

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

**ԿԵՆԴԱՆԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՀԻՂՐՈՒԷԿՈՒՈՒԹՅԱՅԻ ԳԻՏԱԿԱՆ
ԿԵՆՏՐՈՆ**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ԳՈՌ ԱՐՄԵՆԻ

**ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ԶՐՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ԳԵՏԵՐԻ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼ
ԿԵՆՍԱՄԱՏՉԵԼԻ ՀԵՏՔԱՅԻՆ ՏԱՐԲԵՐՈՎ ԱՂՏՈՏՎԱԾՈՒԹՅԱՆ
ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ**

*Գ.00.08 – «Կենդանաբանություն. մակաբուծաբանություն.
Էկոլոգիա» մասնագիտությամբ կենսաբանական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության*

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Կենդանաբանության և
հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոնի գիտխորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝ կենսաբանական գիտությունների թեկնածու
Գոռ Արտակի Գևորգյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ կենսաբանական գիտությունների դոկտոր
Կարեն Արամայիսի Ղազարյան

կենսաբանական գիտությունների թեկնածու
Մարինե Ռուսլանի Դալաքյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Ի. Վ. Եղիազարովի անվան ջրային
հիմնահարցերի և հիդրոտեխնիկայի
ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա «04» սեպտեմբերի 2026 թ., ժամը
13:00–ին Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոնում գործող ՀՀ
ԲԿԳԿ կենդանաբանության 036 մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցե՝ ք. Երևան, 0014, Պ. Սևակի փ. 7, Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի
գիտական կենտրոն, էլ. փոստ՝ zoohec@sci.am

Ատենախոսությանը և սեղմագրին կարելի է ծանոթանալ Կենդանաբանության և
հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոնի գրադարանում, իսկ սեղմագրին՝ նաև կենտրոնի
պաշտոնական կայքում (<https://sczhe.sci.am>):

Սեղմագրին առաքված է «04» օգոստոսի 2026 թ.:

036 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝



կենսաբանական գիտությունների
թեկնածու Մարկ Յուրիի Քալաշյան

Թեմայի արդիականությունը

Աշխարհում քաղցրահամ ջրային էկոհամակարգերին սպառնացող հիմնական մարտահրավերներից մեկը հետքային տարրերով (ՀՏ-երով) աղտոտվածության աճն է: ՀՏ-երը գետային էկոհամակարգեր են ներթափանցում ինչպես բնական գործընթացների (ապարների քայքայում, հողի էրոզիա և մթնոլորտից նստվածքագոյացում), այնպես էլ մարդկային գործունեության (հանքարդյունաբերություն, գյուղատնտեսություն, արդյունաբերություն, կենցաղային հոսքաջրեր և այլն) արդյունքում: Հատկապես կարևոր է այն հանգամանքը, որ գետային համակարգերում ՀՏ-երը կարող են տեղափոխվել, ներգրավվել կենսաերկրաքիմիական շրջանառության գործընթացներում և կենսակուտակվել ջրային օրգանիզմներում՝ հանգեցնելով գետային էկոհամակարգերի կառուցվածքային և ֆունկցիոնալ առանձնահատկությունների փոփոխության:

Վերջին տարիներին գետերի աղտոտվածության գնահատումը ձեռք է բերել առանձնահատուկ կարևորություն, հատկապես լճերի ջրհավաք ավազաններում, որտեղ գետերը հանդիսանում են աղտոտիչների լիճ տեղափոխման հիմնական ուղիները: Այս համատեքստում առանձնակի կարևորություն է ձեռք բերում գետային էկոհամակարգերում ՀՏ-երի տարածման, կուտակման և դրանցով պայմանավորված էկոլոգիական ռիսկերի համապարփակ գնահատումը: Արգիճի, Գավառագետ, Կարճաղբյուր, Ձկնագետ, Մասրիկ, Մարտունի և Վարդենիս գետերը Սևանա լիճ թափվող առավել նշանակալի վտակներն են՝ ինչպես իրենց ջրաբանական բնութագրերով, այնպես էլ լճի ջրաքիմիական ռեժիմի ձևավորման վրա ունեցած ազդեցությամբ: Այս գետերը հունի երկայնքով, մասնավորապես վերին և ստորին հոսանքների միջև, ենթարկվում են տարաբնույթ մարդածին ճնշումների, ինչը դարձնում է դրանց աղտոտիչների տարածական բաշխման ուսումնասիրության, առաջացրած էկոլոգիական վտանգների գնահատման և աղբյուրների բացահայտման համար թիրախային օբյեկտներ:

Մինչ օրս Սևանա լճի ավազանում ՀՏ-երի վերաբերյալ իրականացվել են սահմանափակ թվով հետազոտություններ: Առկա ուսումնասիրությունները հիմնականում կենտրոնացած են առանձին գետերի, միջավայրերի կամ տարրերի խմբերի վրա, ինչի հետևանքով ՀՏ-երի տարածման, կուտակման և դրանց էկոլոգիական ազդեցությունների համապարփակ գնահատումը դեռևս լիարժեքորեն չի իրականացվել: Ավելին, մինչ օրս իրականացվել է Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետերի հատակային նստվածքների ՀՏ-երով աղտոտվածության ընդամենը մեկ հետազոտություն, որը վերաբերում է միայն սահմանափակ թվով գետահատվածներում որոշ ՀՏ-երի ընդհանուր պարունակությունների գնահատմանը, մինչդեռ ջրալույծ ՀՏ-երի բաշխվածությունն ու պարունակություններն ընդհանրապես չեն ուսումնասիրվել: Հետևաբար, ակնհայտ է գետային էկոհամակարգերում ՀՏ-երի բաշխվածության, շարժունակության և դրանցով պայմանավորված էկոլոգիական ռիսկերի համալիր գնահատմանն ուղղված համապարփակ ուսումնասիրության անհրաժեշտությունը: Այս ուսումնասիրությունը նպատակ ունի լրացնել առկա գիտական բացը՝ իրականացնելով ջրհավաք ավազանի գետերում ՀՏ-երի բաշխվածության և դրանով պայմանավորված աղտոտվածության էկոլոգիական գնահատում:

Աշխատանքի նպատակն ու խնդիրները

Ատենախոսության նպատակն է ուսումնասիրել Սևանա լիճ թափվող հիմնական գետերի պոտենցիալ թունավոր տարրերով աղտոտվածության էկոլոգիական առանձնահատկությունները:

Հետազոտության նպատակին հասնելու համար առաջադրվել են հետևյալ խնդիրները.

1. իրականացնել Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետերի հատակային նստվածքներում և ջրային միջավայրում ՀՏ-երի տարածական բաշխվածության քանակական ուսումնասիրություն,
2. բացահայտել գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտման հնարավոր աղբյուրները և աղտոտում առաջացնող հիմնական տարրերը,
3. գնահատել գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության մակարդակները և բացահայտել աղտոտվածության հնարավոր թեժ կետերը,
4. բացահայտել գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության էկոլոգիական վտանգները,
5. իրականացնել գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության և դրա արդյունքում առաջացած էկոլոգիական վտանգների տարածական բաշխվածության քարտեզագրում:

Գիտական նորություն

Առաջին անգամ իրականացվել է Սևանա լիճ թափվող հիմնական գետերի (Արգիճի, Գավառագետ, Կարճաղբյուր, Ձկնագետ, Մասրիկ, Մարտունի և Վարդենիս) հատակային նստվածքներում և ջրային միջավայրում ՀՏ-երի քանակական բաշխվածության միաժամանակյա էկոլոգիական ուսումնասիրություն: Ստացված արդյունքների հիման վրա գետերի երկայնքով և ջրհավաք ավազանի տարածքում բացահայտվել են աղտոտիչների տարածական բաշխվածության առանձնահատկություններն ու փոփոխությունները, դրանց հավանական աղբյուրները, էկոլոգիական տեսանկյունից առավել վտանգավոր տարրերը և դրանց կուտակման հնարավոր թեժ կետերը: Բացահայտվել են գետաէկոհամակարգերի գործունեության, ինչպես նաև մարդու առողջության համար աղտոտվածության վտանգները: Սևանա լճի ջրհավաք ավազանում առաջին անգամ իրականացվել է նաև ՀՏ-երով աղտոտվածության և դրանով պայմանավորված էկոլոգիական ռիսկերի տարածական բաշխվածության քարտեզագրում:

Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս ամբողջական պատկերացում կազմել աղտոտվածության տարածական օրինաչափությունների և հնարավոր էկոլոգիական հետևանքների վերաբերյալ հիմք ստեղծելով հետագա մոնիթորինգի, կառավարման և կանխարգելիչ միջոցառումների մշակման համար:

Կիրառական նշանակությունը

1. Հետազոտության արդյունքները կարող են կիրառվել որպես գիտական հիմք՝ Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի հիմնական գետերի էկոլոգիական վիճակի բարելավման, մարդածին ձնշումների նվազեցման և կայուն կառավարման ռազմավարությունների մշակման գործընթացում:

2. Մշակված տարածական քարտեզները կարող են ծառայել որպես գիտագործնական արդյունավետ գործիքներ՝ Սևանա լճի ջրհավաք ավազանում էկոլոգիապես խոցելի տարածքների նույնականացման և բնապահպանական կառավարման միջոցառումների գիտականորեն հիմնավորված ու նպատակային պլանավորման համար:
3. Ատենախոսության շրջանակում մշակված գիտահետազոտական մոտեցումները կարող են ունենալ լայն կիրառելիություն՝ հնարավորություն ընձեռելով գնահատելու Հայաստանի և այլ երկրների գետային էկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության մակարդակը և վերլուծելու դրա հետ կապված էկոլոգիական ռիսկերը:
4. Ատենախոսությունում կիրառված մեթոդներն ու մոտեցումները կարող են ունենալ կրթական կիրառություն՝ ընդգրկվելով էկոլոգիայի և բնապահպանության ոլորտների բուհական մասնագիտական ծրագրերում և նպաստելով ուսանողների մասնագիտական պատրաստվածության ու գիտահետազոտական կարողությունների զարգացմանը:
5. Հետազոտության արդյունքները կարող են կիրառական նշանակություն ունենալ ջրային ռեսուրսների կառավարման և առողջապահության ոլորտների մասնագետների համար՝ նպաստելով ջրային ռեսուրսների որակի գնահատման, անվտանգ օգտագործման և կառավարման արդյունավետ ռազմավարությունների մշակմանը:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնադրույթները

1. Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերում ՀՏ-երի քանակական ուսումնասիրության արդյունքները
2. Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտման հնարավոր աղբյուրների և աղտոտում առաջացնող հիմնական տարրերի վերհանումը
3. Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության մակարդակների գնահատումը և աղտոտվածության հնարավոր թեժ կետերի վերհանումը
4. Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության էկոլոգիական վտանգների գնահատումը
5. Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերի ՀՏ-երով աղտոտվածության և դրա արդյունքում առաջացած էկոլոգիական վտանգների տարածական բաշխվածության քարտեզագրման արդյունքները

Ատենախոսության փորձահավաստիությունն

Ատենախոսության նյութերը ներկայացվել են քննարկվել են Կենդանաբանության և հիդրոէկոլոգիայի գիտական կենտրոնի գիտխորհրդի նիստերում (2023–2026 թթ.), «Կենսաբազմազանություն, պահպանություն և կլիմայի փոփոխություն» 1-ին (Երևան, 2025 թ. մայիսի 5–8) և 2-րդ (Երևան, 2026 թ. հունիսի 9–12) միջազգային համաժողովներում և «Գլոբալ կլիմայական փոփոխությունների ճնշման ներքո ջրային էկոհամակարգերի ուսումնասիրության երիտասարդական ցանց» երիտասարդ

գիտնականների միջազգային համաժողովում (ՌԴ, Պետրոգրադոսկ, 2026 թ. մարտի 24–27):

Հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 4 գիտական հոդված, որոնցից երկուսն ընդգրկված են Սկոպուս (Scopus) գիտատեղեկատվական հարթակում:

Ատենախոսության ծավալն ու կառուցվածքը

Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, 4 գլխից, եզրակացություններից, 156 անվանում պարունակող գրականության ցանկից և 6 հավելվածներից: Աշխատությունում ընդգրկված են 2 նկար, 14 գծանկար ու 6 աղյուսակ: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը կազմում է համակարգչային 124 էջ:

ԳԼՈՒԽ 1. ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՋՐՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՄԱՇԽԱՐՀԱԳՐԱԿԱՆ, ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Ատենախոսության առաջին գլխում ներկայացված են ուսումնասիրվող տարածքի ֆիզիկաաշխարհագրական պայմանները, երկրաբանական առանձնահատկությունները, կլիմայական բնութագրերը և ջրագրական ցանցի ձևավորման հիմնական գործոնները:

Նկարագրված են տարածքի աշխարհագրական դիրքը և սահմանները, երկրաբանական կառուցվածքը, ինչպես նաև կլիմայական պայմանների ազդեցությունը գետային համակարգերի ձևավորման և զարգացման վրա:

Առանձին ենթագլուխներում քննարկված են հիմնական գետերի սնման աղբյուրները, հոսքի ռեժիմները և ֆիզիկաաշխարհագրական առանձնահատկությունները:

Ներկայացված են նաև տարածքի գետային էկոհամակարգերի առանձնահատկությունները, կենսաբազմազանությունը և մարդածին ճնշումների ազդեցությամբ առաջացած հիմնական ջրաէկոլոգիական խնդիրները:

ԳԼՈՒԽ 2. ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՆՅՈՒԹ ՈՒ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Ատենախոսության երկրորդ գլուխը նվիրված է ուսումնասիրության նյութի ու մեթոդների նկարագրությանը: Հակիրճ ներկայացված է Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի բնութագիրը:

Ուսումնասիրության օբյեկտ հանդիսացած Սևանա լճի ջրհավաք ավազանում ընտրվել է 14 գետահատված՝ Արգիճի, Գավառագետ, Կարճաղբյուր, Ձկնագետ, Մասրիկ, Մարտունի, Սոթք և Վարդենիս գետերի ստորին (գետաբերանի մոտ) և/կամ վերին հոսանքներում (Աղ. 1):

Մասրիկ գետը և դրա վերին վտակ՝ Սոթք գետը, դիտարկվել են որպես Մասրիկ գետային համակարգ, որի վերին հոսանքը ներկայացված է Սոթք գետով, իսկ ստորին հոսանքը՝ Մասրիկ գետով:

Ուսումնասիրված գետերի ստորին հոսանքները դիտարկվել են որպես մարդածին հնարավոր ազդեցության գոտիներ, իսկ վերին հոսանքների դիտակետերը (բացառությամբ Մասրիկ գետային համակարգի)՝ որպես ստուգիչ կամ հղումային, որտեղ մարդածին ազդեցությունը կամ բացակայում է կամ չնչին է:

Մևանա լճի ջրհավաք ավազանում ուսումնասիրված գետահատվածների կոորդինատները և տեղակայությունը

