետ սերտ համագործակցությամբ: Ինչպես արդեն նշվեց, մոդելն ինքնին բարելավման և փորձարկման կարիք ունի, ինչը կնպաստի դրա ավելի լայն և երկարաժամկետ կիրառման հնարավորություններին, և մենք ակնկալում ենք, որ Սևանա լճի կառավարումը միշտ կբախվի նոր հարցերի և մարտահրավերների, որոնց լուծման համար ջրի որակի մոդելի օգտագործումն ու հետագա բարելավումը զգալի նշանակություն կունենա:
- II. Լճի մոդելի կապումը ջրհավաք ավազանների հիդրոլոգիական մոդելների հետ, որն ապահովում է կլիմայական կանխատեսումներ ապագա ներհոսքի պայմանների համար: EU4Sevan-ի շրջանակներում ընթացիկ աշխատանքներն արդեն առաջին քայլն են այդ ուղղությամբ, սակայն պահանջում են առավել լայն կառավարման մեխանիզմների ներգրավում:
- III. Սևանա լճի համար գիտության վրա հիմնված կլիմայի փոփոխության հարմարվողականության ռազմավարության մշակում, որը կապահովի լճի էկոհամակարգի առողջ կարգավիճակն ու միաժամանակ կնպաստի մարդկանց կողմից լճի նպատակային օգտագործմանը (օր.՝ ոռոգման, ձկնաբուծության, զբոսաշրջության համար):

Հարկ է ընդգծել, որ ՀՀ Շրջակա միջավայրի նախարարության կողմից ամսական մոնիթորինգի շարունակականությունը կարևոր է ապագա հետազոտական ծրագրերի համար: Ավելին, Հայաստանը համաձայնել է ԵՄ-ի հետ իրականացնելու մոնիթորինգ, որը կբավարարի ԵՄ Ջրի շրջանակային դիրեկտիվի պահանջները, ուստի, ամեն դեպքում նման մոնիթորինգ պետք է իրականացվի:

Սևանա լճի վիճակը և կառավարման բարելավման վերաբերյալ առաջարկություններ

ա) Սևանա լճի ներկայիս հիդրոլոգիական վիճակը բնութագրվում է ջրի մակարդակի աստիճանական նվազմամբ 2002-2010 թվականներին ջրի մակարդակի զգալի բարձրացումից հետո: Ջրի մակարդակի այս աստիճանական նվազումը մի շարք չոր տարիների հետևանք է, որոնց ժամանակ արձանագրվել է ջրի քիչ ներհոսք և լրացուցիչ արտահոսք:

Հայաստանի օրենսդրության համաձայն՝ պետք է աստիճանաբար բարձրացվի լճի ջրի մակարդակը՝ նպատակային 1903,5 մ-ի հասցնելու համար: Պետք է մշակվի և իրականացվի լճից ջրառների հարմարվողական կառավարում, որը հաշվի կառնի նաև ապագա կլիմայական պայմանները:

բ) Ջրի որակը բնութագրվում է ցիանոբակտերիաների զանգվածային ջրիմուռների ծաղկման դեպքերի աճով և ամառային շերտավորման շրջանի վերջում Սևանա լճի հիպոլիմնիոնում (խորջրյա մասում) թթվածնի ցածր կոնցենտրացիաների առկայությամբ: Երկուսն էլ հստակ նախազգուշական ազդանշաններ են, որոնք մատնանշում են լճի էվտրոֆացման մասին, որը Սևանա լիճ մեծ քանակությամբ սննդանյութերի (հիմնականում ազոտի և ֆոսֆորի) ներմուծման հետևանք է: Սննդանյութերի քանակի/բեռնվածության կրճատումն հրատապ նշանակություն ունի նաև այն առումով, որ կլիմայի փոփոխությունն ավելի կարագացնի էվտրոֆացումը և ծաղկման ընթացքը: Ջրիավաք ավազանում կեղտաջրերի մաքրման համատարած բացակայությունը մեծ քանակությամբ սննդանյութերի ներմուծման և հետևաբար ծաղկման գլխավոր պատճառն է: Սննդանյութերի ավելցուկի ևս մեկ պոտենցիալ աղբյուրը պարարտանյութերի օգտագործումն է գյուղատնտեսության մեջ: Մինչ կլիմայի փոփոխությունը հնարավոր չէ կանխել, այլ միայն կարելի է մեղմել դրա հետևանքները, ջրիավաք ավազանից սննդանյութերի մուտքը կարելի է կրճատել կեղտաջրերի մաքրման և գյուղատնտեսական հողերի օգտագործման պրակտիկաների, ներդրման և բարելավման միջոցով: Այլ երկրների փորձը ցույց է տալիս, որ հողօգտագործման պրակտիկայում դժվար է փոփոխություններ կատարել: Հետևաբար, առաջնային ուշադրությունը պետք է բևեռվի կեղտաջրերի մաքրման գործընթացի բարելավման վրա: Սևանա լճի ջրի որակի կայուն բարելավման համար էական նշանակություն ունի ազոտի և ֆոսֆորի հեռացումը մաքրման միջոցով:

Նաև պետք է ուսումնասիրվի, թե կեղտաջրերից ստացված սննդանյութերը որքանով կարող են վերօգտագործվել գյուղատնտեսության մեջ՝ սննդանյութերի շրջանաձև կառավարում հաստատելու համար:

ա) Ջրի մակարդակի բարձրացումը ծովի մակարդակից մինչև 1903,5 մ նիշի մի փոքր կմեղմացնի ջրի ամառային շերտավորման ընթացքում Սևանա լճի հիպոլիմնիոնում անոքսիայի խնդիրը և կբարձրացնի Սևանա լճի դիմակայունությունը սթրեսային գործոնների նկատմամբ: Այնուամենայնիվ, այս բարելավումը բավականին սահմանափակ է: Ապագայի մոդելի սիմուլյացիաները ցույց կտան, թե արդյոք և որքանով են այս բարելավումները փոխհատուցվելու կլիմայի փոփոխության հետևանքներով, ինչպիսի օրինակ շերտավորման երկարատև ժամանակաշրջաններով: Այս դիսկի պատճառով առաջնահերթությունը պետք է տրվի սննդանյութերի ներմուծման կրճատմանը,

Եթե երկու միջոցառումներն էլ (ջրի մակարդակի բարձրացում և կեղտաջրերի մաքրման բարելավում) չեն կարող զուգահեռաբար իրականացվել:

բ) Սևանա լճի ամենամայա մոնիթորինգն անհրաժեշտ է որպես կառավարման կարևոր բաղադրիչ: Առանց դրա հնարավոր չի լինի մշակված մոդելների հետագա կիրառումն ու կատարելագործումը և իրականացվող միջոցառումների հետևանքների համարժեք վերահսկողությունը: Ավելին, Սևանա լճի, նրա էկոհամակարգի և ջրի որակի վիճակի և դինամիկայի ապագա փոփոխությունները չեն կարող ժամանակին տեսանելի դառնալ համապատասխան կառավարման մեխանիզմներ մշակելու համար, եթե մոնիթորինգ չիրականացվի ամսական հաճախականությամբ և եթե տվյալների կանոնավոր գնահատում տեղի չունենա, ներառյալ անհրաժեշտ ֆինանսական աջակցություն միջոցների տրամադրելունը:

գ) Սևանա լճի համար Հայաստանը զարգացրել է շատ արդյունավետ և համագործակցային փոխգործունեություն որոշում կայացնողների և գիտնականների միջև, ինչը հնարավորություն է տալիս գիտելիքի վրա հիմնված կառավարում իրականացնել: Այս հանձնառությամբ Հայաստանը ստանձնում է ազգային ինքնության այս եզակի էկոհամակարգի և մշակութային արժեքի պաշտպանության և կայուն կառավարման պատասխանատվությունը: Մենք խորհուրդ ենք տալիս շարունակել առաջ տանել այս ուղղությունները՝ (i) զարգացնելով որոշում կայացնողների և ջրային կառավարման մարմինների փորձառության մակարդակները՝ վերապատրաստման և փորձի փոխանակման միջոցով, (ii) խթանելով փոխգործակցությունը հետազոտության և որոշումների կայացման միջև, (iii) հիդրոօդերևութաբանական և էկոլոգիական փոփոխականների արդյունավետ մոնիթորինգի միջոցով դիտարկումների տվյալների հուսալի բազայի ապահովմամբ և (iv) աջակցելով շրջակա միջավայրի կայունությանն ուղղված բոլոր միջոցառումների մշակմանն ու իրագործմանը՝ միջազգային ֆոնդերից օգտվելու հնարավորությունների օգտագործման միջոցով:

