

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄՈՎԱՍԻՍՅԱՆ ՆՈՆԱ ԷԴԻԿԻ

ՔՆԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԽՆԱԾԻՆ ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾԱՔԱՇԽՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԱՐԱԳԱԾԻ ԼԵՌՆԱԶԱՆԳՎԱԾՈՒՄ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2025

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

Գիտական ղեկավար՝

Կենս. գիտ. թեկնածու

Բելյակա Օլգա Ալեքսանդրի

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

աշխ. գիտ. դոկտոր

Սայադյան Հովիկ Յախշիբեկի

աշխ. գիտ. թեկնածու

Գրիգորյան Արսեն Թորգոմի

Առաջատար կազմակերպություն՝
պետական համալսարան» հիմնադրամ

«Շիրակի Մ. Նալբանդյանի անվան

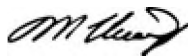
Պաշտպանությունը կայանալու է 2025 թ. մարտի 5-ին, ժամը 14:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող «Երկրագիտության» մասնագիտական խորհրդի (թվանիշ 005) նիստում:

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

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Երևանի պետական համալսարանի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2025 թ. հունվարի 29-ին:

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



S.A. Սարգսյան

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Արենախոսական թեմայի արդիականությունը. Շրջակա միջավայրի բնական ու տեխնաձին ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասիրումը հիմնարար նշանակություն ունի ռադիոէկոլոգիական հետազոտություններում և մեծ ուշադրության է արժանանում գլոբալ առումով: Ռադիոնուկլիդները, անկախ առաջացման աղբյուրից, զգալի ազդեցություն ունեն էկոհամակարգերի վրա. շրջակա միջավայրում առկա բնական ռադիոակտիվության երկրաժամկետ ազդեցությունը համադրվում է արհեստական աղբյուրներից տեխնաձին ռադիոնուկլիդների ներդրմամբ՝ հանգեցնելով բնական ռադիոակտիվ ֆոնի փոփոխմանը և ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված ռիսկի մեծացմանը: Ուստի, անհրաժեշտություն է առաջանում ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասիրմանը ուղղված հետազոտություններ՝ ռադիոակտիվության երկրաժամկետ ազդեցությունները հասկանալու, էկոհամակարգերի կայունության, և առհասարակ գլոբալ մասշտաբով շրջակա միջավայրի ռադիացիոն անվտանգության ապահովման նպատակով:

Հայաստանի Հանրապետության (<<) տարածքում ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների արդիականությունը պայմանավորվում է մի շարք գործոններով: Առաջին հերթին, << բարդ երկրաբանական կառուցվածքում գերակայում են հրաբխաձին ապարները, որոնք բնութագրվում են բնական ռադիոնուկլիդների համեմատաբար բարձր պարունակություններով, միևնույն ժամանակ << շրջակա միջավայրում բնական ռադիոակտիվության վերաբերյալ տվյալները սակավ են: Մյուս կողմից, << զբաղեցրած աշխարհագրական դիրքը ու բարդ ռելիեֆը՝ լեռնային լանդշաֆտների գերակշռությամբ, նպաստավոր պայմաններ են ստեղծում մթնոլորտային հոսքերով տեղափոխվող ռադիոնուկլիդների վերաբաշխման համար: << ռադիոակտիվ բնական ֆոնին ավելանում է նաև տեխնաձին գործոն՝ ատոմային էներգետիկ համալիրի առկայությունը, որը տեղակայված է Արագած լեռնազանգվածի հարավային լանջին հարակից: Բացի այդ, տարածաշրջանում ակտիվորեն զարգանում են միջուկային տեխնոլոգիաները և իրականացվում են ատոմային էներգետիկայի զարգացման ծրագրեր, որը ևս միջասիանային ռադիոակտիվ աղտոտման պոտենցիալ գործոն է հանդիսանում: Ուստի, ռադիոէկոլոգիական թիրախավորված հետազոտությունները դառնում են առաջնահերթություն՝ լուծելով թե՛ գիտական խնդիրներ, թե՛ ապահովելով տեղեկատվություն ռադիացիոն անվտանգության տեսանկյունից, քանի որ ռադիացիոն ռիսկերի մասին պատկերացումները հանրության կողմից հաճախ թյուր է ընկալվում:

Լեռնային տարածքների ֆիզիկաաշխարհագրական առանձնահատկությունները, ինչպիսիք են ռելիեֆը, բարձրությունը, կլիման և այլ գործոններ, ազդում են շրջակա միջավայրում ռադիոնուկլիդների միգրացիայի՝ ցրման, նստեցման,

կուտակման և տեղափոխման վրա: Շնորհիվ մթնոլորտային, ջրաբանական և երկրաբանական գործընթացների մեծ ինտենսիվության, լեռնային տարածքները դառնում են ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների առանցքային օբյեկտներ: ՀՀ ամենաբարձր կետի՝ Արագած լեռնազանգվածի համար, այդ բնութագրերին գումարվում է նաև ստորերկրյա ջրաղբյուրների և միջսահմանային գետերի ակունքների ձևավորումը, ինչպես նաև հարավային լանջին հարակից տեղակայված, տարածաշրջանում և ՀՀ-ում միակ Հայկական ատոմային էլեկտրակայանի (ՀԱԷԿ) առկայությունը, որը շեշտում է ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների կարևորությունը ոչ միայն տեղական, այլ նաև տարածաշրջանային առումով:

Բնական ու տեխնածին ռադիոակտիվության տարածաբաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասիրումը, տարածաժամանակային դինամիկայի գնահատումը ՀՀ տարածքի համար դեռևս ամբողջական չէ: Այդ նպատակով, սույն աշխատանքում Արագած լեռնազանգվածի օրինակով իրականացվել են ռադիոէկոլոգիական հետազոտություններ՝ արդի մոտեցումներով և գործիքակազմով: Հետազոտություններն ընդգրկել են տարբեր բաղադրիչներ և ուղղված են ռադիոակտիվ ֆոնի նկարագրմանը, աղբյուրների նույնականացմանը, ռադիոակտիվության հետագա փոփոխությունները և ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված ռիսկերը գնահատելուն: Առավել կարևոր է ստացված արդյունքների կիրառումը ռադիոնուկլիդների ազգային մոնիթորինգի կազմակերպման և ռադիացիոն անվտանգության վաղ ահազանգման համակարգի ստեղծման համար:

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները. Հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել բնական ու տեխնածին ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման առանձնահատկությունները Արագած լեռնազանգվածում: Նպատակին հասնելու համար առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները՝

1. Մթնոլորտային թաց և չոր նստեցումներում, մամուռներում բնական ու տեխնածին ռադիոնուկլիդների ակտիվության որոշում և տարածաժամանակային փոփոխությունների գնահատում:
2. Հողի վերին և ստորին շերտերում, հատակային նստվածքներում և ողողատի հողում բնական ու տեխնածին ռադիոնուկլիդների ակտիվության որոշում, տարածական բաշխվածության ուսումնասիրում:
3. Հողի ռադիոլոգիական և երկրաքիմիական ցուցանիշների, ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված էկոլոգիական և առողջական ռիսկերի գնահատում և տարածական բաշխվածության ուսումնասիրում:

Պաշտպանվող հիմնական դրույթները.