Գետի անվանումը	Դիտակետի կոդը	Հյուսիսային լայնություն	Արևելյան երկայնություն	Դիտակետի տեղակայությունը
Չկնագետ	Չ-1	40°39'11.0"	44°53'31.9"	0,5 կմ գյ. Մեմոնովկայից վերև
Չկնագետ	Չ-2	40°37'01.5"	44°57'45.8"	գետաբերանի մոտ
Կարճաղբյուր	Կ-1	40°05'41.9"	45°38'36.3"	0,5 կմ գյ. Ախպրաձորից վերև
Կարճաղբյուր	Կ-2	40°10'45.3"	45°34'56.8"	գետաբերանի մոտ
Վարդենիս	Վ-1	40°07'53.9"	45°26'34.6"	0,5 կմ գյ. Վարդենիսից վերև
Վարդենիս	Վ-2	40°09'16.1"	45°26'17.6"	գետաբերանի մոտ
Մարտունի	Մար-1	40°04'40.8"	45°17'40.6"	0,5 կմ գյ. Գեղհովիտից վերև
Մարտունի	Մար-2	40°09'03.4"	45°18'00.2"	գետաբերանի մոտ
Արգիճի	Ա-1	40°01'56.4"	45°14'13.0"	0,5 կմ գյ. Լեռնահովիտից վերև
Արգիճի	Ա-2	40°09'20.5"	45°16'04.4"	գետաբերանի մոտ
Գավառագետ	Գ-1	40°17'32.9"	45°02'37.2"	0,5 կմ գյ. Ծաղկաշենից վերև
Գավառագետ	Գ-2	40°21'49.7"	45°10'38.3"	գետաբերանի մոտ
Մասրիկ (Մոթք)	Մաս-1	40°12'02.6"	45°51'06.7"	Մոթք գետի գետաբերանի մոտ
Մասրիկ	Մաս-2	40°13'16.8"	45°38'40.6"	գետաբերանի մոտ

Մևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետային էկոհամակարգերի ուսումնասիրված հատվածների ջրերում լուծված շՏ-երով (Al, As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V և Zn) աղտոտվածության էկոլոգիական գնահատման նպատակով ջրանմուշառումները կատարվել են 2023–2025 թթ. գրեթե բոլոր ամիսներին, իսկ լուծված սնդիկով (Hg) աղտոտվածության էկոլոգիական գնահատման համար միայն 2025 թ. հուլիսին: Ուսումնասիրված գետահատվածների հատակային նստվածքներում ջրալույծ շՏ-երի քանակական որոշման համար նստվածքների, ինչպես նաև դիատոմային միկրոօրգանիզմների ձևաբանական ուսումնասիրությունների նպատակով միկրոֆիտոբենթոսային համակենցության նմուշառումները կատարվել են 2024 և 2025 թթ. հուլիս ամիսներին, իսկ ջրալույծ Hg-ի և ընդհանուր շՏ-երի քանակական որոշման համար միայն 2025 թ. հուլիսին: Նմուշառումների ընթացքում գետաջրերում չափվել են նաև լուծված թթվածինը, էլեկտրահաղորդականությունն ու pH-ը:

Լուծված շՏ-երի (բացառությամբ Hg-ի) քանակական որոշման համար ջրանմուշները հավաքվել են ՀՍ ԻՍՈ 5667-3:2016, իսկ լուծված Hg-ի քանակական որոշման համար՝ ԳՕՍ 31950–2012 ստանդարտ ընթացակարգերում նկարագրված մեթոդների պահանջներին համապատասխան:

Ջրալույծ և ընդհանուր շՏ-երի քանակական որոշման համար հատակային նստվածքների նմուշառումն իրականացվել է ԻՍՈ 5667-12:2017 ստանդարտում սահմանված ընթացակարգին համապատասխան:

Ջրում լուծված և հատակային նստվածքներում ջրալույծ շՏ-երի կոնցենտրացիաները որոշվել են ԻՍՈ 17294-2:2023, իսկ նստվածքային նմուշներում ընդհանուր շՏ-երի պարունակությունը՝ ՀՍ ԻՍՈ/SU 16965-2022 ստանդարտ ընթացակարգերում նկարագրված մեթոդներով: Նմուշներում Hg-ի պարունակությունը որոշվել է ԳՕՍ 31950–2012 ստանդարտ ընթացակարգի պահանջներին

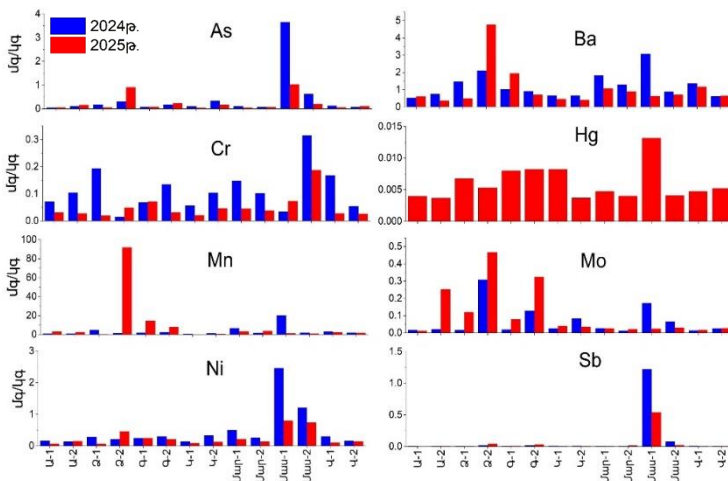
համապատասխան:

Գետաջրերում լուծված շՏ-երի պարունակությունների ստացված արդյունքները համեմատվել են Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետերի համար սահմանված ջրի որակի երկրորդ դասի էկոլոգիական նորմերի հետ, ինչպես նաև և այլ հեղինակների կողմից (Gaillardet et al., 2003) ներկայացված գլոբալ միջին արժեքների հետ:

ԳԼՈՒԽ 3. ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՋՐՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ԳԵՏԱՑԻՆ ԷԿՈԶԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼ ԿԵՆՍԱՄԱՏՁԵԼԻ ՇՏ-ԵՐԻ ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ ԲԱԶՈՒՄԱԾՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

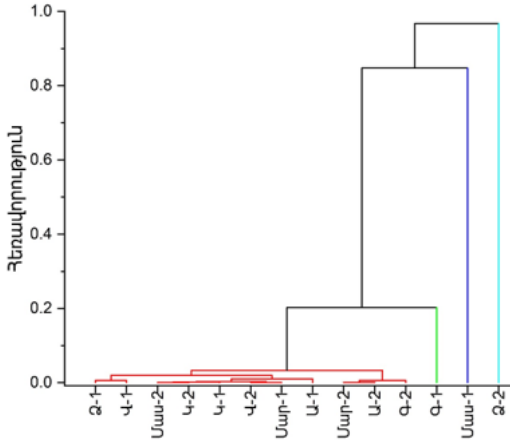
Գլխում ներկայացված են գետերի հատակային նստվածքներում ջրալույծ և գետաջրերում լուծված շՏ-երի պարունակությունների վիճակագրական և նկարագրական վերլուծության արդյունքները: Վերլուծվել են ուսումնասիրված շՏ-երի տարածական բաշխվածության առանձնահատկությունները, ինչպես նաև դրանց պարունակությունների փոփոխությունները գետերի վերին և ստորին հոսանքներում:

Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաէկոհամակարգերի հատակային նստվածքները բնութագրվում են ջրալույծ շՏ-երի արտահայտված տարածական տարասեռ բաշխվածությամբ: Վերին հոսանքներում շՏ-երի պարունակությունները հիմնականում համապատասխանում են հրաբխային և ուլտրամաֆիկ կազմավորումների լիթոլոգիայով պայմանավորված բնական երկրաքիմիական ֆոնին, մինչդեռ ստորին հոսանքներում արձանագրվել է մի շարք տարրերի կուտակում՝ պայմանավորված տարատեսակ մարդածին ազդեցություններով: Առավել բարձր պարունակություններ արձանագրվել են Մաս-1, Մաս-2, 2-2 և Գ-2 գետահատվածներում (Գծ. 1), ինչը վկայում է աղտոտվածության տեղային օջախների ձևավորման մասին:



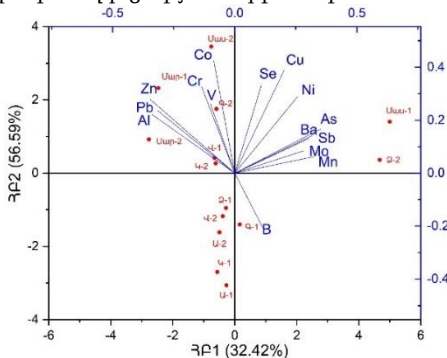
Գծանկար 1. Ուսումնասիրված գետաէկոհամակարգերի հատակային նստվածքներում որոշ ջրալույծ շՏ-երի պարունակությունների տարածական բաշխվածությունը