Համապարփակ հաշվետվություն

SEVAMOD2-ի գործունեության վերաբերյալ ընթացիկ հաշվետվություն Հայաստանի Հանրապետության Շրջակա միջավայրի նախարարության համար

Հիմնական հեղինակներ/կատարողներ՝ Մարտին Շուլցե, Գայանե Շահնազարյան, Ամալյա Միսակյան, Գոռ Գևորգյան, Արմինե Հայրապետյան, Կարստեն Ռինկե

Սույն հաշվետվությունն ընթացիկ հաշվետվություն է, քանի որ SEVAMOD2 ծրագիրը շարունակվելու է մինչև 2023 թվականի վերջը և, հետևաբար, ոչ բոլոր արդյունքներն են այժմ հասանելի: 2023 թվականի հոկտեմբերի 5-ին SEVAMOD2 ծրագրի արդյունքներն ավելի մանրամասն կներկայացվեն աշխատաժողովի ընթացքում: Սա կմիավորի հայաստանյան բոլոր համապատասխան հաստատություններին և SEVAMOD2 թիմին և հնարավորություն կտա քննարկելու առաջադրվող հարցերն ու մեկնաբանությունները, ինչպես նաև ապագա աշխատանքները:

1 Հիմնական տեղեկատվություն SEVAMOD2 ծրագրի վերաբերյալ

SEVAMOD2-ը գերմանա-հայկական համատեղ հետազոտական ծրագիր է: Այն ֆինանսավորվում է Գերմանիայի կրթության և հետազոտությունների դաշնային նախարարության կողմից (Project ID 01DK20038; ծրագրված ծախսերի 91.5%-ը) և համաֆինանսավորվում է Հայաստանի Հանրապետության Շրջակա միջավայրի նախարարության կողմից (ալանավորված ծախսերի 8.5%-ը, այսինքն՝ քիմիական անալիզների ծախսերի 60%): Ծրագիրը մեկնարկել է 2020 թվականի ապրիլի 1-ին և կտևի մինչև 2023 թվականի դեկտեմբերի 31-ը, որտեղ ներառված է նաև առանց լրացուցիչ ծախսերի ծրագրի երկարաձգման փուլը՝ որը կապված է Covid-19 համավարակի ժամանակ սահմանափակումների պատճառով նախագծի աշխատանքի էական խոչընդոտման հետ:

Ծրագրի գործընկերներն են.

Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ, Մագդեբուրգ, Գերմանիա (UFZ)

- Դոկտոր Կարստեն Ռինկե (ծրագրի ղեկավար)
- Դոկտոր Մարտին Շուլցե (Ծրագրի համակարգող, կոնտակտային անձ Գերմանիայում, martin.schultze@ufz.de)

ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն, Հիդրոէկոլոգիայի և ձկնաբանության ինստիտուտ, Երևան, Հայաստան (SCZHE)

- Դոկտոր, պրոֆեսոր Բարդուխ Գաբրիելյան
- Դոկտոր Արմինե Հայրապետյան (կոնտակտային անձ Հայաստանում, armmينو@yandex.com)
- Դոկտոր Գոռ Գևորգյան
- Դոկտոր Անահիտ Հովսեփյան

ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն (CENS), Երևան, Հայաստան

- Դոկտոր Շուշանիկ Ասմարյան

ՀՀ ՇՄՆ «Հիդրոօդերևութաբանության և մոնիթորինգի կենտրոն» պետական ոչ առևտրային կազմակերպություն (Հայհիդրոմետ)

- Դոկտոր Գայանե Շահնազարյան
- Դոկտոր Ամալյա Միսակյան

EOMAP, Ջեեֆելդ, Գերմանիա

- Դոկտոր Թոմաս Հեեգե
- Հենդրիկ Բերներտ
- Ֆիլիպ Բաուեր

Նշված անձինք SEVAMOD2 ծրագրի թիմի անդամներ են: Սակայն բոլոր նշված հաստատություններից շատ այլ ուրիշ գործընկերներ նույնպես ունեցել են իրենց մասնագիտական ներդրումները խորհրդատվության, տեխնիկական օգնության և այլ տեսակի աջակցություն տրամադրելու միջոցով:

SEVAMOD2 ծրագրի հիմնական նպատակներն են.

- Սևանա լճի սննդանյութերի գնահատում/հաշվեկշիռ և սննդանյութերի կառավարման հայեցակարգ
- Սևանա լճի էվտրոֆիկացիայի համակցված/զուգակցված ֆիզիկա-էկոլոգիական միաչափ (1D) մոդել (ջրի ջերմաստիճան, լուծված թթվածին, սննդանյութեր, պլանկտոն)
- Սևանա լճի ջրի որակի գնահատման համար արբանյակային հեռահար զոնդավորման կիրառում
- Այլընտրանքային կառավարման սցենարների գնահատում և Սևանա լճի ջրի որակի հիմնական սպառնալիքների բացահայտում, ներառյալ վերլուծական ակնարկի պատրաստում
- Սևանա լճի ամենամայա մոնիթորինգ Փոքր Սևանի և Մեծ Սևանի ամենախոր հատվածներում, ներառյալ քիմիական կազմի և ֆիտոպլանկտոնի ու զոոպլանկտոնի վերլուծության իրականացում
- Հայաստանում կարողությունների զարգացում արբանյակային հեռահար զոնդավորման և լճի մոդելավորման կիրառման համար

- Ծրագրի արդյունքների հրապարակում՝ ներառյալ 2023 թվականին ծրագրի եզրափակիչ աշխատաժողովի վերջնարդյունքները:

Չնայած Կորոնավիրուսի սահմանափակումներին՝ հայ գործընկերներին հաջողվեց մոնիթորինգ իրականացնել ընդամենը շատ քիչ բացթողումներով: Այնուամենայնիվ, ներգրավված խմբերի միջև փոխգործակցությունը և, մասնավորապես, պլանավորված ճամփորդության հետ կապված գործունեությունները (կարողությունների զարգացում այցելելով գործընկերներին Գերմանիա, ծրագրի կանոնավոր հանդիպումներ և գերմանացի գործընկերների ներգրավումը դաշտային աշխատանքներում) զգալիորեն խոչընդոտվեցին Կորոնավիրուսի անխուսափելի սահմանափակումներով: Առաջին այցը Հայաստան հնարավոր եղավ կատարել 2021 թվականի հոկտեմբերին, իսկ Գերմանիա՝ 2022 թվականի մարտին: Այս պայմաններում շատ կարևոր էր, որ ծրագրի թիմի հիմնական անդամները ճանաչում էին միմյանց և կարողացան հիմնվել նախորդ համատեղ հետազոտական SevaMod ծրագրի փորձի վրա, որը գործել է 2017 թվականի հունիսից մինչև 2019 թվականի մայիսը:

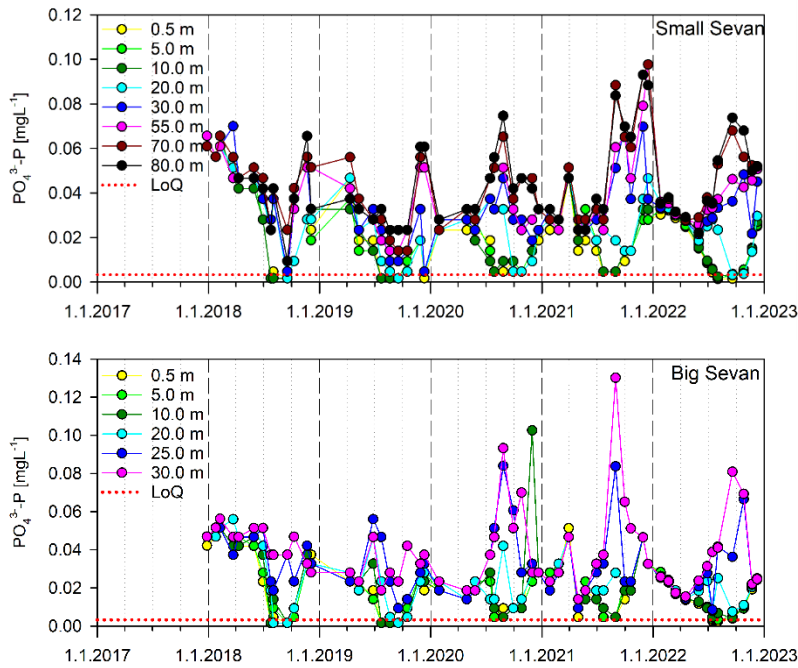
Քանի որ SEVAMOD2-ը հիմնարար գիտության և կիրառական հետազոտությունների համադրություն է, շատ կարևոր էր փոխգործակցությունը ՀՀ Շրջակա միջավայրի նախարարության հետ: Այս առումով ևս, մենք կարողացանք հիմնվել նախորդ SevaMod ծրագրի և դրա շրջանակներում ստեղծված կապերի վրա: Սա թույլ տվեց կանոնավոր փոխանակումներ իրականացնել UFZ-ի թիմի անդամների կողմից Հայաստան այցելությունների ժամանակ և օգնեց ծրագրի իրականացման ժամանակ դիտարկել Հայաստանի Հանրապետության Շրջակա միջավայրի նախարարության կարիքները: Բացի այդ, ՀՀ ԳԱԱ Սևանա լճի պահպանության փորձագիտական հանձնաժողովի կողմից արդյունավետ ներդրումներ իրականացվեցին, քանի որ պրոֆ. Գաբրիելյանը միաժամանակ հանդիսանում է հանձնաժողովի նախագահ և SEVAMOD2 թիմի անդամ: Վերջապես, սերտ և շատ շահավետ համագործակցություն ստեղծվեց EU4Sevan ծրագրի և հայկական հետազոտական ծրագրերի հետ: Սա ավելի մանրամասն կքննարկվի 2.7 բաժնում:

2 SEVAMOD2-ի արդյունքները

2.1 Սևանա լճի մոնիթորինգ

SEVAMOD2 ծրագրի շրջանակներում շարունակվել է 2018 թվականին՝ նախորդ SevaMod նախագծի շրջանակներում արդեն մեկնարկած Սևանա լճի ամենամյա մոնիթորինգը: Նմուշառումը կատարվել է ինչպես Փոքր, այնպես էլ Մեծ Սևանի ամենախորը հատվածներում: Սա նախկինում Հայաստանի կառավարման մարմինների կողմից կիրառվող ռազմավարությունից զգալիորեն տարբերվող մոտեցում է: Նախկինում մոնիթորինգի ժամանակ կատարվում էր տարեկան երեք նմուշառում 16 նմուշառման տեղամասերից, իսկ SEVAMOD2 ծրագրի շրջանակներում մոնիթորինգը ներառում է տարեկան 12 նմուշառում, բայց

ընդամենը երկու նմուշառման տեղամասերից: Այս տարբերվող ռազմավարությունն օգտագործվել է լճային էկոհամակարգերին բնորոշ ժամանակային դինամիկան ավելի լավ բնութագրելու համար, հատկապես արագ աճող ֆիտոպլանկտոնի դինամիկան, որը կազմում է Սևանա լճի սննդային ցանցի հիմքը: Նկար 1-ը ցույց է տալիս լուծված ֆոսֆորի ռեակտիվ ֆրակցիայի արդյունքները, այսինքն՝ ֆոսֆորի այն մասնաբաժինը, որն առավել հեշտ է հասանելի ջրիմուռների և ցիանոբակտերիաների աճի համար:

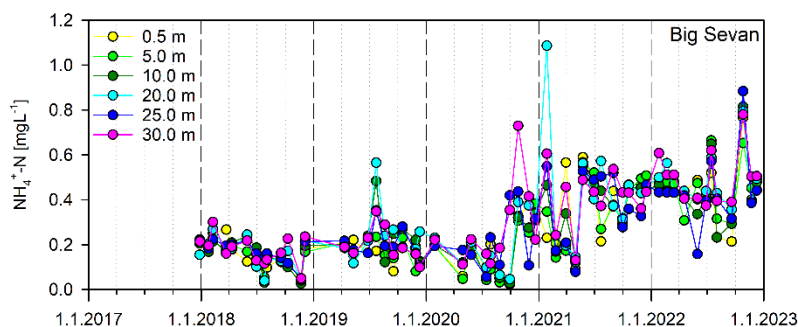
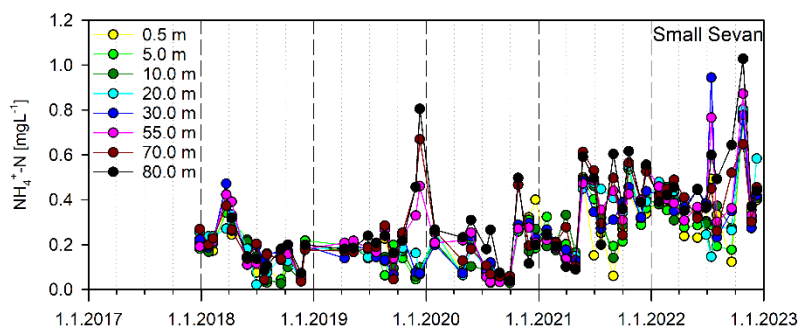
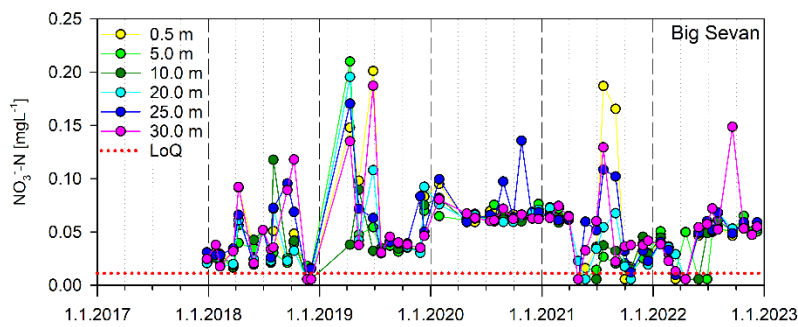
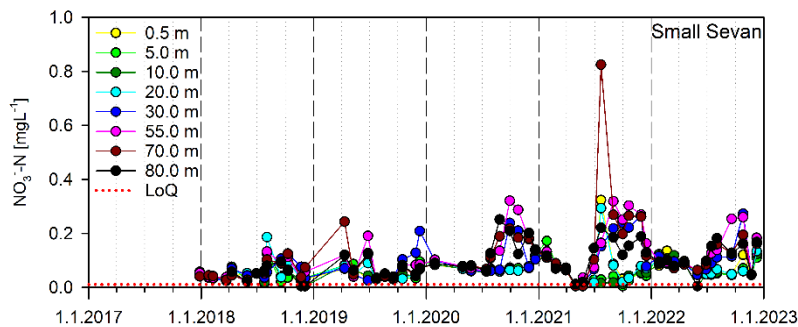


Նկար 1. Սևանա լճի սննդանյութերի ամենամսյա մոնիթորինգի արդյունքները լուծված ֆոսֆորի ($PO_4^{3-}-P$) ռեակտիվ ֆրակցիայի համար: Տարբեր գույները ցույց են տալիս նմուշառման խորությունը: LoQ – քանակական սահմանաչափ, այսինքն՝ ամենացածր կոնցենտրացիան, որը կարելի է հուսալիորեն վերլուծել: LoQ-ից ներքև ստացված արդյունքները ներկայացված են որպես LoQ-ի 10%:

Սևանա լճի վերին շերտերում, որտեղ բավականաչափ լույս կա ֆիտոպլանկտոնի աճի համար, ֆոսֆորը պարբերաբար գրեթե ամբողջությամբ սպառվում էր ամռանը ծաղկման ժամանակ: Միաժամանակ, լճի խորքային շերտերում, այսպես կոչված հիպոլիմնիոնում, նկատվել է ֆոսֆորով հագեցվածություն: Այս հագեցվածությունը ցույց է տալիս, որ մեռած ֆիտոպլանկտոնի նստվածքագոյացման միջոցով դեպի հիպոլիմնիոն տեղափոխված ֆոսֆորը չի կարող ամբողջությամբ պահվել լճի նստվածքներում, կամ որ այն նույնիսկ ֆոսֆորը նույնիսկ ետ է արտանետվել նստվածքներից դեպի լճի ջրի մեջ:

Ֆիտոպլանկտոնի կողմից օգտագործվող ազոտի միացությունների (նիտրատ, ամոնիում) կոնցենտրացիան ցածր է, բայց բավական բարձր՝ աճը չսահմանափակելու համար: Մինչ նիտրատը ժամանակավորապես գրեթե ամբողջությամբ սպառվում է, դեռևս բավականաչափ ամոնիում մնում է (Նկար 2):

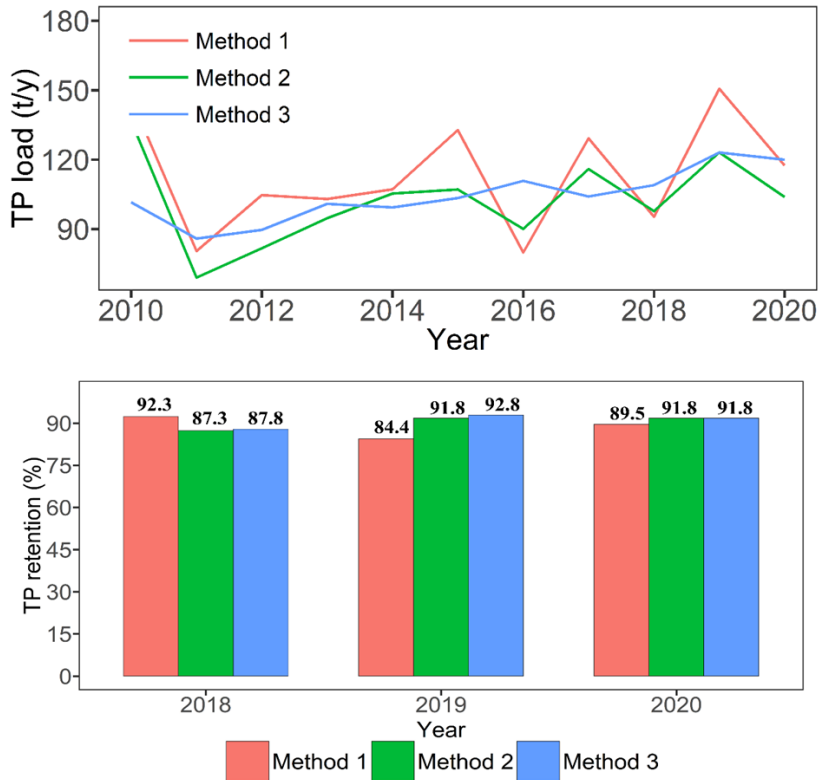
Ինչպես ֆոսֆորի ռեակտիվ մասնաբաժինը, այնպես էլ նիտրատը սպառվում է հատկապես ամռանը Սևանա լճի վերին շերտերում: Սա ցույց է տալիս, որ ֆիտոպլանկտոնի կողմից սպառումը, հավանաբար, հիմնական սպառման աղբյուրն է, մինչդեռ դենիտրիֆիկացումը հիպոլիմնիոնում այդքան էլ էական չէ: Սրա քանակական հետազոտությունը կընդլայնի լճի էկոհամակարգի վիճակի մասին պատկերացումները և թույլ կտա մանրամասն գնահատել ազոտի միացությունների մուտքերը Սևանա լիճ (օրինակ՝ ջրհավաք ավազանում գյուղատնտեսական գործունեության հետևանքով առաջացած) և, հետևաբար, կնպաստի ավելի նպատակային կառավարմանը:



Նկար 1. Սևանա լճի սննդանյութերի ամենամսյա մոնիթորինգի արդյունքները նիտրատի (NO_3^- -N) և ամոնիումի (NH_4^+ -N) համար, որոնք երկուսի դեպքում էլ արտահայտված են իրենց ազոտի պարունակությամբ միայն, ուղղակի համեմատության հնարավորության համար: Տարբեր գույները ցույց են տալիս նմուշառման խորությունը: LoQ – քանակական սահմանաչափ, այսինքն՝ ամենացածր կոնցենտրացիան, որը կարելի է հուսալիորեն վերլուծել: LoQ-ից ներքև ստացված արդյունքները ներկայացված են որպես LoQ-ի 10%:

2.2 Սննդանյութերի պաշար/հաշվեկշիռ

Էվտրոֆիկացիայի նվազեցման նպատակով Սևանա լճի և նրա ջրհավաք ավազանի կառավարման հնարավոր փոփոխությունները գնահատելու համար անհրաժեշտ է սննդանյութերի ներմուծման քանակական հաշվառում, այսպես կոչված, սննդանյութերի հաշվեկշիռ: Այն ամփոփում է ջրհավաք ավազանից սննդանյութերի բոլոր մուտքերը և հաշվարկվում է ներհոսող և արտահոսող ջրերում սննդանյութերի կոնցենտրացիաների և ներհոսքի ու արտահոսքի ելքերի հիման վրա: Նման հաշվարկներ կատարելու տարբեր մեթոդներ կան: Զուգահեռաբար կիրառվել են երեք տարբեր մեթոդներ՝ դրանց ուժեղ և թուլ կողմերը բալանսավորելու և ավելի հիմնարար ու հուսալի արդյունքներ ստանալու համար: 1-ին և 2-րդ մեթոդները ստանդարտ մեթոդներ են, որոնք կիրառվում են Գերմանիայի Դաշնային Հանրապետության ջրային ռեսուրսների կառավարման մարմինների կողմից (Hilden 2003): Երրորդ մեթոդը ընդհանրացված հավելումային մոդելի (GAM-generalized additive model) ռեգրեսիայի մեթոդն է: Պահողունակությունը հաշվարկվել է Սևանա լճի մակերևույթային ջրի որակի և Հայիդրոմետից ստացված արտահոսքի տվյալների հիման վրա: Քանի որ ջրի որակի վերաբերյալ անհրաժեշտ են առնվազն ամսական տվյալներ, 2021 թվականին հաշվարկներ կատարելիս դիտարկվել է միայն 2018-ից մինչև 2020 թվականներն ընկած ժամանակահատվածը: Ընդհանուր ֆոսֆորի (TP) արդյունքները ներկայացված են Նկար 3-ում:



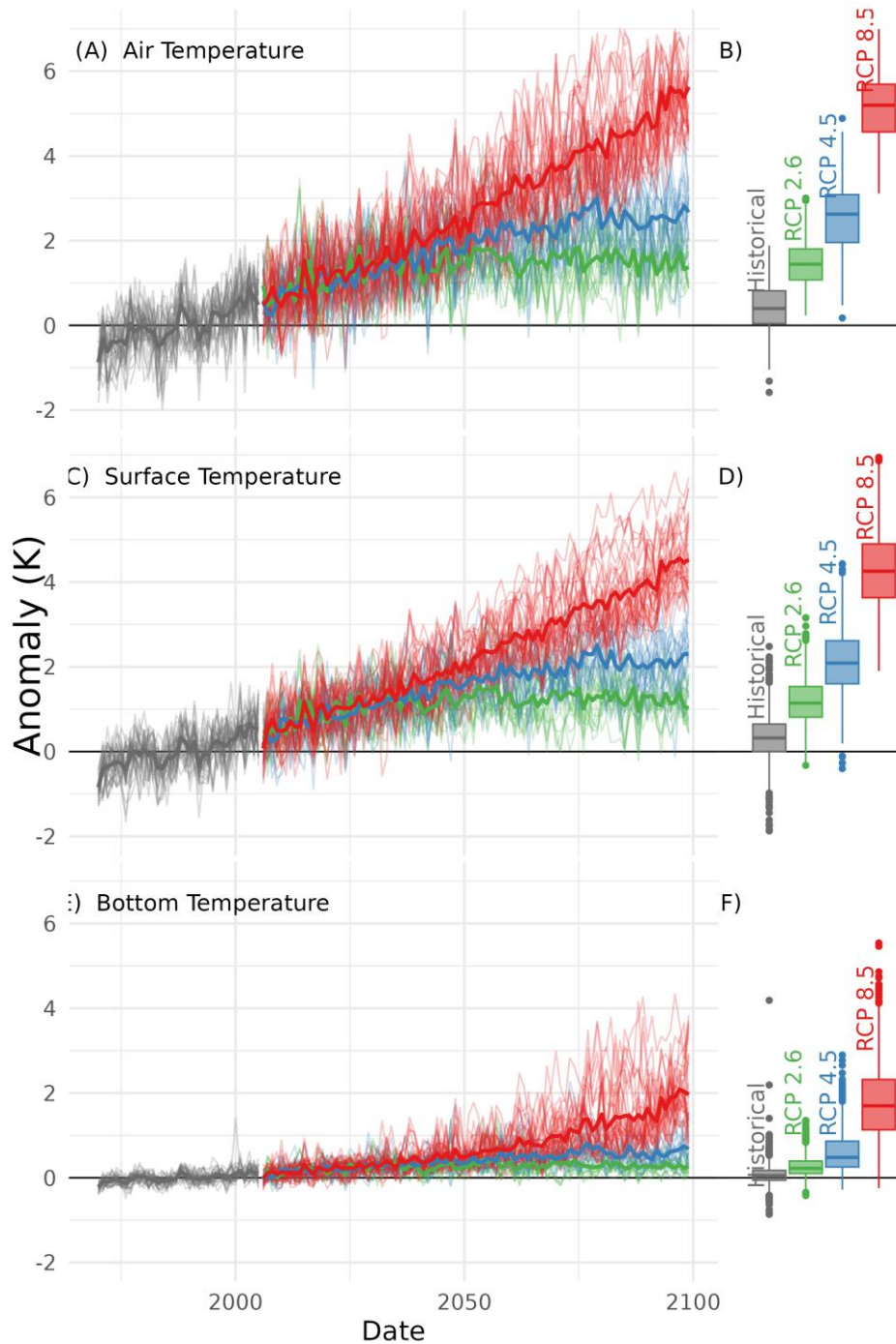
Նկար 2. Սևանա լիճ ներհոսող ջրերի միջոցով ընդհանուր ֆոսֆորի (TP) մուտքը՝ ըստ Հայհիդրոմետի 2010-2020 թվականների մոնիթորինգի տվյալների (վերևի գծապատկեր) և 2018-2020 թվականների ընթացքում Սևանա լճում դրանց պահպանման մակարդակը (օգտագործված մեթոդների համար տես տեքստը)