1. Գլոբալ մթնոլորտային նստեցումները Cs-137-ի հիմնական աղբյուրն են Արագած լ-ում, քանի որ հետազոտվող բոլոր օբյեկտներում դիտվել է ըստ բարձրության բաշխվածության օրինաչափություն: 2016-2021 թթ. Cs-137-ի

արտանետման գլոբալ առումով նշանակալի/նոր աղբյուր չի գրանցվել, այդուհանդերձ այն դեռևս ենթարկվում է անդրասահմանային տեղափոխության:

2. Արագած է-ի հողերը բնական ռադիոնուկլիդների առումով հանդիսանում են ֆոնային՝ հաշվի առնելով ա) ռադիոնուկլիդների ակտիվության համաչափ աճը հողի վերին շերտից խորքային շերտեր, բ) բոլոր ռադիոնուկլիդների երկրակուտակման գործակցի ցածր արժեքները ($I_{geo} < 0$)՝ գործնականորեն չադտոտված, գ) Th/Ra գերակայող բնական էլեմենտար հարաբերակցության՝ 3.89-ին մոտ պահպանումը:
3. Արագած է-ի հողերից մարդու՝ ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված դոզայի, և հետևաբար քաղցկեղածին ռիսկի ձևավորման մեջ ամենամեծ մասնաբաժինն ունի $Th-232$ ռադիոնուկլիդը, իսկ Արագած է-ի մնացած բիոտայի համար ռիսկը պայմանավորում է հիմնականում $Ra-226$ -ը:

Աշխարանքի գիտական նորոյթը. Սույն աշխատանքում առաջին անգամ՝

- ✓ Կիրառվել է ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդը՝ Արագած է-ի հողերում տեխնածին $Cs-137$ -ի՝ ըստ բարձրության բաշխվածության մոդելի ստացման նպատակով, և որոշվել $Cs-137$ -ի հիմնագծային ակտիվությունը,
- ✓ Ուսումնասիրվել են Արագած է-ի հողերում բնական ռադիոնուկլիդների բաշխվածության առանձնահատկությունները և բնորոշվել ռադիոնուկլիդների վարքը,
- ✓ Բացահայտվել են Արագած է-ի հողից ռադիոակտիվ դոզան ձևավորող հիմնական ռադիոնուկլիդները՝ Մոնտե Կառլո զգայունության վերլուծության հիման վրա,
- ✓ Իրականացվել է Արագած է-ի բիոտայի համար էկոլոգիական ռիսկի գնահատում՝ Եվրատոմի կողմից մշակած գործիքակազմով, բացահայտվել են դոզան ձևավորող առաջնային ռադիոնուկլիդները:

Աշխարանքի փաստացի նյութը. Աշխատանքն իրականացվել է ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոնում (այսուհետ՝ Էկոկենտրոն), օգտագործվել են Էկոկենտրոնի նյութատեխնիկական հնարավորությունները: Աշխատանքի փաստացի նյութ են հանդիսացել Էկոկենտրոնի Ռադիոէկոլոգիա բաժնի կողմից իրականացված և ՀՀ ԿԳՄՄՆ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից ֆինանսավորված հետևյալ ծրագրերը՝ 1. «Ռադիոէկոլոգիական մոնիթորինգ Հայաստանի Հանրապետության տարածքում» թեմատիկ նախագիծ (2016-2018 թթ., ծածկագիր՝ 15T-1E061), 2. «Հայաստանի տարածքի ռադիոէկոլոգիական մոնիթորինգ. փուլ երկրորդ» (2018-2020 թթ., ծածկագիր՝ 18T-1E311) թեմատիկ նախագիծ, 3. «Արագած լեռնազանգվածում ռադիոէկոլոգիական իրավիճակի գնահատման նորարարական մոտեցումներ. ռադիոնուկլիդային ֆոն և հիմնագիծ, միգրացիա և ռիսկ» (2020-2023 թթ., ծածկագիր՝ 20AA-1E017) ասպիրանտների աջակցության

ծրագիր, վերջինս ղեկավարել է սույն աշխատանքի հեղինակը: Հեղինակը անմիջական մասնակցություն է ունեցել դաշտային և լաբորատոր աշխատանքների ստանդարտ օպերացիոն ընթացակարգերի (ՍՕԸ) մշակման, նմուշառման, նմուշների լաբորատոր նախնական մշակման, գամմա սպեկտրաչափության, արդյունքերի վերլուծության և ամփոփման աշխատանքներին: Հետազոտության փաստացի նյութերի (մասնավորապես՝ հողեր) վիճակագրական վերլուծությունն իրականացվել է հեղինակի կողմից՝ Իտալիայի Նեապոլ քաղաքի Ֆեդերիկո II-ի անվան համալսարանի «Երկրի, շրջակա միջավայրի և ռեսուրսների գիտությունների» բաժնում Էրազմուս+ K107 ծրագրի շրջանակներում: Հետազոտության արդյունքների հիման վրա տրամադրված նյութով ("Radioecological monitoring as an early warning system component of national and regional importance" թեմայով) աշխատանքի հեղինակը «Գիտության և տեխնոլոգիայի միջազգային կենտրոնի» (ISTC) 25-րդ ամյակի առթիվ կազմակերպված երիտասարդ գիտնականների մրցույթին զբաղեցրել է առաջին տեղը:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը. Հետազոտության արդյունքները ներառվել են ՀԱԷԿ-ի Շրջակա միջավայրի ռադիացիոն պաշտպանության լաբորատորիայի եռամսյա և տարեկան հաշվետվություններում՝ ծառայելով որպես ֆոնային կարևոր տեղեկատվություն, ինչպես նաև ընդգրկվել են Ատոմային Էներգիայի Միջազգային Գործակալությանը (ԱԷՄԳ) տրված հաշվետվություններում: Տրամադրված տեղեկատվության հիման վրա ՀԱԷԿ-ի կողմից տրվել է տեղեկանք: Աշխատանքի արդյունքները կարող են կիրառվել նաև՝

- ✓ Գյուղատնտեսության մեջ հողի էրոզիան ուսումնասիրելու համար՝ հիմնվելով մթնոլորտով տեղափոխվող Cs-137, Be-7 ռադիոնուկլիդների ակտիվության վրա:
- ✓ Արագած Լ-ի գյուղատնտեսական հողերում/արոտավայրերում ռադիոնուկլիդների հող-բույս միգրացիայի գործընթացները ուսումնասիրելու՝ սննդային շղթա հետագա անցումները գնահատելու նպատակով:
- ✓ Երկրաքիմիական և երկաթանական հետազոտություններ իրականացնելու համար, օրինակ՝ երկրաբանական կառուցվածքում ապարային կազմի նույնականացման համար:
- ✓ Ազգային մոնիթորինգային համակարգի կազմակերպման և կատարելագործման համար:
- ✓ Հետազոտություն արդյունքները կարող են կիրառվել որպես հիմնագծային տեղեկատվություն՝ հետագայում նոր կառուցվող ԱԷԿ-ի՝ շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության գնահատման համար:

Փորձահավանությունը. Հետազոտության արդյունքները զեկուցվել են ութ միջազգային գիտաժողովներում 1. «Էկոլոգիական, արդյունաբերական և էներ-

գետիկ անվտանգության» միջազգային գիտաժողովում (Սևաստոպոլ, Ռուսաստան 2017), 2. «Ռադիոանալիտիկ և միջուկային քիմիայի» 2-րդ միջազգային գիտաժողովում (Բուդապեշտ, Հունգարիա 2019), 3. TERRITORIES «Ռադիոակտիվ ժառանգության վայրերից առաջացած ռիսկերի գնահատմանը և անորոշ տեղեկատվությունը ավելի լավ ներկայացնելու վերաբերյալ» միջազգային համագումարին (Օքսֆորդ, Մեծ Բրիտանիա 2019), 4. «ՄԱԿ-ի Եվրոպական տնտեսական հանձնաժողովի» “ICP Vegetation” ծրագրի աշխատանքային խմբի 32-րդ հանդիպմանը (Թարգովիստե, Ռումինիա 2019), 5. «Ռադիացիոն անվտանգության միջազգային ասոցիացիայի» 15-րդ կոնգրեսին (առցանց, 2021), 6. «Գենետիկայի, Ռադիոբիոլոգիայի, Ռադիոէկոլոգիայի և Էվոլյուցիայի ժամանակակից խնդիրները» 5-րդ միջազգային կոնֆերանսին (Երևան, Հայաստան 2021), 7. «Կին գիտնականների դերը գիտության, նորարարության և տեխնոլոգիական զարգացման մեջ» 3-րդ միջազգային կոնֆերանսին (Սուդո, Տաջիկստան 2022), 8. «Ռադիոէկոլոգիայի և շրջակա միջավայրի ռադիոակտիվության» 5-րդ միջազգային գիտաժողովին (Օսլո, Նորվեգիա 2022):