Հիերարխիկ կլաստերային վերլուծության (ՀԿՎ) արդյունքները բացահայտել են ուսումնասիրված գետահատվածների չորս հիմնական խմբեր՝ արտացոլելով հատակային նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երի տարածական բաշխվածության օրինաչափությունները: Գետահատվածների մեծ մասը կազմել է ընդհանուր կլաստեր, ինչը վկայում է դրանց երկրաքիմիական պայմանների և աղտոտման աղբյուրների նմանության մասին: Միաժամանակ, Մաս-1 և Ձ-2 գետահատվածներն առանձնացել են որպես ինքնուրույն կլաստերներ՝ պայմանավորված ՀՏ-երի բարձր պարունակությամբ և արտահայտված մարդածին ազդեցությամբ: Գ-1 գետահատվածը նույնպես առանձնացել է առանձին կլաստերով (Գծ. 2), ինչը պայմանավորված է դրա համեմատաբար բնական պայմաններով:



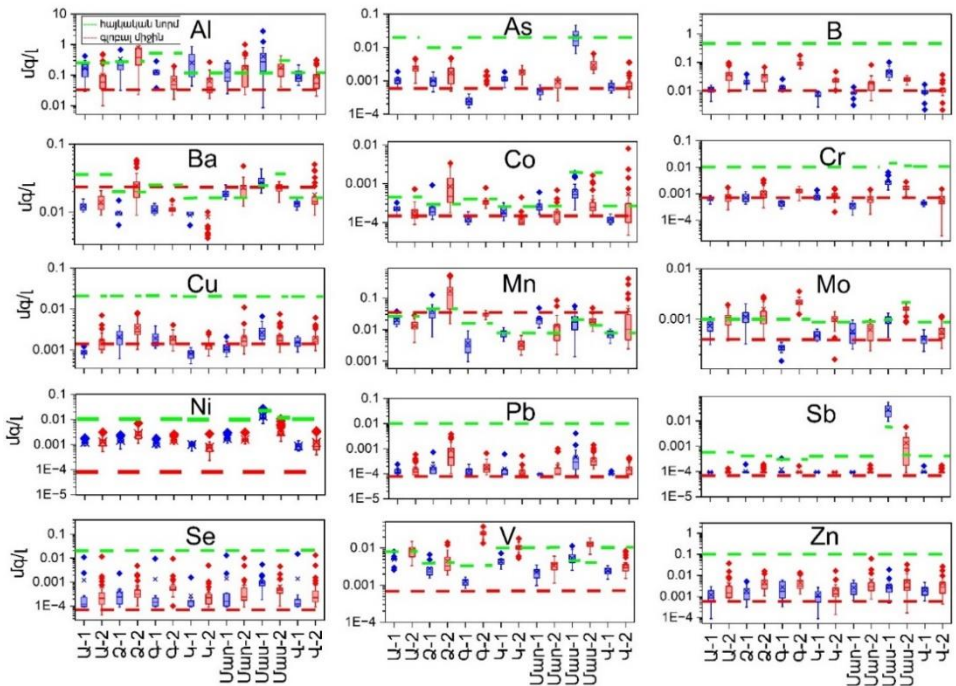
Գծանկար 2. Ուսումնասիրված գետակոհամակարգերի հատակային նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երի քանակական ցուցանիշների հիման վրա իրականացված կլաստերային համեմատական վերլուծություն

Հիմնական բաղադրիչի վերլուծությունը (ՀԲՎ) ցույց է տվել, որ առաջին երկու հիմնական բաղադրիչները բացատրում են հատակային նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երի ընդհանուր փոփոխականության 89,01 %-ը՝ բացահայտելով դրանց տարածական բաշխվածության հիմնական օրինաչափությունները: Վերլուծության արդյունքում առանձնացվել են տարրերի երկու հիմնական երկրաքիմիական խմբեր (Գծ. 3), որոնք արտացոլում են լիթոգեն և մարդածին գործոնների համակցված ազդեցությունը: Մաս-1 և Ձ-2 գետահատվածները բնութագրվել են As, Ba, Mn, Mo, Sb, Cu, Ni և Se տարրերի բարձր պարունակություններով, ինչը վկայում է հանքարդյունաբերական և այլ տարատեսակ մարդածին ազդեցությունների մասին:



Գծանկար 3. Ուսումնասիրված գետակոհամակարգերի հատակային նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երի քանակական ցուցանիշների ՀԲՎ արդյունքները

Ուսումնասիրված գետաեկոհամակարգերի ջրերում լուծված ՀՏ-երի 2023–2025 թթ. պարունակությունները՝ Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաջրերի որակի երկրորդ դասի էկոլոգիական նորմերի ու գետաջրերի համար գրանցված գլոբալ միջին կոցենտրացիաների համեմատությամբ ներկայացված են Գծ. 4-ում: Պարզվել է, որ ՀՏ-երի պարունակությունները հիմնականում աճում են գետերի վերին հոսանքներից դեպի ստորին հատվածներ, իսկ առավել բարձր արժեքներ արձանագրվել են Մաս-1 և Մաս-2, ինչպես նաև Ձ-2 և Գ-2 գետահատվածներում: Այսպիսով, Սևանա լիճ թափվող հիմնական գետերի ջրային միջավայրում ջրալուծված ՀՏ-երի պարունակությունները բնութագրվում են արտահայտված տարածական փոփոխականությամբ, որը պայմանավորված է բնական երկրաքիմիական առանձնահատկությունների և մարդածին ազդեցությունների համակցությամբ: Հատկապես Մասրիկ գետային համակարգում (Մաս-1 և Մաս-2) արձանագրվել են As, Mo, Ni, Sb և V տարրերի առավել բարձր պարունակություններ (Գծ. 4) , ինչը վկայում է Սոթքի ոսկու հանքավայրի հանքարդյունաբերական գործունեության զգալի ազդեցության մասին:



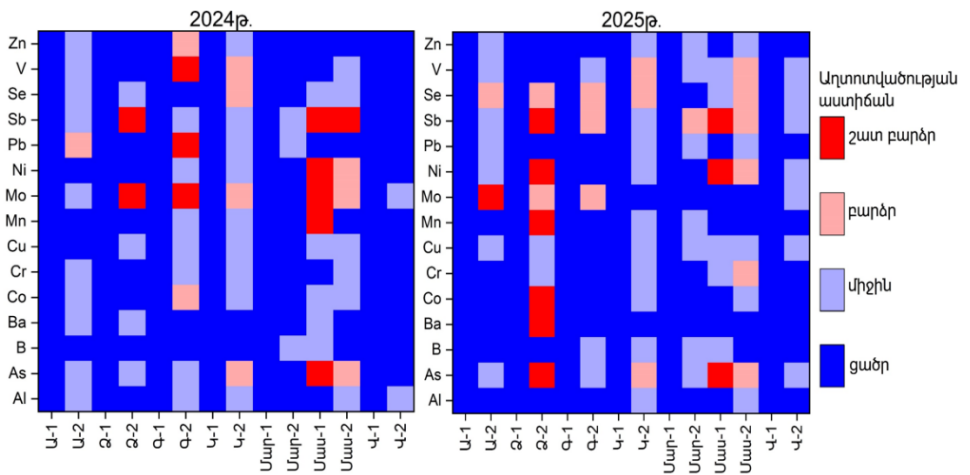
Գծանկար 4. Ուսումնասիրված գետաեկոհամակարգերի ջրերում լուծված ՀՏ-երի 2023–2025 թթ. պարունակությունները

Ընդհանուր առմամբ, ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ Սևանա լիճ թափվող գետերի ջրաքիմիական կազմը ձևավորվում է բնական և մարդածին գործոնների համատեղ ազդեցությամբ, իսկ ստորին գետահատվածները բնութագրվում են աղտոտման նկատմամբ առավել բարձր խոցելիությամբ:

Գետաջրերում լուծված ՀՏ-երի պարունակությունների ՀԲՎ արդյունքները ցույց են տվել, որ առաջին երկու հիմնական բաղադրիչները բացատրում են ընդհանուր

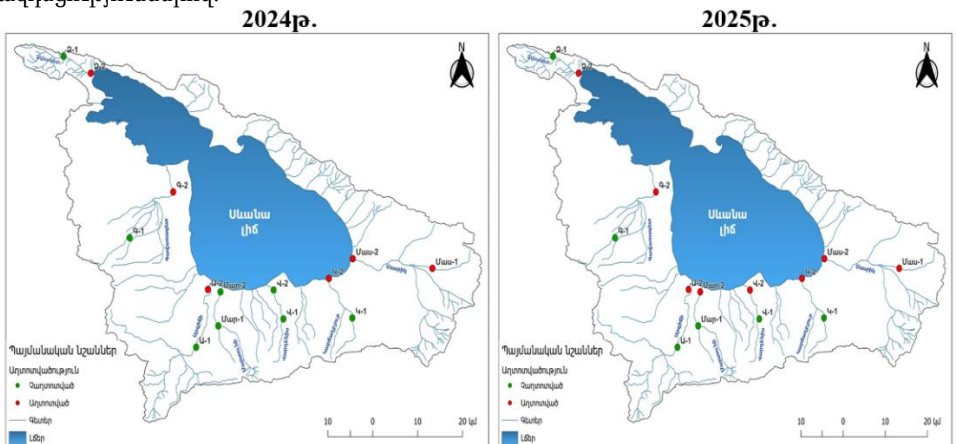
ԳԼՈՒԽ 4. ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՋՐՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆԻ ԳԵՏԵՐՈՒՄ ՊՈՏԵԼՑԻԱԼ
ԿԵԼՍԱՄՍԱՉԵԼԻ ՀՏ-ԵՐՈՎ ՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎՏԱՆԳՆԵՐԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Հատակային նստվածքների ջրալույծ ՀՏ-երով աղտոտվածության՝ աղտոտվածության գործակցի (ԱԳ) արժեքներով կատարված գնահատումը ցուցանշել է աղտոտվածության տարածաժամանակային արտահայտված անհամասեռություն: 2024 թ. ամենաբարձր աղտոտվածությունն արձանագրվել է Մաս-1, իսկ 2025 թ.՝ 2-2 գետահատվածներում (Գծ. 6): Առավել բարձր ԱԳ արժեքներ գրանցվել են As, Ba, Co, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb և V տարրերի դեպքում, ինչը վկայում է այդ տեղամասերում պոտենցիալ կենսամատչելի ՀՏ-երի կուտակման և տեղայնացված էկոլոգիական ռիսկի գոտիների ձևավորման մասին: Աղտոտվածության հիմնական աղբյուրները, հավանաբար, պայմանավորված են հանքարդյունաբերական, ինչպես նաև այլ մարդածին գործունեությամբ, որի հետևանքով ավազանի առանձին ստորին հոսանքներ բնութագրվում են միջինից մինչև շատ բարձր աղտոտվածության մակարդակներով:



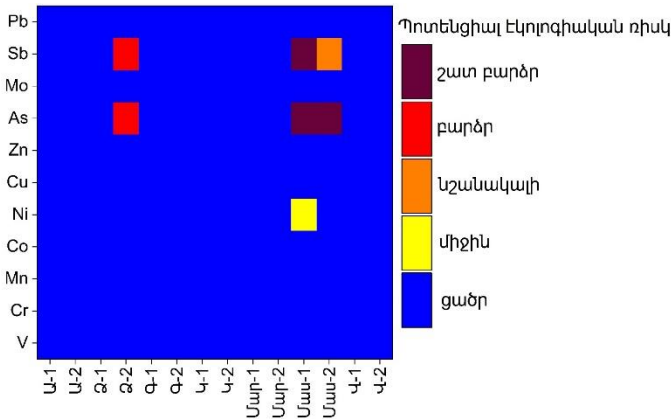
Գծանկար 6. Ուսումնասիրված գետակոհամակարգերի հատակային նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երով աղտոտվածության մակարդակը՝ ըստ ԱԳ արժեքների

Հատակային նստվածքների ջրալույծ ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության՝ բազմատարրային աղտոտվածության ցուցիչի (ԲԱՅ) արժեքներով կատարված գնահատումը հաստատել է աղտոտվածության տարածամասնակային զգալի փոփոխականությունը: 2024 թ. առավել բարձր ԲԱՅ արժեքը գրանցվել են Մաւ-1, իսկ 2025 թ.՝ Չ-2 գետահատվածներում (Գծ. 7), ինչը ցուցանշում է այդ տեղամասերում ՀՏ-երի ինտենսիվ կուտակման և բարձր աղտոտվածության մասին: ԲԱՅ-ի և ԱԳ-ի համադրական գնահատմամբ ավազանի ստորին գետահատվածներում նկատվում է հատակային նստվածքների որակի վատթարացման և էկոլոգիական ռիսկերի աճման միտում՝ պայմանավորված շարունակական մարդածին տարաբնույթ ազդեցություններով:



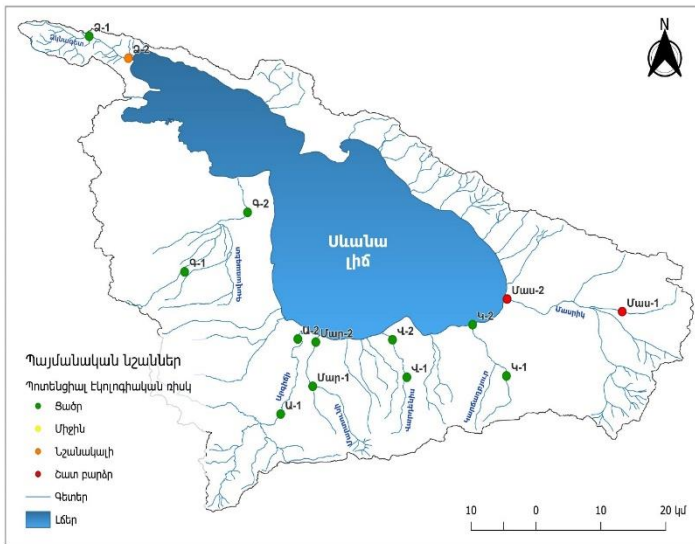
Գծանկար 7. Ուսումնասիրված գետակոհամակարգերի հատակային նստվածքների ջրալույծ ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության տարածական բաշխվածությունը՝ ըստ ԲԱՅ արժեքների

Հատակային նստվածքների ՀՏ-երով աղտոտվածության պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկերի՝ էկոլոգիական ռիսկի գործակցի (ԷՌԳ) արժեքներով կատարված գնահատման արդյունքներով ուսումնասիրված գետահատվածների մեծ մասում գրանցվել է ցածր էկոլոգիական ռիսկայնություն, սակայն Մաս-1, Մաս-2 և Ձ-2 գետահատվածներում՝ բարձր և շատ բարձր ռիսկայնության մակարդակներ (Գծ. 8): Հիմնական ռիսկառաջացնող տարրերը եղել են ջրալույծ As-ը և Sb-ը, որոնց բարձր թունավորությունը և հատակային նստվածքներում կուտակման ունակությունը պայմանավորում են երկարաժամկետ էկոլոգիական վտանգ և երկրորդային աղտոտման հավանականություն:



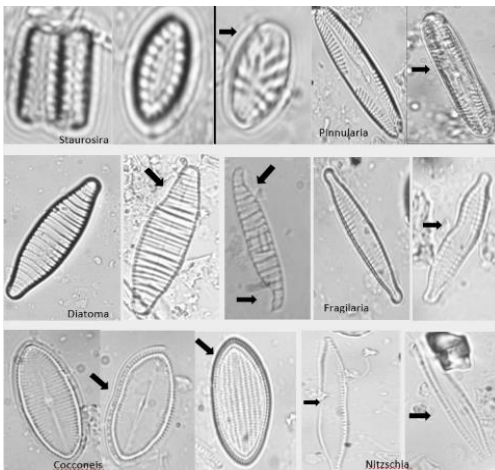
Գծանկար 8. Ուսումնասիրված գետաէկոհամակարգերի հատակային նստվածքների ՀՏ-երով աղտոտվածության պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկերը ըստ ԷՌԳ արժեքների

Հատակային նստվածքների ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկերի՝ պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկի ցուցիչի (ՊԷՌՑ) արժեքներով կատարված գնահատումն ուսումնասիրված գետահատվածների մեծ մասում ցուցանշել է ցածր էկոլոգիական ռիսկայնություն, մինչդեռ Մաս-1, Մաս-2 և Ձ-2 գետահատվածները՝ բնութագրվել են որպես տեղայնացված էկոլոգիական ռիսկի թեժ կետեր՝ համապատասխանաբար շատ բարձր և նշանակալի ռիսկայնությամբ (Գծ. 9): Ստացված արդյունքները վկայում են, որ այս տեղամասերում ՀՏ-երի կուտակումը կարող է բացասաբար ազդել հատակային կենսահամակեցությունների կառուցվածքի, բազմազանության և էկոհամակարգի կայունության վրա:



Գծանկար 9. Ուսումնասիրված գետա-էկոհամակարգերի հատակային նստվածքների ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկերի տարածական բաշխվածությունը՝ ըստ ՊԷՌՑ արժեքների

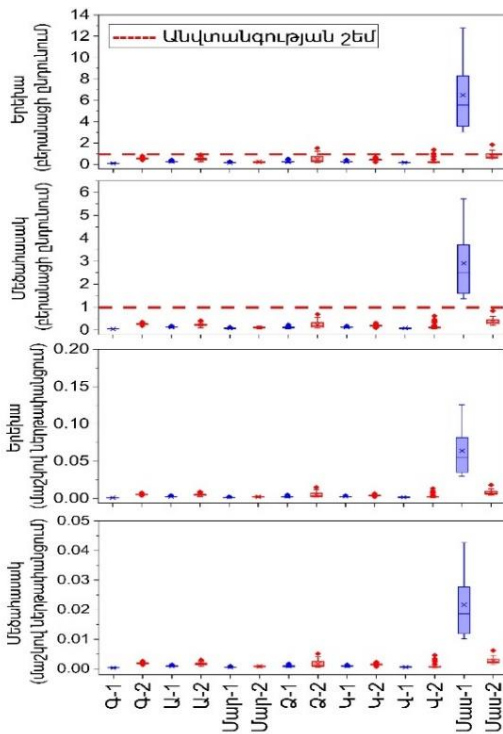
Այս համատեքստում իրականացված միկրոֆիտոբենթոսային համակեցության դիատոմային ջրիմուռների ձևաբանական ուսումնասիրությունները բացահայտել են ձևախեղված փեղկերով առանձնյակների առկայություն, որը կազմել է ընդհանուր դիտարկված միկրոջրիմուռների շուրջ 0,5%-ը, իսկ առավել հաճախ արձանագրվել են Մաւ-1 (2024 թ.) (1,3%), 2-2 (2025 թ.) (3%) և Գ-2 (2024 թ.) (0,8%) գետահատվածներում (Գծ. 10): Ձևախեղումները դիտվել են *Achnanthes*, *Diatoma*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Stauroneis*, *Nitzschia* և *Navicula* ցեղերի ներկայացուցիչների մոտ և համընկել են ՀՏ-երով առավել բարձր աղտոտվածության ու առավել բարձր էկոլոգիական ռիսկի գոտիների հետ: Ստացված արդյունքները վկայում են, որ դիատոմային ջրիմուռների ձևաբանական շեղումները կարող են ծառայել որպես ՀՏ-երով պայմանավորված մարդածին ազդեցության զգայուն կենսացուցիչներ:



Գծանկար 10. Մաւ-1, Գ-2 և 2-2 գետահատվածներում ձևափոխված փեղկերով դիատոմային միկրոջրիմուռների որոշ արձանագրված առանձնյակներ

Սևանա լճի ջրհավաք ավազանի գետաջրերում լուծված ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության՝ Նեմերովի աղտոտվածության ցուցիչի (ՆԱՑ) արժեքներով գնահատումը ցույց է տվել աղտոտվածության արտահայտված տարածական տարբերակվածություն: Մասնավորապես, վերին գետահատվածները հիմնականում բնութագրվել են չաղտոտված կամ սահմանային աղտոտվածությամբ, մինչդեռ ստորին գետահատվածներում արձանագրվել է թույլից մինչև ուժեղ աղտոտվածություն: Առավել բարձր ՆԱՑ արժեքներ գրանցվել են Գ-2, Վ-2, Մաս-1, Ձ-2 և Մաս-2 գետահատվածներում (Գծ. 11), ինչը ցուցանշում է մարդածին ուժգին ազդեցությունների և լուծված ՀՏ-երով պայմանավորված էկոլոգիական վտանգների առկայության մասին: Աղտոտվածության երկայնական օրինաչափությունը ցույց է տալիս, որ գետերը կարող են հանդիսանալ դեպի Սևանա լիճ ՀՏ-երի տեղափոխման ուղիներ:

Գծանկար 11. Ուսումնասիրված գետաեկոհամակարգերի ջրային միջավայրում լուծված ՀՏ-երով աղտոտվածության տարածական, բաշխվածությունը՝ ըստ ՆԱՑ բազմամյա միջին արժեքների (2023–2025 թթ.)



ՔՃԱՆԿԱՐ 12. Ուսումնասիրված գետաջրերում լուծված ՀՏ-երի 2023–2025 թթ. ՎՑ ցուցանիշները՝ անվտանգության շեմային արժեքի (1) համեմատությամբ

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

- Սևանա լճի ջրիավաք ավազանի գետային էկոհամակարգերում հետքային տարրերի (ՀՏ) բաշխվածությունն ունի արտահայտված տարածական տարասեռություն՝ պայմանավորված երկրաքիմիական պայմանների և մարդածին ազդեցությունների համակցված ազդեցությամբ.
- վերին գետահոսանքները, հատկապես նստվածքներում ջրալույծ ՀՏ-երի 0,003–14,702 մգ/կգ, իսկ ջրային միջավայրում լուծված ՀՏ-երի <0,0001–0,0384 մգ/լ պարունակությամբ, հիմնականում արտացոլում են հրաբխային և ուլտրամաֆիկ կազմավորումների լիթոլոգիայով պայմանավորված երկրաքիմիական ֆոնային պայմաններ,
- ստորին հոսանքները՝ համապատասխանաբար 0,005–91,838 մգ/կգ և <0,0001–0,1753 մգ/լ պարունակությամբ, ցուցաբերում են մարդածին տարրերի քանակական զգալի ավելացում՝ պայմանավորված հանքարդյունաբերական, գյուղատնտեսական, կենցաղային կեղտաջրերի և տեղայնացված արդյունաբերական գործունեությունների ազդեցությամբ:
- Գետաէկոհամակարգերի հատկապես նստվածքներում աղտոտվածության գործակցի (ԱԳ) արժեքները բացահայտել են Սոթք, Մասրիկ, Գավառագետ և Ձկնագետ գետերի ստորին հոսանքները որպես որոշ ջրալույծ ՀՏ-երով

աղտոտվածության թեժ կետեր: Գետահատվածներում դիտվել է էկոլոգիական տեսանկյունից միջին–շատ բարձր աղտոտվածության մակարդակ՝ համապատասխանաբար 1,01–202,19, 1,01–12,82, 1,23–16,21 և 1,01–230,04 ԱԳ արժեքներով:

3. Գետերի հատակային նստվածքներում բազմատարրային աղտոտվածության ցուցիչի (ԲԱՑ) արժեքներով գնահատված ջրալույծ ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության էկոլոգիական տեսանկյունից անցանկալի մակարդակներ հայտնաբերվել են Ձկնագետ, Գավառագետ, Արգիճի, Կարճաղբյուր, Մասրիկ և Սոթք գետերի ստորին գետահատվածներում՝ համապատասխանաբար 2,18–19,99, 1,67–3,90, 1,66–3,04, 2,10–2,14, 2,49–2,82 և 10,51–17,99 ԲԱՑ արժեքներով:
4. Գետերի հատակային նստվածքներում էկոլոգիական ռիսկի գործակցի (ԷՌԳ) արժեքներով ցուցանշվող միջին–շատ բարձր էկոլոգիական ռիսկեր բացահայտվել են Սոթք, Մասրիկ և Ձկնագետ գետերի ստորին հոսանքներում՝ պայմանավորված Ni (40,97), As (275,67–6530,27) և Sb (111,13–530,64) տարրերով:
5. Գետերի հատակային նստվածքներում պոտենցիալ էկոլոգիական ռիսկի ցուցիչի (ՊԷՌՑ) արժեքներով ցուցանշվող բազմատարրային աղտոտվածության շատ բարձր էկոլոգիական ռիսկեր բացահայտվել են Սոթք և Մասրիկ գետերի (համապատասխանաբար 7145,42 և 2375,18), իսկ նշանակալի էկոլոգիական ռիսկեր՝ Ձկնագետ (456,32) գետի ստորին հոսանքներում:
6. Գետաէկոհամակարգերում հատակային դիատոմային միկրոօրգանիզմների ձևաբանական ուսումնասիրությունները ջրալույծ ՀՏ-երով աղտոտվածության ամենաբարձր մակարդակներով և էկոլոգիական ռիսկերով բնութագրվող Սոթք և Ձկնագետ գետերի ստորին հոսանքներում բացահայտել են ձևախեղված փեղկերով դիատոմային միկրոօրգանիզմների (*Achnanthes*, *Diatoma*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Staurosira*, *Nitzschia*, *Navicula*) տարբեր ներկայացուցիչներ, որոնք կազմել են տվյալ տեղամասերում ընդհանուր դիտարկված միկրոօրգանիզմների համապատասխանաբար 1,3% և 3%:
7. Գետաջրերում վտանգի ցուցիչի (ՎՑ) արժեքները բացահայտել են Սոթք գետի ստորին հոսանքի ջրում լուծված ՀՏ-երով պայմանավորված ոչ քաղցկեղածին առողջական ռիսկեր ($ՎՑ > 1$) ինչպես երեխաների, այնպես էլ մեծահասակների համար՝ ջուրը խմելու նպատակով օգտագործման դեպքում՝ 1,36–12,78 ՎՑ արժեքներով: Միաժամանակ, առանձին տարրերի համար հաշվարկված վտանգի գործակցի (ՎԳ) արժեքները ցույց են տվել, որ նման ռիսկերը ($ՎԳ > 1$) կարող են պայմանավորված լինել նույնիսկ միայն ջրալույծ As-ով (0,43–6,83) կամ Sb-ով (0,48–6,22) աղտոտվածությամբ:
8. Գետաէկոհամակարգերի ջրային միջավայրում Նեմերովի աղտոտվածության ցուցիչի (ՆԱՑ) արժեքներով գնահատված լուծված ՀՏ-երով համալիր աղտոտվածության էկոլոգիական տեսանկյունից անցանկալի մակարդակ (ուժեղ աղտոտված) արձանագրվել է Գավառագետ, Վարդենիս, Ձկնագետ, Սոթք և Մասրիկ գետերի ստորին հոսանքներում՝ համապատասխանաբար 5,25, 4,58, 3,39, 4,07 և 3,30 ՆԱՑ արժեքներով:

1. Khachatryan G. Assessment of heavy metal pollution in the Sotk and Dznaget rivers (Armenia). *Proceedings of the Yerevan State University, Series B: Chemical and Biological Sciences*, 60(1(268)), **2026**, pp. 40–50. <https://doi.org/10.46991/PYSUB.2026.60.1.040>
2. Khachatryan G., Gevorgyan A.M., Vaseashta A., Misakyan A., Rinke K., Gevorgyan A.H., Ghukasyan L., Gevorgyan G. Climate change and thermal dynamics of the Lake Sevan Basin (Armenia): observational insights and future projections. *Water*, 18(3), **2026**, Article 352. <https://doi.org/10.3390/w18030352>
3. Khachatryan G., Vaseashta A., Gevorgyan G. Sources and impacts of microplastics in aquatic environment and remediation strategies. In: Vaseashta A., Klavins M., Stabnikova O. (Eds.), *Micro and Nanoplastics in Aquatic Environment*. CRC Press, **2025**, pp. 174–201. <https://doi.org/10.1201/9781003389460-6>
4. Khachikyan T., Vaseashta A., Khachatryan G., Gevorgyan G. Protecting Water and Wastewater Critical Infrastructure from Hybrid Threats. In: Radu D., Hukić M., Vaseashta A. (eds.). *Countering Hybrid Threats Against Critical Infrastructures. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics*. Springer, Dordrecht, **2025**, pp. 177–194. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2304-4_11

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА
ОЗЕРА СЕВАН СЛЕДОВЫМИ ПОТЕНЦИАЛЬНО БИОДОСТУПНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

ՎԱՇԱՏԻԱՆ ԳՐԱԽԱՆԱՅԻ

РЕЗЮМЕ

В последние десятилетия загрязнение пресноводных экосистем следовыми элементами (СЭ) стало одной из наиболее значимых экологических проблем во всем мире. СЭ поступают в речные экосистемы как в результате естественных процессов, так и вследствие антропогенной деятельности. Особую экологическую опасность представляют потенциально биодоступные СЭ благодаря их высокой подвижности, биодоступности, устойчивости и способности накапливаться в водных организмах и донных отложениях, создавая угрозу для экосистем и здоровья человека.

Целью диссертационной работы является оценка экологического состояния рек водосборного бассейна озера Севан с точки зрения загрязнения потенциально биодоступными СЭ донных отложений и растворенными СЭ речных вод, а также оценка экологических и неканцерогенных рисков для здоровья населения, связанных с данным загрязнением.

Полевые исследования проводились на основных реках водосборного бассейна озера Севан в 2024 и 2025 годах. Пробы воды и донных отложений были отобраны в верхних и нижних участках рек, впадающих в озеро Севан. Содержание потенциально

биодоступных СЭ в донных отложениях и растворенных СЭ в воде определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP–MS). Уровень загрязнения оценивался с использованием коэффициента загрязнения (КЗ), индекса суммарной загрязненности (ИСЗ), индекса загрязнения Немерова (ИЗН), коэффициента потенциального экологического риска (ЭР) и интегрального индекса потенциального экологического риска (ИПЭР). Для выявления пространственных закономерностей и возможных источников загрязнения были применены иерархический кластерный анализ (ИКА) и метод главных компонент (МГК). Оценка неканцерогенных рисков для здоровья человека проводилась с использованием коэффициента опасности (КО) и суммарного индекса опасности (СИО) при кожном контакте и пероральном поступлении. В качестве биологических индикаторов экологического стресса исследовались морфологические аномалии бентосных диатомовых водорослей.

Полученные результаты продемонстрировали выраженную пространственную неоднородность загрязнения СЭ в пределах всего бассейна. Потенциально биодоступные СЭ накапливались преимущественно в нижних участках рек, тогда как верховья в большинстве случаев характеризовались слабым загрязнением или оставались незагрязненными. Наиболее высокие уровни загрязнения донных отложений были зарегистрированы в реке Сотк (участок Мас-1) в 2024 году и в реке Дззнагет (участок Дзк-2) в 2025 году. Повышенные концентрации As, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb и V свидетельствуют о формировании локальных очагов загрязнения, связанных главным образом с деятельностью горнодобывающей промышленности и другими антропогенными источниками. ИСЗ подтвердил значительную пространственную и временную изменчивость качества донных отложений. Участки Мас-1 и Дзк-2 характеризовались наиболее высоким интегральным уровнем загрязнения, что указывает на прогрессирующее ухудшение качества донных отложений под воздействием постоянной антропогенной нагрузки.