Ընդհանուր ֆոսֆորի ներթափանցման/մուտքի չափը 2010 թվականից ի վեր փոքր-ինչ աճի միտում է ցույց տվել, իսկ պահպանման մակարդակը բավականին բարձր է (մոտ 90%): Սա հանգեցնում է Սևանա լճի նստվածքներում ֆոսֆորի կուտակմանը, իսկ նախորդ SevaMod ծրագրի շրջանակներում իրականացված նստվածքների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ կա բավականին մեծ հավանականություն, որ կուտակված ֆոսֆորի մի մասը կրկին կարտանետվի ետ՝ դեպի լճի ջրային հատված: Այնտեղ այն կարող է խթանել ֆիտոպլանկտոնի աճին՝ էլ ավելի արագացնելով էվտրոֆացման գործընթացը: Պրոցեսների այս շղթան կոչվում է «ներքին բեռնվածություն» և հայտնի է որպես էվտրոֆացման գլխավոր շարժիչ ուժ աշխարհի շատ լճերում: Լճի ջրում ֆոսֆորի ռեակտիվ մասնաբաժնի վերոնշյալ արդյունքները (Նկար 1) ցույց են տալիս, որ այս գործընթացն արդեն որոշ չափով կարող է տեղի ունենալ Սևանա լճում: Հետևաբար, Սևանա լիճ ֆոսֆորի ներմուծման կրճատումը պետք է լինի Սևանա լճի և նրա ջրհավաք ավազանի կառավարման առաջնահերթություններից մեկը:

2.3 Սևանա լճի մոդելավորում

Սևանա լճի հիդրոլինամիկ վարքագիծը, այսինքն՝ ջրի ջերմաստիճանը և ջերմաշերտավորումն ամառվա ընթացքում, կարելի է հուսալի ճշգրտությամբ մոդելավորել, իսկ կլիմայի փոփոխության որոշ հետևանքների սիմուլյացիան

արդեն ավարտված է և մասամբ հրապարակված (Shikhani et al., 2021, տես Հավելված 1): Դրա համար օգտագործվել է Ընդհանուր Լճային Մոդելը /General Lake Model/ (GLM; Hipsey et al. 2019): Ավելի հուսալի արդյունքներ ստանալու համար մոտեցումն ընդլայնվեց կլիմայական հավաքական մոդելները՝ լճային հավաքական մոդելների հետ համակցման միջոցով՝ IPCC-ի ապագա կլիմայական երեք տարբեր սցենարային պայմանների մոդելավորման համար (Նկար 4)։

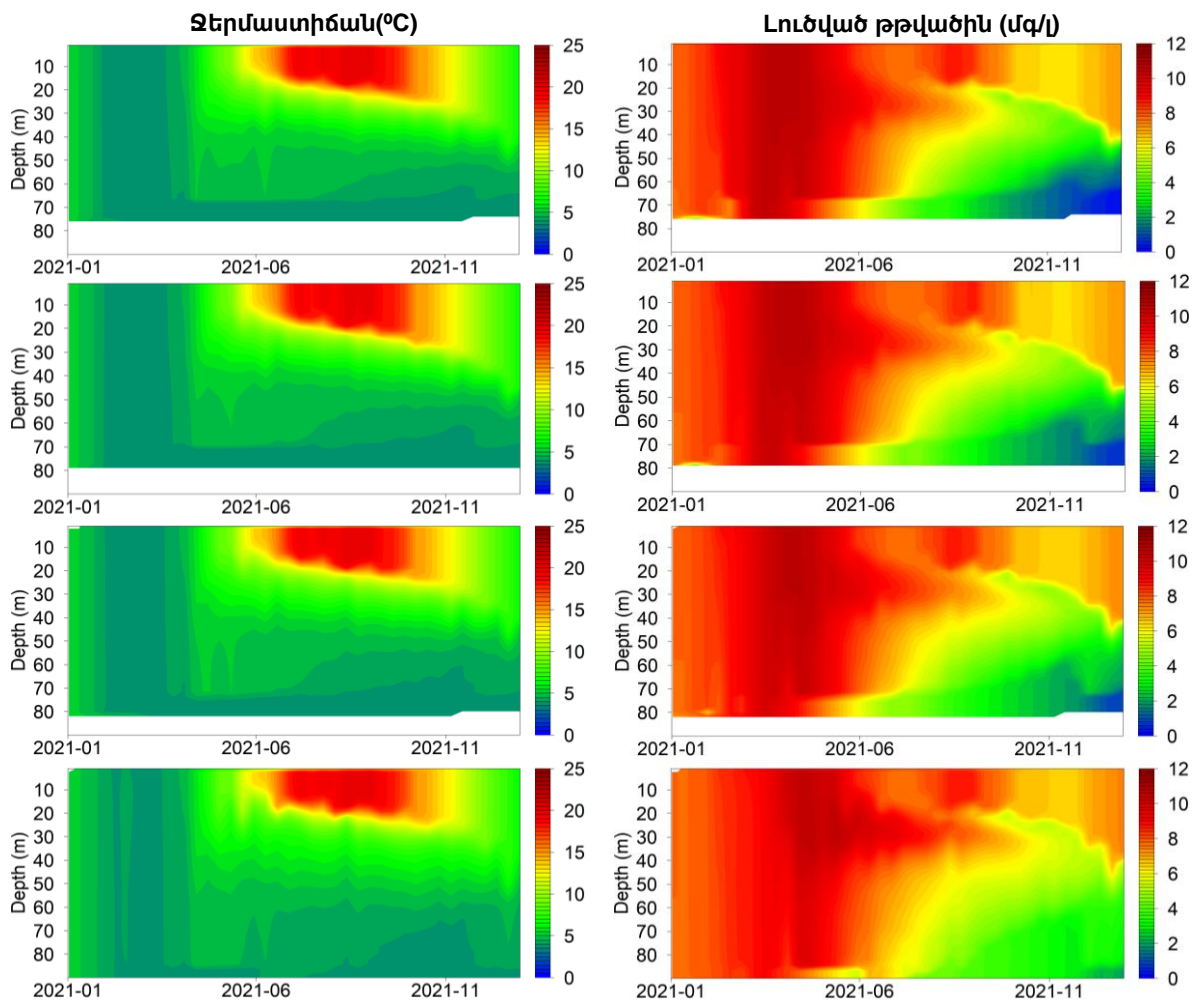


Նկար 3. Կանխատեսվող տարեկան ջերմաստիճանների շեղումները՝ 1970-2005 թվականների միջին պայմանների համեմատությամբ հետևյալ դեպքերի համար. A) CORDEX օդի ջերմաստիճան B) Սցենարներից յուրաքանչյուրի համար վերջին