Հրատարակված աշխատանքները. Աշխատանքի արդյունքներն ամփոփված են 8 գիտական հոդվածներում, 2-ը՝ տեղական, 6-ը՝ միջազգային, ազդեցության գործակից ունեցող ամսագրերում, որոնցից մեկը՝ «Scimago Journal & Country Ranking (SJR)»-ում ամսագրերի դասակարգման առաջին (Q1), երեքը՝ երկրորդ (Q2), երկուսը՝ երրորդ (Q3) քառորդներում ընդգրկված ամսագրերում:

Արենախոսության կառուցվածքը և ծավալը. Արենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլուխներից, եզրակացությունից, գրականության ցանկից, առաջարկություններից և հավելվածից: Օգտագործված գրականությունն ընդգրկում է 135 անվանում: Աշխատանքը շարադրված է 139 էջերի վրա, ներառում է 19 աղյուսակ և 42 նկար:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

ԳԼՈՒԽ 1. ԳԼՈՒԿԱԼ ՌԱԴԻՈԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ: ՄԵԿՆԱՐԿԸ, ՆԵՐԿԱ ԻՐԱՎԻՃԱԿԸ ԵՎ ՄԻՏՈՒՄՆԵՐԸ (ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱԿՆԱՐԿ)

Արենախոսության գրականության ակնարկը ներկայացված է 4 ենթագլուխներով, որոնցում քննարկվել են ռադիոակտիվության երևույթը, շրջակա միջավայրի ռադիոակտիվ աղտոտման առանձնահատկությունները, աղբյուրները և նկարագրվել ռադիոակտիվ ֆոնը ձևավորող հիմնական ռադիոնուկլիդների երկրաքիմիական առանձնահատկությունները: Անդրադարձ է կատարվել լեռնային տարածքներում ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների առանձնահատկություններին, գլոբալ, նորարակական ուսումնասիրություններին, հիմնավորվել ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների արդիականությունը և միջգիտակարգային բնույթը: Ամփոփվել է ՀՀ տարածքի

ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների պատմությունը, և շեշտադրվել ռադիոակտիվության տարածաբաշխման առանձնահատկություններին ուղղված շարունակական հետազոտությունների անհրաժեշտությունը:

ԳԼՈՒԽ 2. ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՕՐՅԵԿՏ: ՆՅՈՒԹԵՐ ԵՎ ՄԵԹՈՂՆԵՐ

Հետազոտությունը իրականացվել է 2016-2021 թթ. Արագած լեռնազանգվածում, օբյեկտը Արագած լ-ի բաղադրիչներն են (**հող, հատակային նստվածք, ողողատի հող, մամուռ, մթնոլորտային թաց և չոր նստեցումներ**): Աշխատանքների պլանավորման սկզբնական փուլում ուսումնասիրվել ու վերլուծվել է ՀՀ շրջակա միջավայրի ռադիոակտիվության վերաբերյալ առկա տեղեկատվությունը, որի հիման վրա սահմանվել են ակնկալվող արդյունքների որակի ինդիկատորները, ընտրվել են հետագա նմուշառման պլանի մշակման եղանակները, ուսումնասիրվել տարբեր բաղադրիչների նմուշառման մեթոդները:

Նմուշառման պլանը մշակվել է համաձայն ԱՄՆ շրջակա միջավայրի պաշտպանության գործակալության (US EPA) կողմից առաջարկվող «դատողական» (անգլ.՝ judgmental) նմուշառման սկզբունքով: Այս մոտեցման դեպքում նմուշառման վայրի ընտրությունը հիմնված է փորձագիտական դատողության վրա, և նպատակն է կենտրոնանալ որոշակի գործոնի վրա՝ ֆինանսական, ժամանակային ու մարդկային ռեսուրսների հնարավորինս կրճատման համար: Սույն աշխատանքում կարևորագույնն է համարվել բացարձակ բարձրության գործոնը, որը սույն աշխատանքի թեմայով, ատենախոսության հեղինակի համահեղինակությամբ հրատարակված մի շարք հոդվածներում բացահայտվել է որպես ռադիոնուկլիդների բաշխվածության վրա ազդող առաջնային գործոն: Ուստի, Արագած լ-ում բոլոր բաղադրիչների նմուշառման տեղամասերը ընտրվել են ըստ բարձրության՝ հետագա վերլուծությունը առաջին հերթին բարձրությամբ դիտարկելու համար:

Լեռնային տարածքներում ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների իրականացման համար մշակվել և ներդրվել են ՍՕԸ-եր, ՈԱ/ՈՎ (որակի ապահովում և վերահսկում) ընդհանուր պլանը՝ համաձայն նմանատիպ աշխատանքների իրականացման համար առկա միջազգային փորձի և միջազգային ոլորտային կազմակերպությունների (IAEA, ISO, US EPA) կողմից մշակված մեթոդական ցուցումների:

Հետազոտության շրջանակներում նմուշառվել են՝ մթնոլորտային փոշի, ձյուն, վերին (0-10 սմ խորությամբ) և ստորին շերտի հողեր (10-20, 20-40 սմ), հատակային նստվածքներ, ողողատի հողեր և մամուռներ, իրականացվել է գամմա դոզայի տեղում՝ *in situ* չափումներ: Նմուշների նախնական մշակման աշխատանքներն ու գամմա սպեկտրաչափությունն (CANBERRA, գերմաքուր գերմանիումային դետեկտորով) իրականացվել են Էկոկենտրոնի լաբորատորիայում, իսկ ՀԱԷԿ-ի Շրջակա միջավայրի պահպանության

լաբորատորիայի հետ իրականացվել է միջլաբորատոր համեմատության ծրագիր՝ ՈԱ/ՈՎ նպատակով:

Հողում ռադիոնուկլիդների ակտիվությունների հիման վրա հաշվարկվել են **նադիոլոգիական և երկրաքիմիական ցուցանիշներ**, մասնավորապես 1. *Ռադիումի համարժեք ակտիվություն*՝ $Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K$, 2. *Արտաքին և ներքին վրանգի ինդեքսներ*՝ $H_{ext} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810}$, $H_{in} = \frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810}$, 3. անթրոպոգեն ազդեցությունը գնահատման համար որոշվել է *երկրա-կուրակման գործակիցը*՝ $I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{1.5 \cdot B_n}\right)$, 4. *Բնական ռադիոնուկլիդների էլեմենտար պարունակությունները*՝ eRa , eTh , eK ՝ հաշվի առնելով կիսատրոհման պարբերությունն ու ներկայիս ակտիվությունը:

Հողում ռադիոնուկլիդների ակտիվությունների հիման վրա գնահատվել են **դոզաները և ռիսկը**, մասնավորապես 1. *Արտաքին կլանված դոզան*՝ $ODRA$, նԳր/ժ ($ODRA = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K + 0.1243C_{Cs}$), որտեղ C_{Ra} , C_{Th} , C_K և C_{Cs} ՝ ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվություններն են իրենց դոզայի փոխարկման ցուցիչներով), 2. *Տարեկան արդյունաբար դոզայի համարժեքը*՝ ($AEDE$, մՋվ/տ) ($AEDE = ODRA \times DCF \times OF \times T$), 3. *Կյանքի ընթացքում քաղցկեղի հավելյար ռիսկի ցուցանիշը*՝ $ELCR$ ($ELCR = AEDE \times DL \times RF$):

Արագած է-ի բիոտայի համար գնահատվել է ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված էկոլոգիական ռիսկը՝ հիմնվելով հողում բնական Ra-226, Th-232 և տեխնածին Cs-137 ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվությունների վրա՝ ERICA (Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management) գնահատման մոտեցմամբ և համանուն ծրագրի (ERICA Assessment Tool 2.0) կիրառմամբ:

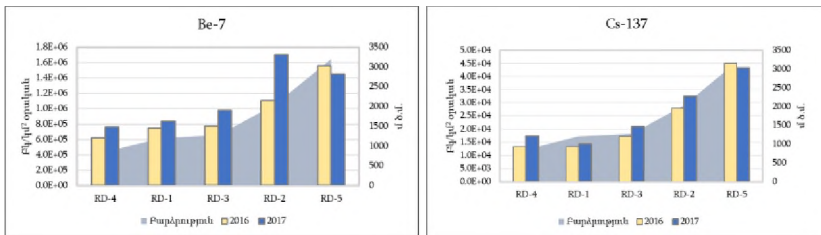
Աշխատանքում կիրառված մեթոդաբանությունը հիմնված է ՄԱԿ-ի Ատոմային էներգետիկայի ազդեցության հարցերով գիտական կոմիտեի (**UNSCEAR**), Ռադիացիոն պաշտպանության միջազգային կոմիտեի (**ICRP**), Ատոմային էներգիայի միջազգային գործակալության (**IAEA**), Եվրատոմի (**EURATOM**) ուղեցույցերի:

Իրականացվել է ստացված տվյալների **վիճակագրական վերլուծություն**, մասնավորապես նկարագրական վիճակագրական վերլուծություն, գրաֆիկական պատկերումը, վիճակագրական վարկածների և կոռելյացիաների ստուգում, պարզ և բազմաչափ գծային ռեգրեսիաներ, Մոնտե Կառլո սիմուլյացիա, ինչպես նաև **քարտեզագրում**՝ ռադիոնուկլիդների տարածական բաշխվածության կետային քարտեզների մշակում ArcMap 10.6 ծրագրային միջավայրում:

ԳԼՈՒԽ 3. ԲՆԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԽՆԱԾԻՆ ՌԱԴԻՈՆՈՒԿԼԻԴՆԵՐԻ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՐԱԳԱԾ ԼԵՌՆԱԶԱՆԳՎԱԾՈՒՄ

Մթնոլորտային թաց և չոր նստեցումներ

Արագած լ-ի մթնոլորտային փոշում 2016-2017 թթ-ի ընթացքում հայտնաբերվել են բնական Be-7 և տեխնածին Cs-137 ռադիոնուկլիդները, ընդ որում գրանցվել է ակտիվության աճի դինամիկա 5 կայաններից 4-ում և ըստ բարձրության ակտիվության աճի միտում (նկ. 1): Միևնույն ռադիոնուկլիդները հայտնաբերվել են նաև ձյան փոշում և ֆիլտրատում: Be-7-ի ակտիվությունը մի քանի կարգով ավելի բարձր է տեղումների լուծույթ ֆազայում՝ համեմատած ձյան փոշու հետ, իսկ Cs-137-ը հիմնականում ասոցիացված է փոշու հետ: Cs-137-ի բաշխվածությունը հետազոտվող մթնոլորտային բոլոր նմուշներում ավելի օրինաչափ է և բարձրության հետ աճի միտումը՝ արտահայտված:

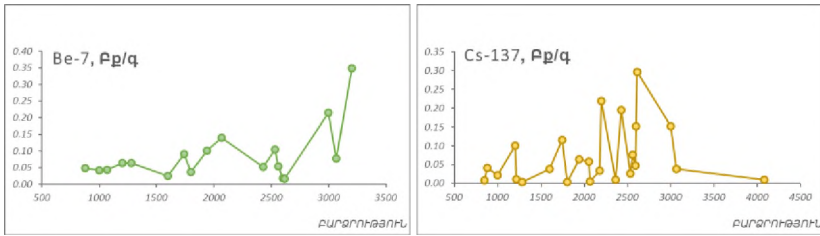


Նկ. 1. Մթնոլորտային փոշում ռադիոնուկլիդների ակտիվության փոփոխությունը 2016-2017 թթ.

Կենսահնդիկատրոներ: Մամուռներ

Մամուռներում Be-7 և Cs-137 ռադիոնուկլիդների բաշխվածության և բարձրության միջև կապը ըստ Spearman-ի կոռելյացիոն վերլուծության ունի թույլ դրական կոռելյացիա 0.3 գործակցով (նշանակալիության մակարդակ՝ 0.05) (նկ. 2):

Ի տարբերություն մթնոլորտային թաց և չոր նստեցումների, ռադիոնուկլիդները հայտնաբերվել են մամուռներում հետազոտության բոլոր ժամանակային ինտերվալներում (2016-2021 թթ.), ներառյալ այն տեղամասերում, որոնցից նմուշառված ձյան ու փոշու մեջ ռադիոնուկլիդներ չեն հայտնաբերվել: Հետագա հետազոտություններում հարկ է դիտարկել մամուռների տարբեր տեսակները և մարմնի առանձին հատվածները՝ ռադիոնուկլիդների կուտակման մակարդակների գնահատման և մամուռներով տարրերի տեղափոխման կենսաբանական գործոնների ուսումնասիրման համար:



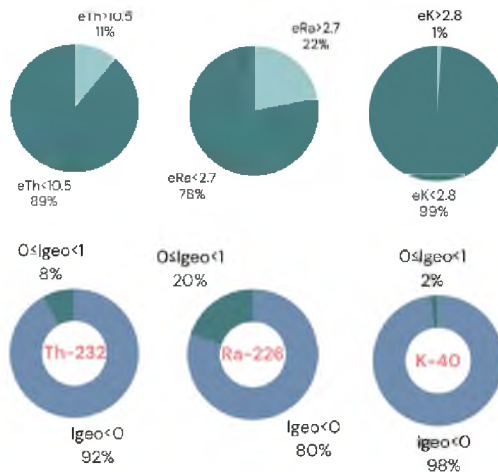
Նկ. 2 Մամուլներում ռադիոնուկլիդների բաշխվածությունը ըստ բարձրության

Հողեր

2016-2018 թթ. բնական ռադիոնուկլիդները հայտնաբերվել են հողի վերին շերտի բոլոր նմուշներում՝ գրանցելով առավելագույն ակտիվությունները K-40 համար հարավային, Ra-226 և Th-232 համար արևելյան պրոֆիլներում՝ 1149.0, 134.0, 93.6 Բք/կգ համապատասխանաբար: Այդուհանդերձ RaEq-ը, որը բոլոր բնական ռադիոնուկլիդների համամասնական գումարն է՝ գլոբալ միջին արժեքից ցածր է (115.1 Բք/կգ): RaEq-ում ռադիոնուկլիդները՝ ըստ մասնաբաժինների ունեն Th-232, Ra-226 և K-40 հերթականությունը: Հողի վերին շերտում բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունները ցուցաբերում են բարձր երկրաքիմիական փոփոխականություն: 2021 թ. նմուշառման պրոֆիլներով, չնայած բարձր ակտիվությունների տարածաբաշխման պատկերն այլ է (K-40՝ 613.0, Ra-226՝ 28.4, Th-232՝ 57.4 Բք/կգ), այդուհանդերձ, RaEq-ը գլոբալ միջինից ցածր է և RaEq-ում ամենամեծ մասնաբաժինն ունի Th-232-ը: Կրկնվող նմուշառված պրոֆիլներում (հարավային և արևելյան) 5 տարվա ընթացքում (2016-2021 թթ.) նման բաշխվածություն պահպանվել է միայն K-40-ի համար (համաձայն Wilcoxon թեստի արդյունքների), իսկ Ra-226-ի և Th-232-ի դեպքում տարածաժամանակային փոփոխությունը ակնհայտ է: Այդուհանդերձ, եթե հողի վերին շերտի համար գրանցվել է երկրաքիմիական փոփոխականություն, հողի վերին շերտից խորքային շերտեր բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունը օրինաչափորեն աճում է՝ ըստ Kruskal-Wallis թեստի արդյունքների:

Հողի վերին շերտում վիճակագրորեն նշանակալի դրական կոռելյացիա է գրանցվել 2016-2018 թթ.՝ Ra-226 և Th-232-ի միջև (0.76, 0.05 նշանակալիության մակարդակում), իսկ 2021 թ.՝ K-40 և Ra-226 -ի միջև (0.69, 0.05 մակարդակում)՝ պայմանավորված միևնույն աղբյուրից՝ հրաբխածին ապարներից ձևավորվող հողում ռադիոնուկլիդների առկայության հետ: Բնական ռադիոնուկլիդների և բարձրության միջև կապը ստուգելու համար կիրառված պարզ և բազմաչափ գծային ռեգրեսիայի մոդելի համաձայն՝ բոլոր բնական ռադիոնուկլիդները ունեն ըստ բարձրության ակտիվության նվազման միտում, որը առավել ակնհայտ է Ra-226-ի դեպքում: Բազմաչափ ռեգրեսիայի մոդելում, բնական ռադիոնուկլիդներից մեկի փոփոխությունը մյուսով առավել նկատելի է Ra-226 և K-40 միջև, իսկ Th-232-ը բնորոշվում է այլ միգրացիոն առանձնահատկություններով:

Արագած է-ի հողերում բնական ռադիոնուկլիդների էլեմենտար (e) պարունակությունները, հատկապես էլեմենտար կալիումը, գլոբալ միջին ցուցանիշներից ավելի փոքր են (նկ. 3): Այդուհանդերձ, eTh/eRa հարաբերակցությունը հողերի շուրջ 50%-ում գերազանցում է գլոբալ միջին ցուցանիշը՝ ենթադրելով Արագած է-ի հողերի՝ թորիումով ավելի հարուստ լինելու մասին: Սա նաև հաստատվում է հետազոտվող հողերի pH-ի արժեքներով: հողերի մեծ մասում pH-ը 5-6 է: Նման միջավայրում ուրանը և կալիումը ավելի շարժուն են և տարրավազվում են հողերից, իսկ թորիումի՝ հողերում տարածաբաշխման վրա այն առանձնապես չի ազդում: Ըստ երկրակուտակման գործակցի (Igeo) արժեքների, Արագած է-ի հողի վերին շերտում բնական ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման վրա անթուրոպոգեն ազդեցությունը բացակայում է, կամ աննշան է՝ վերագրվելով Igeo-ի գործնականորեն չաղտոտված ($I_{geo} < 0$) և չաղտոտվածից չափավոր աղտոտված ($0 \leq I_{geo} < 1$) դասերին:

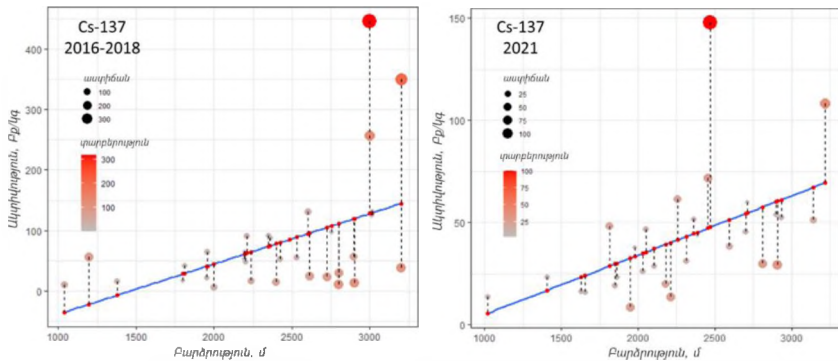


Նկ. 3 Բնական ռադիոնուկլիդների էլեմենտար պարունակությունների և երկրակուտակման գործակիցների գծապատկերները

Հողի վերին շերտում 2016-2018 և 2021 թթ. նմուշառման պրոֆիլներով **տեխնածին Cs-137-ը** հայտնաբերվել է հողի վերին շերտի բոլոր նմուշներում՝ գրանցելով բարձր ակտիվությունը հիմնականում առավել բարձրադիր տեղամասերում: Spearman-ի կոռելյացիոն վերլուծության համաձայն Cs-137-ը երկու ժամանակահատվածում գրանցել է վիճակագրորեն նշանակալի դրական կոռելյացիա բարձրության հետ (0.44 և 0.68 գործակիցներով, 0.05 նշանակալիության մակարդակ): Հիմք ընդունելով այդ կապը իրականացվել է գծային ռեգրեսիա (նկ. 4)՝ քանակապես բնութագրելու Cs-137- ի՝ ըստ բարձրության աճը և հայտնաբերելու հետազոտության տարածքի այն տեղամասերը,

որտեղ «ցեզիում – բարձրություն» ռեգրեսիոն մոդելից շեղումները առավել ակնհայտ են: Արդյունքում, Cs-137-ը 2016-2018 թթ. ըստ բարձրության աճում է 0.08 Բք/կգ յուրաքանչյուր մետրը բարձրանալիս, իսկ 2021 թ-ին՝ 0.03 Բք/կգ-ով:

Կրկնվող նմուշառման պրոֆիլներում՝ հարավային և արևելյան, հետազոտությունները թույլ տվեցին գնահատել Cs-137-ի տարածաժամանակային դինամիկան, որը ցույց տվեց 1.7 անգամ նվազում հարավային պրոֆիլում, և 1.4 անգամ նվազում արևելյան պրոֆիլում՝ 5 տարվա ընթացքում: Ստացվում է, որ եթե մթնոլորտային փոշում գրանցվել է ակտիվության աճ, հողերում ակտիվությունը նվազել է: Հողում ուղղաձիգ բաշխվածության համաձայն, Cs-137-ը կուտակված է հիմնականում հողի վերին՝ մինչև 10 սմ խորության շերտում: Դասական վիճակագրական՝ Mean±2SD մոտեցմամբ գնահատված Cs-137-ի հիմնագծային ակտիվությունը ըստ 500 մ բարձրության բերված է աղ. 1-ում:



Նկ. 4 Cs-137-ի ցրվածության գծապատկերը ըստ բարձրության, ներառյալ ռեգրեսիայի գծային մոդելը՝ կանխատեսված և մնացորդային արժեքներով

Աղյուսակ 1. Cs-137-ի հիմնագծային արժեքների վերին շեմերը ըստ բարձրության

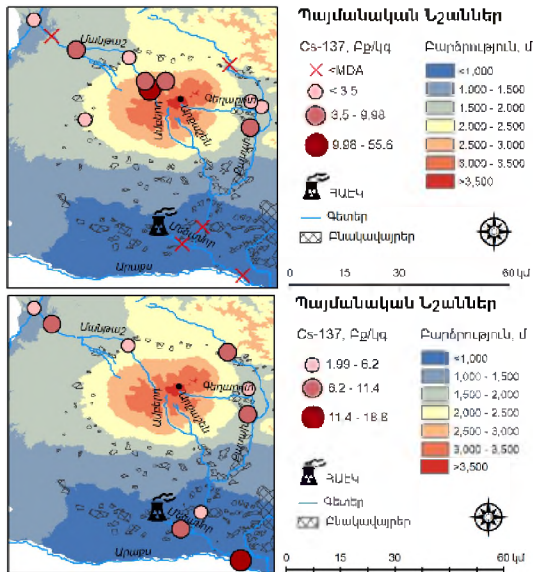
Բարձրություն, մ	2016-2018	2021
1000-1500	56 ± 2.0	23 ± 1.7
1500-2000	64 ± 2.1	48 ± 1.9
2000-2500	91 ± 2.9	72 ± 2.0
2500-3000	256 ± 3.1	60 ± 2.1
3000-3500	350 ± 3.7	108 ± 2.5

Գետերի հափակային նստվածքներ և ողողափի հողեր

Բնական ռադիոնուկլիդները հայտնաբերվել են հետազոտած բոլոր հատակային նստվածքներում և ողողափի հողերում: Ընդհանուր առմամբ, բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունը ավելի բարձր է հատակային նստվածքներում:

Այսպես, K-40-ի միջին ակտիվությունը ողողատի հողերում կազմում է 373.8 Բք/կգ, հատակային նստվածքներում նույն արժեքը 472.7 Բք/կգ է: Նույն արժեքները Ra-226-ի համար կազմում են 16.5 և 21.3 Բք/կգ, իսկ Th-232-ի դեպքում՝ 26.2 և 29.3 Բք/կգ:

Cs-137-ի ակտիվությունը հատակային նստվածքներում հայտնաբերման մակարդակից ցածր է հիմնականում ցածրադիր տեղամասերում, մասնավորապես Մեծամոր գետի հատակային նստվածքում, որը առավել մոտ է տեղակայված ՀԱԷԿ-ին (նկ. 5): Քննարկելով ՀԱԷԿ-ի հետ կապված ազդեցությունը Cs-137-ի տեսանկյունից, կարելի է արձանագրել, որ ատոմակայանի թողարկներով հեռացվող հոսքաջրերում Cs-137 չի հայտնաբերվում, կամ պարունակությունը շատ ցածր է: Հողում Cs-137-ի բաշխվածության վրա ՀԱԷԿ-ի երկարամյա ազդեցությունը հասկանալու համար առավել նպատակահարմար է դիտարկել քամու ուղղությունը՝ որպես արտանետումների տարածման միջոց: Հնարավոր է, որ ՀԱԷԿ-ից ազդեցությունը կարող է արտահայտվել Արագած լեռան հարավային պրոֆիլի հողերում, որտեղ Cs-137-ը բարձրության ռեգրեսիայի մոդելից առավել շատ էր շեղված, և հնարավոր է որ այն տարածվի ՀԱԷԿ-ի մթնոլորտային արտանետումներով: Այդուհանդերձ, սույն հետազոտության արդյունքները բավարար չեն ՀԱԷԿ-ի՝ շրջակա միջավայրի վրա ազդեցությունը գնահատելու համար, և դա իրականացնելու համար այլ մեթոդներ և մոտեցումներ են հարկավոր:

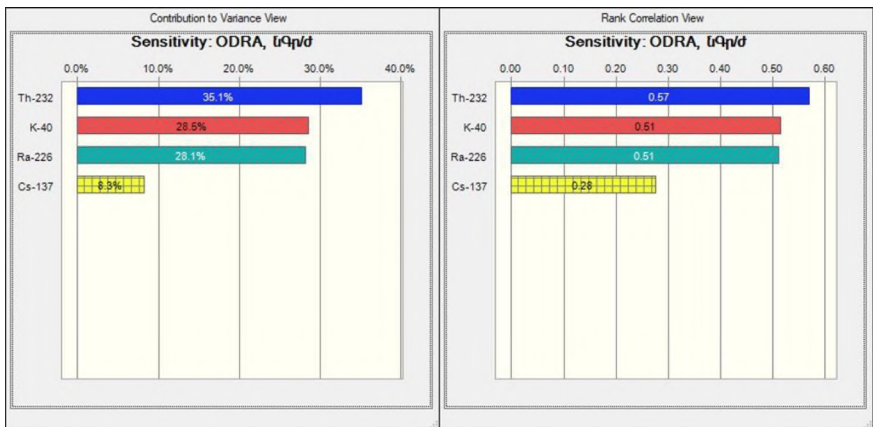


Նկ. 5 Cs-137-ի ակտիվությունը Արագած լ-ի գետերի հարակալին նստվածքներում (վերին) և ողողալի հողերում (ստորին)

ԳԼՈՒԽ 4. ՌԱԴԻՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎՏԱՆԳԸ, ԴՈՋԱՆԵՐԸ ԵՎ ՌԻՍԿԸ ԱՐԱԳԱԾ ԼԵՌՆԱԶԱՆԳՎԱԾՈՒՄ

Հողից ռադիոլոգիական վրանցքը, դոզան և ռիսկը բնակչության համար

Ռադիոլոգիական տեսանկյունից Արագած լ-ի հողերը անվտանգ են, հաշվի առնելով արտաքին և ներքին վտանգի ցուցանիշների և ռադիոմի համարժեք ակտիվության գլոբալ միջին արժեքներից ցածր լինելը: Չնայած, գամմա կլանված դոզան, արդյունարար դոզան և քաղցկեղածին ռիսկը նույնպես գլոբալ միջինի սահմաններում են, այդուհանդերձ հարավային պրոֆիլի՝ առավել ցածրադիր տեղակայված (մինչև 2200 մ) բնակավայրերի տարածքում գրանցել են բարձր արժեքներ՝ հիմնականում 2016-2018 թթ: Դրան հակառակ, 2021 թ. տեղում չափված գամմա դոզան ունի բաշխվածության այլ օրինաչափություն՝ ընդգրկելով բարձր արժեքները հիմնականում լեռնային բարձադիր, սակավ բնակեցված, կամ ընդհանրապես չբնակեցված տեղամասերը, ընդգծելով նաև տիեզերածին ռադիոակտիվության դերը գամմա դոզայի ձևավորման գործում: Համաձայն Մոնտե Կառլո մեթոդի հիմքով զգայունության վերլուծության (նկ. 6) հետազոտության երկու ժամանակահատվածներում գամմա դոզայի ձևավորմանն առավելագույնս նպաստում է Th-232 ռադիոնուկլիդը, կազմելով ընդհանուր կլանված դոզայի 35.1% և 38%-ը, 2016-2018 և 2021 թթ. համար համապատասխանաբար: Cs-137-ի համար գրանցվել է ամենափոքր մասնաբաժինը երկու ժամանակատվածում՝ 8.3%՝ 2016-2018 թթ. և 3.2%՝ 2021 թ-ին:



Նկ 6. Հողից արտաքին գամմա կլանված դոզայում (ODRA) առանձին ռադիոնուկլիդների մասնաբաժինը՝ ըստ Մոնտե Կառլո զգայունության վերլուծության

Ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված էկոլոգիական ռիսկը Արագած I-ի բիոսֆերայի համար

Արագած I-ի բիոսֆերայի համար ռիսկը պայմանավորում է հիմնականում Ra-226-ով՝ ըստ ERICA գնահատման Tier 1 առաջնային (screening) մոտեցման: Դա հավանաբար պայմանավորված է նրանով, որ Ra-226-ը ավելի մոբիլ է և հողից անցումը բույսեր ավելի արագ է տեղի ունենում: Ra-226-ի միջին ու առավելագույն դոզաներով ազդեցության ենթարկվում են մամուռներն ու քարաքոսերը: Այսինքն, չնայած տեխնածին Cs-137-ի առկայությանը, Արագած I-ում ռիսկի ձևավորման մեջ ամենամեծ մասնաբաժինը ունեն բնական ռադիոնուկլիդները:

ԵԶՐԱԿԱՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Մթնոլորտային փոշու, մամուռների, ձյան հետազոտությունները փաստում են, որ նշված բոլոր օբյեկտներում հետազոտության ամբողջ ժամանակահատվածում հայտնաբերվել են Be-7 և Cs-137 ռադիոնուկլիդները: Մթնոլորտային փոշում 2016-2017 թթ.-ին գրանցվել է ռադիոնուկլիդների ակտիվության աճի դինամիկա: Be-7-ը առավել լավ հայտնաբերելի է ձյան ֆիլտրատում, իսկ Cs-137-ը՝ փոշում: Մամուռների համար գրանցվել է բարձրության և ռադիոնուկլիդների միջև թույլ դրական կոռելյացիա:
2. Արագած I-ի հողի վերին շերտում (0-10 սմ) 2016-2018 թթ. գրանցվել է բնական ռադիոնուկլիդների բաշխվածության ավելի լայն միջակայք և տիրույթից դուրս ընկած ավելի շատ արժեքներ, իսկ 2021 թ.-ին ռադիոնուկլիդները հողերում բնութագրվում են նորմալ բաշխվածությամբ: Կրկնվող նմուշառման պրոֆիլների համար Wilcoxon թեստը հաստատեց միանման բաշխվածություն միայն K-40-ի և Cs-137-ի համար՝ 5 տարվա ընթացքում: Հարավային և արևելյան պրոֆիլներում գրանցված ռադիոնուկլիդների ակտիվության տարբեր տիրույթները վկայում են, որ լեռնային լանդշաֆտներին բնորոշ առանձնահատկությունները կարող են մեծ դեր խաղալ ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման վրա:
3. Պարզ և բազմաչափ ռեգրեսիոն մոդելների կիրառման արդյունքներով բնական ռադիոնուկլիդներից K-40-ի և Ra-226-ի և բարձրության միջև կապը ձգտում է նշանակալիության: Th-232-ի համար հայտնաբերված կապի նշանակալի չէ՝ ոչ բազմաչափ, ոչ գծային ռեգրեսիաների դեպքում: Դա պայմանավորված է հողերում ռադիոնուկլիդների տարբեր միգրացիոն հատկություններով:
4. Հետազոտության արդյուքների համաձայն բոլոր բնական ռադիոնուկլիդները հողի տարբեր շերտերում միևնույն կերպ են բաշխված՝ օրինաչափորեն աճելով հողի մակերևույթից ստորին շերտեր: K-40-ի և Ra-226-ի ակտիվությունները ստորին շերտից դեպի մակերևույթ նվազում են 1.3 անգամ երկու դեպքում, իսկ Th-232-ի դեպքում 1.1 անգամ, փաստելով Th-232-ի և այլ բնական ռադիոնուկլիդների երկրաքիմիական տարբեր վարքի մասին:

5. Արագած Լ-ի հողի վերին շերտում բնական ռադիոնուկլիդների էլեմենտար պարունակությունները ցածր են գլոբալ միջին արժեքներից: eTh/eRa հարաբերակցությունը միջինում կազմել է 4.29՝ փաստելով հողերի թորիումով առավել հարուստ լինելը: Սա պայմանավորվում է նաև տեղանքի հողերի pH 5-6 միջավայրով, որը թորիումի տարածաբաշխման վրա առանձնապես չի ազդում
6. Արագած Լ-ի հողերի վերին շերտում բնական ռադիոակտիվության անթրոպոգեն ազդեցությամբ պայմանավորված փոփոխություններ չեն գրանցվել՝ համաձայն բնական ռադիոնուկլիդների երկրակուտակման գործակիցների՝ գործանակնորեն չաղտոտված և չաղտոտվածից չափավոր աղտոտված դասերի գերակայության:
7. Cs-137 և տեղանքի բարձրության գծային ռեգրեսիայի մոդելը կանխատեսեց Cs-137-ի ակտիվության աճ՝ միջինում 0.08 Բք/կգ և 0.03 Բք/կգ յուրաքանչյուր մետր բարձրանալիս՝ 2016-2018 թթ. և 2021 թ համար համապատասխանաբար: Ռեգրեսիայի մոդելից շեղումները հետազոտության երկու ժամանակահատվածում պայմանավորում են հիմնականում հարավային ուղղության հողերը: Մի քանի գործոններ կարող են ազդել այդ օրինաչափության վրա, մասնավորապես՝ տեղումների քանակ, քամու ուղղություն, ՀԱԷԿ-ի երկարաժամկետ շահագործման արդյունքը, և առանձին պրոֆիլների մորֆոլոգիական բնութագրերը:
8. Cs-137-ի հիմնագծային ակտիվությունը որոշվել է հետազոտության երկու ժամանակահատվածի համար ըստ բարձրության՝ 500 մ ինտերվալով, և տատանվում է 56-350 Բք/կգ 2016-2018 թթ-ին և 23-108 Բք/ կգ 2021 թ-ին: Հիմնագծային ակտիվության նվազումը նշված ժամանակահատվածի համար պայմանավորված է ՀՀ տարածք Cs-137-ի կայուն ու նվազող մուտքով մթնոլորտային զանգվածների հետ, ինչպես նաև հողում առկա Cs-137-ի տրոհմամբ:
9. Արագածից սկիզբ առնող գետերի և դրանց վրա կառուցված ջրամբարների հատակային նստվածքներում և գետերի ողողատի հողերում Cs-137-ի համեմատաբար բարձր ակտիվությունները գրանցվել են բարձրադիր նմուշառման կետերում: ՀԱԷԿ-ի տարածքով հոսող Մեծամոր գետի հատակային նստվածքներում, Cs-137-ը հայտնաբերման մակարդակից ցածր է:
10. Բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվությունը ավելի բարձր է հատակային նստվածքներում, ավելի ցածր՝ ողողատի հողերում: Ամենաբարձր ակտիվությունները գրանցվել են լեռնային արագահոս գետերի հատակային նստվածքներում, ինչպիսիք են Քասախը, Գեղարուրը, Մանթաշը, իսկ Մեծամոր գետը, որը ամենամոտն է տեղակայված բնակելի գոտուն, բնութագրվում է ռադիոնուկլիդների առավել ցածր ակտիվություններով հատակային նստվածքներում:

11. Ընդհանուր առմամբ, Cs-137-ի տարածաբաշխման մեջ գետերի հատակային նստվածքների ուսումնասիրման արդյունքներով ՀԱԷԿ-ի շահագործման ազդեցությունը նշանակալի չէ: ՀԱԷԿ-ից ազդեցությունը՝ «Cs-137 – բարձրություն» ռեգրեսիայի մոդելից ամենամեծ շեղման համաձայն, արտահայտվում է Արագած լեռան հարավային պրոֆիլի երկայնքով: Այդուհանդերձ, շրջակա միջավայրի վրա ՀԱԷԿ-ի ազդեցության մանրամասն գնահատման համար ստացված տվյալները բավարար չեն, և գնահատումը պահանջում է այլ մոտեցումներ և մեթոդներ:
12. Էկոլոգիական ռիսկի գնահատումը ERICA գործիքի Tier 1 մոտեցմամբ ցույց տվեց, որ հողերում ռադիոնուկլիդների միջին ակտիվությունների հիման վրա հաշված ռիսկի գործակիցները ցածր են սահմանային դոզայից (10 նԳ/ժ), իսկ առավելագույն արժեքները անցնում են նշված շեմը: Հետազոտված ռադիոնուկլիդներից դոզան պայմանավորում է Ra-226-ը, իսկ ազդեցության ենթարկվող օրգանիզմները մամուռներն ու քարաքոսերն են: Մարդկանց համար արդյունաբար դոզան և ռիսկը պայմանավորում է հիմնականում Th-232-ը՝ համաձայն Մոնտե Կառլո զգայունության վերլուծության:

ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Աշխատանքի արդյունքներն առաջ են քաշել մի շարք առաջարկություններ՝ ինչպես բուն գիտական խնդիրների լուծման համար, այնպես էլ կիրառական բնույթի:

1. Արագած լ-ում ռադիոէկոլոգիական մոնիթորինգային ստեղծված համակարգի կատարելագործում՝ ՀՀ տարածք օդային միզրանտ հանդիսացող ռադիոնուկլիդների ընդլայնված շարքի (ներառյալ H-3, Sr-90, Pu-ի իզոտոպներ և այլն) մշտադիտարկման համար, ռադիոնուկլիդների՝ հող-ջր-օդ համակարգերով միզրացիոն մոդելների ստեղծման նպատակով:
2. Իրականացնել ռադիոքիմիական հետազոտություններ՝ հասկանալու ռադիոնուկլիդների քիմիական ձևերը Արագած լ-ի տարբեր միջավայրերում, բնութագրելու ռադիոնուկլիդների շարժունակությունը, դրա վրա ազդող գործոնները և կենսամատչելիությունը հաշվի առնելով, որ Արագածի լանջերը օգտագործվում են գյուղատնտեսական նպատակներով և ռադիոնուկլիդների միզրացիան սննդային շղթաներով պոտենցիալ ռիսկի գործոն է հանդիսանում:
3. Հետագա կենսահնդիկացիոն հետազոտություններում դիտարկել մամուռների տարբեր տեսակները և մարմնի առանձին հատվածները՝ ռադիոնուկլիդների կուտակման մակարդակների գնահատման և մամուռներով տարրերի տեղափոխման կենսաբանական գործոնների ուսումնասիրման համար:
4. Մթնոլորտով տեղափոխվող ռադիոնուկլիդների համար ռոբոտատ մոդելների ստեղծում՝ ներառելով Արագած լ-ի ֆիզիկաաշխարհագրական առանձնահատկությունները և արբոտիկ գործոնները (բարձրություն,

թեքություն, ռելիեֆ, տեղումների քանակ, քանու ուղղություն և այլն), հաշվի առնելով նաև կետային աղբյուրների (այս դեպքում՝ ՀԱԷԿ) ազդեցությունը:

5. Մթնոլորտով տեղափոխվող ռադիոնուկլիդների (Be-7 և Cs-137) տվյալները կարող են օգտագործվել հողի էրոզիան, նստվածքազոյացման արագությունը գնահատելու, մթնոլորտի որակի մոնիթորինգային հետազոտություններում:
6. Հետազոտություն արդյունքները կարող են կիրառվել որպես հիմնագծային տեղեկատվություն՝ հետազայում նոր կառուցվող ԱԷԿ-ի՝ շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության գնահատման համար:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. Բելյանա Օ.Ա., **Մովսիսյան Ն.Է.**, Փյունկյուլյան Կ.Ի., Սաղաթեյան Ա.Կ. Cs-137 բաշխվածությունը Արագածի հողերում և չոր մթնոլորտային նստեցումներում // ՀՀ ԳԱԱ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին. 2019. T. 72. № 1. Էջ 57–66:
2. **Մովսիսյան Ն.Է.** Մթնոլորտով տեղափոխվող ռադիոնուկլիդները Հայաստանում աճող մամուռներում // Հայաստանի կենսաբանական հանդես. 2020, 3(72), էջ 37–44:
3. **Movsisyan. N.**, Albanese, S., Pyuskyulyan, K., Hovhannisyanyan, S., Belyaeva, O., 2023. The spatiotemporal variation, background, and baseline activities of radionuclides in the soil of Aragats Massif (Armenia). Environ. Sci. Pollut. Res. Volume 30, p 82647–82660, (2023) <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28231-3>
4. **Movsisyan. N.**, Demirtchyan, G., Pyuskyulyan, K., Belyaeva, O., 2021. Identification of radionuclides' altitudinal distribution In soil and mosses In highlands of Armenia. J. Environ. Radioact. Volume 231, p 106550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106550>
5. **Movsisyan. N.**, Pyuskyulyan, K., Belyaeva, O., 2022. Radionuclides Distribution and Associated Ecological Risk in the Environment of Armenian Mountains. Phys. Part. Nucl. Lett. 19, p 302–305. <https://doi.org/10.1134/S1547477122030165>
6. Pyuskyulyan, K., Hovhannisyanyan, S., **Movsisyan. N.**, Belyaeva, O., 2024. Background activity of naturally occurring and reference values of fallout radionuclides in soils of mountainous areas (Armenia). Chem. Ecol. P 1–15. <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2402897>
7. Pyuskyulyan, K., LaMont, S.P., Atoyan, V., Belyaeva, O., **Movsisyan. N.**, Saghatelyan, A., 2020. Altitude-dependent distribution of ¹³⁷Cs in the environment: a case study of Aragats massif, Armenia. Acta Geochim. Volume 39, p 127-138 <https://doi.org/10.1007/s11631-019-00334-0>
8. Belyaeva, O., **Movsisyan. N.**, 2022. Evolution of radioecology in Armenia: a short review. Int. J. Radiat. Biol. Volume 98, p 404–409. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1976866>

МОВСИСЯН НОНА ЭДИКОВНА

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АРАГАТСКОМ МАССИВЕ

РЕЗЮМЕ

Изучение особенностей пространственного распределения естественных и искусственных радионуклидов в окружающей среде имеет фундаментальное значение в радиоэкологических исследованиях и привлекает большое внимание во всем мире. Как природные, так и искусственные радионуклиды могут оказывать глубокое воздействие на экосистемы: долгосрочное воздействие естественной радиоактивности в окружающей среде усугубляется радионуклидами из искусственных источников, что приводит к изменению естественного радиоактивного фона и повышению риска. Поэтому необходимо проведение углубленных исследований, направленных на изучение пространственного распределения радионуклидов. Подобные исследования необходимы для понимания долгосрочных эффектов радиоактивности, устойчивости экосистем и, в конечном итоге, обеспечения глобальной радиационной безопасности и защиты окружающей среды.

Изучение пространственного распределения и динамики естественной и искусственной радиоактивности на территории Армении остается незавершенным. С этой целью в данной работе были проведены радиоэкологические исследования с использованием современных подходов и техник для массива Арагац. Исследования включали различные компоненты и были направлены на описание радиоактивного фона, выявление источников, дальнейшее изменение радиоактивности и оценку рисков, вызванных радионуклидами. Результаты исследования имеют важное значение для разработки национальной системы мониторинга радионуклидов и системы раннего оповещения как компонент радиационной безопасности.

Поэтому целью исследования является изучение особенностей пространственного распределения естественных и искусственных радионуклидов в массиве Арагац. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: 1. Определить активность естественных и искусственных радионуклидов во влажных и сухих атмосферных выпадениях, мхах и оценить пространственно-временную динамику; 2. Определить активность естественных и искусственных радионуклидов в верхних и нижних слоях почвы и донных отложениях рек и проанализировать их пространственное распределение; 3. Оценить радиологические и геохимические показатели почвы, а также риски для окружающей среды и здоровья, связанные с радионуклидами.

В результате исследования были получены следующие важные результаты: 1. глобальные атмосферные выпадения определены как основной источник Cs-137

в массиве Арагац, при этом высотнo-зависимое распределение наблюдается во всех исследованных профилях. Хотя в период с 2016 по 2021 год не было зарегистрировано никаких существенных новых глобальных выбросов, Cs-137 все еще присутствует в атмосфере и по-прежнему подвергается трансграничному переносу. 2. Почвы Арагацкого массива являются фоновыми относительно активности естественных радионуклидов, что подтверждается следующим: а) пропорциональное увеличение активности радионуклидов по горизонтальным слоям почвы: от поверхности к более глубоким слоям, б) низким значением индекса геоаккумуляции ($I_{geo} < 0$), что указывает на то, что почвы практически не загрязнены, в) постоянное и близкое к естественному значению отношения Th/Ra (~3,89); 3. Th-232 вносит наибольший вклад в дозу облучения человека от почв Арагацкого массива, обуславливая избыточный риск рака в течение жизни. Однако экологический риск для биоты в первую очередь обусловлен Ra-226.

Результаты этого исследования были опубликованы в общей сложности в восьми научных статьях, две из которых появились в местных журналах, а шесть – в международных журналах с импакт-факторами.

MOYSISYAN NONA EDIK

PECULIARITIES OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN ARAGATS MASSIF

SUMMARY

The study of the spatial distribution patterns of natural and artificial radionuclides in the environment holds fundamental significance in radioecological research and receives great attention globally. Radionuclides, whether originating from natural or anthropogenic sources, can profoundly affect ecosystems: the long-term impact of natural radioactivity in the environment is compounded by radionuclides from artificial sources, leading to a change in the natural radioactive background and an increase the risks. Therefore, there is a need to conduct in-depth studies aimed at revealing the peculiarities of spatial distribution of radionuclides. Such research is essential for understanding the long-term effects of radioactivity, for the ecosystem resilience, and ultimately ensuring global radiation safety and environmental protection.

The study of the spatial distribution and dynamics of natural and artificial radioactivity across Armenia remains incomplete. For this purpose, in this work, radioecological studies were carried out using modern approaches and tools for the Aragats massif. The research included various components and was aimed at describing the radioactive background, identifying sources, further changes in radioactivity and assessing the risks caused by radionuclides. The findings are essential

for developing a national radionuclide monitoring system and an early warning radiation safety framework.

Therefore, the purpose of the research is to study the features of the spatial distribution of natural and artificial radionuclides in Aragats massif. The following objectives were set to achieve this goal: 1. Determine the activity of natural and artificial radionuclides in wet and dry atmospheric depositions, mosses and assess the spatiotemporal dynamics, 2. Determine the activity of natural and artificial radionuclides in upper and lower soil layers and riverbed sediments, and analyze their spatial distribution., 3. Evaluate soil radiological and geochemical indicators, as well as environmental and health risks associated with radionuclides.

The research yielded the following important findings; 1. Global atmospheric deposition is identified as the primary source of Cs-137 in Aragats massif, with altitude-dependent distribution observed across all compartments studied. While no significant new global emissions of Cs-137 were reported between 2016 and 2021, its presence is still subject to transboundary transport., 2. The soils of Aragats massif are considered background for natural radionuclides, based on a) a proportional increase in radionuclide activity from the surface to deeper soil layers, b) low geoaccumulation index ($I_{geo} < 0$), indicating soils are practically uncontaminated), c) consistency in the Th/Ra ratio, maintaining the natural elemental ratio (~ 3.89), 3. Th-232 has the highest contribution to human radiation dose from the soils of Aragats massif, influencing excess lifetime cancer risk. However, the ecological risk to biota is primarily driven by Ra-226.

The results of this research have been published in a total of eight scientific articles, with two appearing in local journals and six in international journals with impact factors.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'Ruf'.