Оценка экологических рисков показала, что большинство исследованных участков рек характеризуются низким уровнем экологического риска. Однако участки Мас-1, Мас-2 и Дзк-2 отличались высоким и очень высоким уровнем экологического риска, обусловленным главным образом As и Sb. Эти элементы обладают высокой способностью к длительному накоплению в донных отложениях и при изменении условий окружающей среды могут становиться вторичными источниками загрязнения. СИО также определила данные участки как локальные экологически опасные зоны, где накопление СЭ может негативно влиять на бентосные сообщества, биоразнообразие и функционирование водных экосистем.

Оценка содержания растворенных СЭ с использованием ИЗН выявила четко выраженное увеличение загрязнения воды по направлению от верхних к нижним

участкам рек. Наиболее высокие уровни загрязнения были зарегистрированы на участках Г-2, В-2, Мас-1, Дзк-2 и Мас-2, что отражает совокупное влияние горнодобывающей деятельности, сельского хозяйства и других антропогенных факторов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные нами реки могут служить важными путями переноса СЭ в озеро Севан. Оценка неканцерогенного риска для здоровья человека показала, что воздействие речной воды при каждом контакте не представляет существенной опасности ни для взрослых, ни для детей. В то же время при пероральном поступлении были выявлены повышенные риски для здоровья на участке Мас-1, где СИО превысил допустимый уровень, особенно для детей. Основной вклад в формирование неканцерогенного риска вносили As и Sb, что обусловлено их высокой токсичностью и биодоступностью.

Морфологический анализ бентосных диатомовых водорослей выявил аномалии развития кремнеземных панцирей преимущественно на участках Мас-1 (2024 г.) (1.3%), Дзк-2 (2025 г.) (3%) и Г-2 (2024 г.) (0.8%). Деформированные створки были обнаружены у представителей родов *Achnanthisidium*, *Diatoma*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Staurosira*, *Nitzschia* и *Navicula*. Пространственное совпадение морфологических аномалий диатомовых водорослей с зонами повышенного загрязнения СЭ свидетельствует о том, что данные нарушения могут служить чувствительными биологическими индикаторами антропогенного экологического стресса.

Результаты ИКА и МГК продемонстрировали четкие пространственные различия в композициях СЭ на исследованных участках рек и подтвердили, что распределение определяется как геологическими особенностями бассейна, так и антропогенной деятельностью, прежде всего горнодобывающей промышленностью. Многомерный статистический анализ позволил выявить локальные зоны загрязнения и установить взаимосвязь между СЭ и вероятными источниками их поступления.

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что нижние участки некоторых рек водосборного бассейна озера Севан подвергаются умеренному, высокому, а в отдельных случаях — очень высокому загрязнению потенциально биодоступными СЭ. Основным источником загрязнения является деятельность горнодобывающей промышленности, тогда как сельскохозяйственные и коммунальные источники оказывают преимущественно локальное воздействие.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF POTENTIALLY BIOAVAILABLE TRACE ELEMENT CONTAMINATION IN THE RIVERS OF THE LAKE SEVAN CATCHMENT BASIN

KHACHATRYAN GOR ARMEN

SUMMARY

In recent decades, contamination of freshwater ecosystems by trace elements (TEs) has become one of the most significant environmental problems worldwide. TEs enter river ecosystems through both natural processes and anthropogenic activities. Potentially bioavailable TEs pose a particular environmental concern due to their high mobility, bioavailability, persistence, and ability to accumulate in aquatic organisms and bottom sediments, thereby posing a threat to ecosystem integrity and human health.

The aim of this dissertation is to assess the ecological status of the rivers within the Lake Sevan catchment basin with respect to contamination by potentially bioavailable TEs in bottom sediments and dissolved TEs in river waters, as well as to evaluate the associated ecological risks and non-carcinogenic human health risks arising from this contamination.

Field investigations were conducted in the major rivers of the Lake Sevan catchment basin during 2024 and 2025. Water and bottom sediment samples were collected from the upper and lower reaches of the rivers flowing into Lake Sevan. Concentrations of potentially bioavailable TEs in bottom sediments and dissolved TEs in river water were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Pollution levels were assessed using the contamination factor (CF), pollution load index (PLI), Nemerow pollution index (NPI), potential ecological risk factor (ER), and potential ecological risk index (PERI). Hierarchical cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA) were applied to identify spatial patterns and potential sources of contamination. Non-carcinogenic human health risks were evaluated using the hazard quotient (HQ) and hazard index (HI) for both dermal exposure and oral ingestion pathways. Morphological abnormalities of benthic diatoms were investigated as biological indicators of ecological stress.

The obtained results demonstrated pronounced spatial heterogeneity in TE contamination throughout the catchment basin. Potentially bioavailable TEs accumulated predominantly in the lower reaches of the rivers, whereas the upper reaches were generally characterized by low levels of contamination or remained uncontaminated. The highest levels of bottom sediment contamination were recorded in the Sotk River (Mas-1 site) in 2024 and the Dzknaget River (Dzk-2 site) in 2025. Elevated concentrations of As, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, and V indicate the presence of localized contamination hotspots, primarily associated with mining activities and other anthropogenic sources. The PLI confirmed considerable spatial and temporal variability in bottom sediment quality. The Mas-1 and Dzk-2 sites exhibited the highest overall levels of contamination, indicating a progressive deterioration in sediment quality under the

influence of sustained anthropogenic pressure.

The assessment of ecological risks showed that the majority of the investigated river sites were characterized by a low level of ecological risk. However, the Mas-1, Mas-2, and Dzk-2 sites exhibited high and very high ecological risk levels, primarily associated with As and Sb. These elements have a high potential for long-term accumulation in bottom sediments and may become secondary sources of contamination under changing environmental conditions. The integrated ecological risk assessment also identified these sites as localized environmentally hazardous zones, where TE accumulation may adversely affect benthic communities, biodiversity, and the functioning of aquatic ecosystems.

The assessment of dissolved TEs using the NPI revealed a clearly pronounced increase in water contamination from the upper to the lower reaches of the rivers. The highest levels of contamination were recorded at the G-2, V-2, Mas-1, Dzk-2, and Mas-2 sites, reflecting the combined influence of mining activities, agriculture, and other anthropogenic factors.

The assessment of non-carcinogenic human health risks demonstrated that exposure to river water through dermal contact does not pose a significant risk to either adults or children. However, increased health risks were identified through oral ingestion at the Mas-1 site, where the total HI exceeded the acceptable level, particularly for children. The main contributors to the formation of non-carcinogenic risks were As and Sb, which is attributed to their high toxicity and bioavailability.

Morphological analysis of benthic diatoms revealed developmental abnormalities of siliceous frustules, primarily at the Mas-1 site in 2024 (1.3%), the Dzk-2 site in 2025 (3%), and the G-2 site in 2024 (0.8%). Deformed valves were detected in representatives of the genera *Achnanthes*, *Diatoma*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Staurosira*, *Nitzschia*, and *Navicula*. The spatial coincidence of diatom morphological abnormalities with areas of elevated TE contamination indicates that these alterations may serve as sensitive biological indicators of anthropogenic ecological stress.

The results of HCA and PCA demonstrated clear spatial differences in TE compositions among the investigated river sites and confirmed that their distribution is determined by both the geological characteristics of the catchment basin and anthropogenic activities, primarily mining operations. Multivariate statistical analysis enabled the identification of localized contamination zones and established relationships between TEs and their potential sources of input.

Overall, the obtained results indicate that the lower reaches of some rivers within the Lake Sevan catchment basin are subjected to moderate, high, and, in certain cases, very high levels of contamination by potentially bioavailable TEs. Mining activities represent the primary source of contamination, whereas agricultural and municipal sources exert mainly localized impacts.