տասնամյակի օդի ջերմաստիճանի փոփոխականությունը C) Լճի մակերևութային ջերմի հավաքական/անսամբլային միջին ջերմաստիճան (մակերևութային ջերմաստիճան), D) Սցենարներից յուրաքանչյուրի համար վերջին տասնամյակի մակերևութային ջերմի ջերմաստիճանի փոփոխականությունը E) Լճի հատակային ջերմի անսամբլային միջին ջերմաստիճան (հատակային ջերմաստիճան) F) Սցենարներից յուրաքանչյուրի համար վերջին տասնամյակի հատակային ջերմի ջերմաստիճանի փոփոխականությունը: Հասար գծերը ցույց են տալիս յուրաքանչյուր սցենարի համար հավաքական/անսամբլային միջինը (տպագրության ներկայացված աշխատությունը՝ Shikhani et al., «Բազմալճային անսամբլային/հավաքական մոդելի համակցումը բազմատիրոյթային CORDEX հավաքականի տվյալների հետ՝ Սևանա լճի վրա կլիմայի փոփոխության ազդեցության գնահատման համար» / *Twinning a Multi-Lake Model Ensemble with a Multi-Domain CORDEX Ensemble for Assessing Climate Change Impacts on Lake Sevan*)

Ակնկալվում է ինչպես մակերեսային, այնպես էլ խորքային շերտերի ջրի ջերմաստիճանի բարձրացում, ինչպես նաև շերտավորման ժամանակաշրջանի երկարաձգում: Երկու ազդեցություններն էլ մեծացնում են հիպոլիմնիոնում (Սևանա լճի ջրային մարմնի ստորին հատվածում) ավելի տևական անոքսիայի ռիսկը:

Սևանա լճի ջրի որակի մոդելավորումը պահանջում է առավել բարդ մոդել, քան մաքուր/բուն հիդրոդինամիկան: Դրա համար օգտագործվել է բավականին արդյունավետ CE-QUAL W2 մոդելը ([https:// www.cee. pdx. edu/ w2/](https://www.cee.pdx.edu/w2/)): Սա երկչափ /2D/ մոդել է, որը կարող է պատշաճ կերպով արտացոլել Սևանա լճի ավազանի ձևը և, մասնավորապես, Փոքր Սևանի (80 մ խորությամբ) և Մեծ Սևանի (30 մ խորությամբ) հատվածների միջև տարբերությունները: Այս մոդելի Սևանա լճի համար ադապտացված տարբերակը դեռևս մշակման փուլում է, քանի որ մոդելի պարամետրերի մի մասը դեռևս պատշաճ ձևով որոշված չեն: Մինչ այժմ հուսալիորեն աշխատում է միայն թթվածնի կոնցենտրացիայի մոդելավորման տարբերակը (Նկար 5): Վերջինս արդեն օգտագործվել է EU4Sevan ծրագրի համատեքստում (տես ստորև):



Նկար 4. Սևանա լճում ջերմաստիճանի և թթվածնի կոնցենտրացիայի մոդելավորման նախնական արդյունքները ներկայիս կլիմայական պայմաններում (2021 թ.) և ջրի տարբեր մակարդակների համար՝ 1897 մ (1-ին գիծ), 1900 մ (2-րդ գիծ), 1903 մ (3-րդ գիծ) և 1915 մ (4-րդ գիծ): Զերմաստիճանը և թթվածնի կոնցենտրացիան նշվում են գույներով՝ ըստ գծապատկերների աջ կողմի գունային սանդղակների՝ մեկ տարվա կտրվածքով և Փոքր Սևանի խորությամբ:

Նկար 5-ի արդյունքները ցույց են տալիս, որ ջրի ավելի բարձր մակարդակը հանգեցնում է ավելի քիչ արտահայտված թթվածնի պակասորդի առաջացման Սևանա լճի ամենախորը հատվածում, այսինքն՝ նրա հիպոլիմնիոնում: Հիպոլիմնիոնի ծավալը մեծանում է ջրի մակարդակի բարձրացման հետ: Հետևաբար, ամռանը ջերմաշերտավորման ժամանակահատվածի ընթացքում մահացած, այդտեղ նստող ֆիտոպլանկտոնի քայքայման համար այդտեղ ավելի շատ թթվածին է հասանելի դառնում: Սակայն ջրի մակարդակի ավելացումը ծովի մակարդակից 1900-ից մինչև 1903 մ բարձրության նիշ բավականին քիչ է: Ապագա պայմաններում, համաձայն հիդրոդինամիկ մոդելի, ինչպես ցույց է տրված վերևում, պետք է սպասել ավելի երկար շերտավորման ժամանակահատվածներ և ավելի բարձր հատակային ջերմաստիճաններ: Սա, հավանաբար, կփոխհատուցվի կամ նույնիսկ կգերփոխհատուցվի ջրի մակարդակի 1900-ից 1903 մ բարձրացման

արդյունքում առաջացած բարելավված պայմաններով: Հետևաբար, հավանաբար իրավիճակի բարելավման առավել կայուն միջոցը սննդանյութերի ներմուծման կրճատումն է, որն իր հերթին կնվազեցնի ֆիտոպլանկտոնի աճը և մեռած կենսազանգվածը, որը նստում է լճի հատակին և պետք է հանքայնացվի/քայքայվի միկրոօրգանիզմների կողմից այնտեղ առկա թթվածնի սպառման պայմաններում: Ամբողջությամբ մշակված և փորձարկված մոդելը թույլ կտա քանակապես ստուգել այդ որակական ակնկալիքները և, հետևաբար, իրականացնել Սևանա լճի գիտահեն կառավարում:

Սևանա լճի համար լճային մոդելների բարեհաջող մշակումն ու կիրառումը հնարավոր չէր լինի առանց ամսական մոնիթորինգի արդյունքների առկայության: Մոդելի ապագա կիրառությունները և հետագա կատարելագործումը պահանջում են ամսական մոնիթորինգի շարունակականություն: Հակառակ դեպքում, տեղի ունեցող փոփոխությունները չեն կարող հայտնաբերվել բավականաչափ ճշգրտությամբ, իսկ պոտենցիալ անհրաժեշտ վերաչափաբերումը և վերաստուգաճշտումը չեն կարող իրականացվել, այդ թվում նաևայլ մոդելների համար:

2.4 Հեռահար զոնդավորման կիրառումը

Սևանա լճի չափերը թույլ չեն տալիս դաշտային նմուշառման միջոցով վերհանել ֆիտոպլանկտոնի բաշխման մեջ առաջացող տարածական տարասեռությունները նույնիսկ 16 նմուշառման կետերի օգտագործման դեպքում, ինչպես արվել է Սևանա լճի նախորդ պետական մոնիթորինգի ընթացքում: Արբանյակային հեռահար զոնդավորումը դիտարկվեց որպես այդ սահմանափակումը հաղթահարելու տարբերակ: Բոլոր առկա տվյալների, ներառյալ SevaMod և SEVAMOD2 ծրագրերի շրջանակում իրականացվող ամսական մոնիթորինգի արդյունքների վերլուծությունը ցույց տվեցին, որ ներկայումս հնարավոր չէ համարժեք ձևով գնահատել քլորոֆիլի կոնցենտրացիան Սևանա լճի ջրերում արբանյակային հեռահար զոնդավորման միջոցով: Նմուշառման արդյունքներից դեռևս չկան բավարար տվյալներ քլորոֆիլի վերաբերյալ: Միայն ամսական մոնիթորինգի երկարաժամկետ շարունակելիությունը, ծաղկման ժամանակ լրացուցիչ նմուշառումների ընդգրկման հետ մեկտեղ, ավելի կընդլայնի Սևանա լճում հեռահար զոնդավորման հիման վրա քլորոֆիլի քանակական որոշման մեթոդաբանության մշակման հնարավորությունները:

Այնուամենայնիվ, հնարավոր եղավ գտնել գնահատման այնպիսի ալգորիթմ, որը թույլ է տալիս հայտնաբերել ջրիմուռների ծաղկումը, այսպես կոչված, HAB/ՎՋԾ-ցուցանիշի հիման վրա (HAB = վնասակար ջրիմուռների ծաղկում)՝ անկախ քլորոֆիլի բացահայտման հնարավորությունից: Այս մոտեցումը գործում է նույնիսկ այն դեպքում, երբ Սևանա լճի միայն մի մասն է ծաղկում, որը նույնիսկ հստակ տեսանելի չէ ափից և հազիվ թե հայտնաբերվի ամսական նմուշառման արդյունքում: Ալգորիթմը կարող է լայնորեն ավտոմատացվել և օգտագործվել

որպես ապագա մոնիթորինգի մաս՝ ծաղկման սկսման ժամանակահատվածում վաղ նախազգուշացման տրամադրման համար: Նման տեղեկատվությունը կարող է օգտագործվել զբոսաշրջիկներին զգուշացում տալու համար: Սա նաև թույլ կտա նախաձեռնել հարմարեցված/ադապտացված նմուշառում՝ ծաղկման քանակական գնահատման և ներգրավված տեսակների բացահայտման համար:

2.5 Կարողությունների զարգացում

SEVAMOD2-ի կարևոր բաղադրիչներից է կարողությունների զարգացումը: Մինչ այժմ թվով 11 մեկամսյա վերապատրաստումներ են կազմակերպվել Գերմանիայում՝ SEVAMOD2 թիմի հայաստանյան անդամների համար: Դրանց հիմնական ուղղությունները եղել են լճաբանության ներածություն (1), տվյալների գնահատման առաջադեմ մեթոդները (2), ֆիտոպլանկտոնի վերլուծության (անալիզի) առաջադեմ մեթոդները (2), հեռահար զոնդավորումը (3) և լճերի մոդելավորումը (3):

Աղյուսակ 1. Ընդհանուր ակնարկ Գերմանիայում վերապատրաստման անցկացման վերաբերյալ: Յուրաքանչյուր վերապատրաստում տրևել է մեկ ամիս:

Մասնակցի անունը, հաստատությունը	Վերապատրաստող հաստատությունը	Վերապատրաստման առարկան (վերապատրաստումների քանակը)
Ամալյա Միսակյան, «Հիդրոօդերևութաբանության և մոնիթորինգի կենտրոն» ՊՈԱԿ	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	Լճերի մոդելավորում (3)
Արմինե Հայրապետյան, ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	տվյալների գնահատման առաջադեմ մեթոդներ (1)
Գոռ Գևորգյան, ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	տվյալների գնահատման առաջադեմ մեթոդներ (1)
Անահիտ Հովսեփյան, ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	Ֆիտոպլանկտոնի վերլուծության առաջադեմ մեթոդներ (1)
Թեհմինե Խաչիկյան, ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների	Ֆիտոպլանկտոնի վերլուծության

Մասնակցի անունը, հաստատությունը	Վերապատրաստող հաստատությունը	Վերապատրաստման առարկան (վերապատրաստումների քանակը)
հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն	Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	առաջադեմ մեթոդներ (1)
Անահիտ Խլիլայան, ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն	EOMAP/ Երկրի դիտարկումներ և բնապահպանական ծառայություններ - Ջրային միջավայրերի քարտեզագրում և մոնիթորինգ	Հեռահար զոնդավորում (2)
Ռ. Ավետիսյան, ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն	EOMAP/ Երկրի դիտարկումներ և բնապահպանական ծառայություններ - Ջրային միջավայրերի քարտեզագրում և մոնիթորինգ	Հեռահար զոնդավորում (1)
Ազա Հովսեփյան, ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն	Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, լճերի հետազոտությունների դեպարտամենտ	Լճաբանության ներածություն (1)

2.6 Արդյունքների հրապարակում և իրազեկում

Քանի որ SEVAMOD2-ը հետազոտական ծրագիր է, գիտական հրապարակումները ծրագրի գործունեության մաս են կազմում: Մինչ այժմ հրատարակվել է չորս գիտական հոդված՝ օգտագործելով նաև նախորդ՝ SevaMod հետազոտական ծրագրի արդյունքները: Բացի այդ, ներկայումս գրախոսվում կամ լրամշակվում են երեք հոդվածներ և պատրաստվում են նոր հոդվածներ: Արդյունքները ներկայացվել են նաև երեք միջազգային գիտաժողովներում: Հավելված 1-ում ներկայացված են գիտական հոդվածները և գիտաժողովի աշխատանքները: Այնուամենայնիվ, SEVAMOD2-ի շրջանակներում ձեռք բերված բոլոր տվյալները անմիջապես հասանելի են Սևանա լճի համար պատասխանատու Հայաստանի իշխանությունների կողմից ներքին օգտագործման պահանջի ներկայացման դեպքում: Նախնական արդյունքները հանրությանը ներկայացվել են 2022 թվականի հուլիսին Երևանում կայացած Սևանի համաժողովի ժամանակ:

2.7 SEVAMOD2-ի հետ սերտորեն առնչվող այլ ծրագրերի գործունեության ուղղություններն ու հայկական կողմից իրականացվող լրացուցիչ հետազոտական ծրագրերի հետ փոխգործունեության շրջանակները

Գոյություն ունի զգալի համահարաբերակցական կապ SEVAMOD2 և EU4Sevan ծրագրերի միջև: Հետևաբար տեղի են ունենում ինտենսիվ փոխանակություններ, ինչպես նաև այդ համատեքստում SEVAMOD2 թիմի մի մասն ընդգրկված է EU4Sevan ծրագրի 1 և 4 բաղադրիչների գործունեության մեջ: Ընդհանուր ուղղությունները հետևյալն են. (1) մոնիթորինգի հայեցակարգի մշակում, որն իրականացվում է համատեղ սկզբունքներով, (2) ապագա կլիմայական պայմանների մոդելավորում, ներառյալ Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի ջրային հաշվեկշռի մոդելավորում և (3) Սևանա լճի ջրի մակարդակի՝ մինչև 1903,5 մ բարձրացման հետևանքների մոդելավորումը:

Մոնիթորինգի հայեցակարգի առաջին տարբերակը տրամադրվել է 2023 թվականի ապրիլի վերջին և ներկայացվել ու քննարկվել է 2023 թվականի մայիսի 5-ին Երևանում կայացած աշխատաժողովում, որը կազմակերպվել էր EU4Sevan ծրագրի կողմից՝ համախմբելով հայաստանյան բոլոր համապատասխան հաստատություններին և շահագրգիռ կողմերին: Մոնիթորինգի հայեցակարգի մշակման գործընթացը կավարտվի մինչև 2023 թվականի վերջ:

EU4Sevan ծրագրի շրջանակներում մոդելավորվել է Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի ապագա ջրային հաշվեկշիռը: Սա իրականացվել է SEVAMOD2 ծրագրի հետ զուգահեռ Ռոհինի Կումարի գլխավորությամբ (Շրջակա միջավայրի հետազոտությունների Հելմհոլցի կենտրոն – UFZ, Հաշվարկային հիդրոհամակարգերի դեպարտամենտ) պայմանագրային սկզբունքներով EU4Sevan-ի համար: Այս մոդելավորման արդյունքները կօգտագործվեն ոչ միայն Սևանա լճի վրա կլիմայի փոփոխության ուղղակի հետևանքների, այլև անուղղակի հետևանքների մոդելավորման համար. այն է՝ հաշվի են առնվելու Սևանա լճի ջրային հաշվեկշռի հետագա փոփոխությունները: Սա մինչ այժմ չի հաջողել իրականացնել Սևանա լիճ ներհոսքերի վերաբերյալ մանրամասն կանխատեսումների բացակայության պատճառով: Այս մոդելավորումը կավարտվի մինչև 2023 թվականի վերջ:

Ինչպես արդեն նշվեց վերևում, Սևանա լճի ջրի որակի մոդելն օգտագործվում է ջրի տարբեր մակարդակների դեպքում մոդելավորման համար: Սա նույնպես արվում է EU4Sevan-ի շրջանակներում և պետք է իրականացվի նաև ապագա կլիմայական պայմանների համար՝ հաշվի առնելով ինչպես ուղղակի, այնպես էլ անուղղակի հետևանքները Սևանա լճի համար: Այս մոդելավորումները կավարտվեն մինչև 2023 թվականի վերջ:

Բացի EU4Sevan-ի հետ համագործակցությունից, կա նաև սերտ համագործակցություն երկու հետազոտական ծրագրերի հետ, որոնք ֆինանսավորվում են ՀՀ կրթության, գիտության, մշակույթի և սպորտի նախարարության գիտության կոմիտեի կողմից: Այս ծրագրերը կենտրոնացած են Սևանա լճում ցիանոբակտերիալ ծաղկման մեխանիզմների վրա և Սևանա լճի

մոնիթորինգի համար հեռահար զոնդավորման մեթոդի կիրառման հետագա կատարելագործման վրա:

Գոռ Գևորգյան՝ ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոն: «Սևանա լճում ծաղկող ցիանոբակտերիաների աճող խնդիրը. մեխանիզմների, շարժիչ ուժի և լճի մոնիթորինգի ու կառավարման նոր գործիքների հայտնաբերում»: Ֆինանսավորման ժամանակաշրջան՝ 2020-2023 թթ.:

Շուշանիկ Ասմարյան՝ ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն: «Լեռնային լճերի ջրի որակի տարածա-ժամանակային փոփոխությունների գնահատում՝ հեռահար զոնդավորման տվյալների մշակման տեխնոլոգիաների կիրառմամբ»: Ֆինանսավորման ժամանակաշրջան՝ 2021-2024թթ.:

Երկու նախագծերն էլ լրացնում են SEVAMOD2 ծրագրին, և համագործակցության արդյունքում ստեղծվել են բազմաթիվ փոխշահավետ հնարավորություններ, որոնցից մեկն էլ Գոռ Գևորգյանի՝ արդեն նոր հետազոտական ծրագրի ֆինանսավորման հայտն է:

2.8 Առաջարկվող հետագա հետազոտությունները

Կան բազմաթիվ հետազոտական հարցեր, որոնք պահանջում են ավելի խորը վերլուծություններ և կարող են լինել Սևանա լճի հետագա հետազոտական ծրագրերի թեմաների ցանկում՝ սկսած հիմնարար գիտությունից մինչև կիրառական գիտություն: Այստեղ մենք կենտրոնանում ենք Սևանա լճի կառավարման հետ կապված կիրառական գիտության վրա՝ ուղղակիորեն հիմնվելով SEVAMOD2-ի աշխատանքի արդյունքների վրա: Հետազոտությունները պետք է ուղղված լինեն ջրի որակի մոդելի հետագա բարելավման գործընթացին՝ լճի կառավարման հարցերով զբաղվող մասնագետների հետ սերտ համագործակցության միջոցով: Ինչպես արդեն նշվեց, մոդելն ինքնին բարելավման և փորձարկման կարիք ունի, ինչը կնպաստի դրա ավելի լայն և երկարաժամկետ կիրառման հնարավորություններին, և մենք ակնկալում ենք, որ Սևանա լճի կառավարումը միշտ կբախվի նոր հարցերի և մարտահրավերների, որոնց լուծման համար ջրի որակի մոդելի օգտագործումն ու հետագա բարելավումը զգալի նշանակություն կունենա: SEVAMOD2 ծրագրի և EU4Sevan ծրագրի շրջանակներում համապատասխան հավելվածների մոդելավորված սցենարների շարքում մնացած առկա բացերի շտկումը/փակելը կդառնա առաջին քայլն այդ ուղղությամբ: Շատ կարևոր է ՀՀ Շրջակա միջավայրի նախարարության կողմից ամսական մոնիթորինգի շարունակելիությունը ապագա հետազոտական ծրագրերի համար, քանի որ վերջիններս, ամենայն հավանականությամբ, նման մոնիթորինգ իրականացնելու ռեսուրսներ չեն ունենա: Ավելին, Հայաստանը համաձայնել է ԵՄ-ի հետ իրականացնելու մոնիթորինգ, որը կբավարարի ԵՄ Զրի

շրջանակային դիրեկտիվի պահանջները, ուստի, ամեն դեպքում նման մոնիթորինգ պետք է իրականացվի:

3 References

Hilden M (2003) Ermittlung von Stoff-Frachten in Fließgewässern: Probenahmestrategien und Berechnungsverfahren [Determination of solute loads in flowing waters: Sampling strategies and calculation methods]. Kulturbuch-Verlag.

Hipsey MR, Bruce LC, Casper Boon C, Busch B, Carey CC, David P. Hamilton DP, Hanson PC, Read JS, de Sousa E, Weber M, Winslow LA (2019) A General Lake Model (GLM 3.0) for linking with high-frequency sensor data from the Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON). *Geosci. Model Dev.*, 12, 473–523.

Annex 1: List of scientific articles prepared in the framework of SevaMod and SEVAMOD2 and contributions to international conferences

Published scientific articles

Gabrielyan B, Khosrovyan A, Schultze M (2022) A review of anthropogenic stressors on Lake Sevan, Armenia. *Journal of Limnology* 81(s1):2061

Gevorgyan G, Rinke K, Schultze M, Mamyán A, Kuzmin A, Belykh O, Sorokovikova ., Hayrapetyan A, Hovsepyan A, Khachikyan T, Aghayan S, Fedorova G, Krasnopeev A, Potapov S, Tikhonova I (2020) First report about toxic cyanobacterial bloom occurrence in Lake Sevan, Armenia. *International Review of Hydrobiology* 105:131-142

Gevorgyan G, von Tuempling W, Shahnazaryan G, Friese K, Schultze M (2023) Lake-wide assessment of trace elements in surface sediments and water of Lake Sevan. *Journal of Limnology* 81(S1):2096

Shikhani M, Mi C, Gevorgyan A, Gevorgyan G, Misakyan A, Azizyan L, Barfus K, Schulze M, Shatwell T, Rinke K (2021) Simulating thermal dynamics of the largest lake in the Caucasus region: The mountain Lake Sevan. *Journal of Limnology* 81(s1):2024

Scientific articles under review or in revision

Dadi T, von Tümpling W, Mi C, Schultze M, Friese K: Assessment of phosphorus behavior in sediments of Lake Sevan, Armenia. Revised version re-submitted to *Journal of Limnology*

Hayrapetyan A, Gevorgyan G, Schultze M, Shikhani M, Khachikyan T, Krylov A, Rinke K: Contemporary community composition, spatial distribution patterns, and biodiversity characteristics of zooplankton in the large alpine Lake Sevan, Armenia. Submitted to *Journal of Limnology*

Shikhani M, Ladwig R, Feldbauer J, Mercado-Bettín D, Moore TN, Gevorgyan A, Misakyan A, Schultze M, Boehrer B, Shatwell T, Barfus K, Rinke K: Twinning a Multi-Lake Model Ensemble with a Multi-Domain CORDEX Ensemble for Assessing Climate Change Impacts on Lake Sevan. Submitted to *Hydrology and Earth System Sciences*

Contributions to international conferences

Asmaryan S, Gevorgyan G, Hovsepyan A, Muradyan V, Khlgatyan A, Sahakyan L, Hayrapetyan A, Gabrielyan B, Heege T, Benert H, Schultze M, Rinke K: Exploring SENTINEL-3 based water monitoring for assessing seasonal and spatio-temporal dynamics of the largest lake in the Caucasus Region, Lake Sevan. European Space Agency “Living Planet” Symposium. May 23-27, 2022, Bonn, Germany

Gevorgyan G, Hovsepyan A, Khachikyan T, Hayrapetyan A, Schultze M, Rinke K: Lake Sevan, Armenia: Assessment of current phytoplankton and ecological state. 36th Congress of the International Society for Limnology. August 07 - 10, 2022, Berlin, Germany

Gevorgyan G, Hovsepyan A, Khachikyan T, Hovsepyan A, Schultze M, Rinke K: Investigation of harmful cyanobacterial developments in Lake Sevan, Armenia. 12th World Congress on Water Resources and Environment (EWRA 2023): “Managing Water-Energy-Land-Food under Climatic, Environmental and Social Instability”. 27 June - 1 July 2023, Thessaloniki, Greece

Shikhani M, Ladwig R, Mercado-Bettín D, Moore T, Shatwell T, Barfus K, Rinke K: Ensemble projections of climate change impacts on Lake Sevan using latest climate products and a lake model ensemble. 36th Congress of the International Society for Limnology. August 07 - 10, 2022, Berlin, Germany