

Երկրաբանություն

УДК 502/504; 502.521; 550.42

ԲՆԱԿԱՆ ՌԱԴԻՈՆՈԻԿԼԻԳՆԵՐԻ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՀՈՂԵՐՈՒՄ

Ն. Է. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ*, Օ. Ա. ԲԵԼՅԱԵՎԱ**

ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն, Հայաստան

Երևանի համալիր երկրաքիմիական հանույթի հողային մնուշներն օգտագործվել են գնահատելու քաղաքի հողերի ռադիոակտիվ վիճակը՝ պայմանավորված բնական առաջնային ռադիոնուկլիդների ակտիվությամբ (K-40, Th-232, U-238): Գամմա-սպեկտրաչափական աշխատանքների համար ընտրվել են 52 քաղաքային և 8 ֆոնային տարածքի հողային մնուշներ: Տարրալուծման աշխատանքները կատարվել են գամմա սպեկտրաչափով (CANBERRA), որին կցված է գերմաքուր գերմանիումով դետեկտոր (HpGe): Արդյունքները ցույց են տվել բնական ռադիոնուկլիդների տարածական բաշխվածության կախվածություն քաղաքի երկրաբանական հիմքից. հյուսիսում, որտեղ գերակայում են հրաբխային ծագման ապարներ, գրանցվել են ակտիվության բարձր մակարդակներ, իսկ հարավում՝ նստվածքային ապարներով հարուստ տարածքում գերակայում են ցածր ռադիոակտիվ մակարդակներ: Ֆոնային տարածքի հողերը գրանցվել են ցածր ակտիվության մակարդակներ: Երևանի հողերը ռադիոլոգիապես անվտանգ են:

Keywords: natural radionuclides, Yerevan, soil radioactivity, urban geochemical survey.

Ներածություն: Շրջակա միջավայրի տարբեր համակարգերի ռադիոակտիվության գնահատումը թե՛ գիտական, թե՛ մարդու առողջական ռիսկի գնահատման տեսանկյունից նշանակալի է և արդիական:

Չնայած ճառագայթման տեխնադիկ աղբյուրների (միջուկային տեխնոլոգիաների վրա հիմնված գործունեություն և դրանց արդյունքում գոյացող թափոններ) բազմազանությանը, բնակչության և շրջակա միջավայրի վրա նշանակալի ազդեցությամբ գերակայում է բնական ցամաքային ճառագայթումը, որը պայմանավորված է ապարներում և հողում առաջնային երեք ռադիոնուկլիդների՝ U-238-ի, Th-232-ի ու դրանց քայքայման դուստր ռադիոնուկլիդների և K-40-ի առկայությամբ [1, 2]: Այս ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված գամմա ճառագայթման բնական տարեկան չափաբաժնի հզորությունը կազմում է 2,4 մՋ/տարի [2–5]:

Հողերի ռադիոակտիվության գնահատումը տվյալ տարածքի բնական ռադիոլոգիական իրավիճակի գնահատման հիմնական մեթոդներից է: Հողերը հանդիսանում են ռադիոնուկլիդների կուտակիչ հիմնական միջավայրը՝

* E-mail: nona.movsisyan@cens.am

** E-mail: olga.belyaeva@cens.am

դառնալով շարունակական ճառագայթման աղբյուր կենդանի օրգանիզմների և մարդու համար: Հողերի մոնիթորինգը կարևոր է նաև շրջակա միջավայրի ռադիոակտիվության դինակիմայի գնահատման համար [1, 4–6]:

Հողի ռադիոակտիվության վերափոխումը կարևոր խնդիր է հատկապես քաղաքային տարածքների համար: Քաղաքներում բազմաֆունկցիոնալ արդյունաբերական, տնտեսական համակարգերի զարգացումը հանգեցնում է քաղաքի բնական միջավայրի, հատկապես հողի հատկությունների փոփոխմանը, այդ թվում՝ հողի ռադիոնուկլիդային կազմի ու վերջիններիս բնական բաշխվածության վերափոխմանը [7–10]:

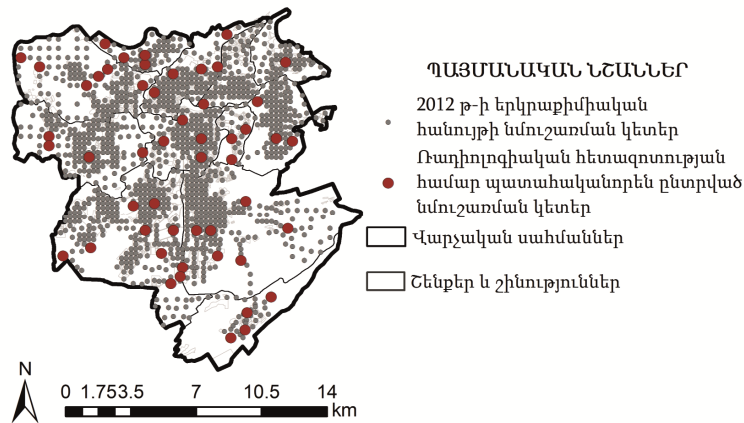
Սույն աշխատանքի նպատակն է գնահատել Երևան քաղաքի հողերի ռադիոակտիվությունը՝ պայմանավորված բնական առաջնային K-40, Th-232, U-238 ռադիոնուկլիդներով: Երևանի հողերի ռադիոէկոլոգիական հետազոտություններ կատարվել են 1990–2002 թթ.-ին՝ գնահատելու հողերում գումարային ալֆա և բետա ակտիվությունները և բաշխվածության դինամիկան [11]: 2002 թ.-ին ռադիոակտիվության գնահատման համար իրականացվել է նաև զամմասպեկտրաչափական տարրալուծում, սակայն նմուշների քանակը բավարար չէ (15 նմուշ) Երևանի հողերում բնական ռադիոնուկլիդների տարածաբաշխման առանձնահատկությունների գնահատման համար՝ պայմանավորված քաղաքի երկրաբանական հիմքով: 2002 թ.-ի հետազոտությունների արդյունքները ցույց տվեցին հողերում բնական ռադիոնուկլիդների հետևյալ միջին պարունակությունները՝ K-40՝ 457,3, Ra-226՝ 21,31 և Th-232՝ 37,7 *Bq/kg*:

Երևանը ՀՀ ամենամեծ մշակութային, տնտեսական և վարչական կենտրոնն է՝ ավելի քան մեկ միլիոն բնակչությամբ: Տարածքի մակերեսը 223 կմ² է, տարածքի բացարձակ բարձրությունը տատանվում է 990–1300 մ ծ.մ. սահմաններում: Աշխարհագրական առանձնահատկություններից են խիստ մայրցամաքային կլիման՝ երկար, շոգ, չոր ամառներ և կարճ ու ցուրտ ձմեռներ: Երևանը տեղակայված է 4 հարևան ենթաշրջանների վրա՝ 1 – Արարատյան դաշտ՝ քաղաքի հարավարևմտյան մասից, 850–1000 մ ծովի մակերևույթից բարձրությամբ; 2 – Եղվարդի (հյուսիսից) և 3 – Կոտայքի (հյուսիս-արևելքից) սարահարթերը՝ տեղակայված Արագած, Արա լեռների և Գեղամա լեռնաշղթայի հրաբխային լանջերում; 4 – Գեղամա լեռնաշղթայի արևմտյան լանջ, որը սահմանակցում է քաղաքին արևելյան մասից՝ 1200–1350 մ բարձրությամբ: Հրազդան գետի և դրա վտակ Գետառի կիրճերը բաժանում են քաղաքի ռելիեֆը Եղվարդի, Արաբկիր–Քանաքեռի և Նորքի շրջանների [12]:

Քաղաքի երկրաբանական հիմքը բնութագրվում է կոմպլեքս նստվածքներով (վերին միոցենից մինչ չորրորդային), որոնք ունեն հրաբխային, հրաբխանստվածքային ու նստվածքային ծագում: Արարատյան դաշտի տարածքում գերակայում են գորշ կիսաանապատային հողերը, իսկ Եղվարդի և Կոտայքի սարահարթերում գերակշռող են գորշ լեռնային դարչնագույն և շագանակագույն հողերը: Հողերը հարուստ են կարբոնատներով և զիպտվ խորքային հորիզոններում, որը, նվազեցնելով հողերի լվացման գործընթացը, նպաստավոր պայմաններ է ստեղծում քիմիական տարրերի կուտակման համար [13]:

Երևանում աղտոտման աղբյուրները բազմազան են, սակայն հողերում բնական ռադիոակտիվ ֆոնի փոփոխման պոտենցիալ գործոն են մետալուրգիան (Մաքուր Երկաթ գործարան, Արմենիան Մոլիբդեն Փրոդաքշն ՍՊԸ, Արմենիան Տիտանիում Փրոդաքշն ՍՊԸ), Երևանի ՋԷԿ-ը, որի տեխնոլոգիական ցիկլը նախկինում հիմնված էր ածուխի այրման վրա, բնական շինարարական քարերի ու նյութերի բազմաթիվ հանքավայրերը:

Նյութեր և մեթոդներ: Երևանի հողերի ռադիոակտիվության գնահատմանն ուղղված հետազոտություններն իրականացվել են՝ օգտագործելով 2012 թ. Երևանի հողերի համալիր երկրաքիմիական հանույթի (Մ 1:25000) հողային նմուշները: Ընդհանուր առմամբ, հանույթի ընթացքում նմուշառվել են 1356 քաղաքային և 51 ֆոնային տարածքների նմուշներ՝ վերցված հողի մակերևութային (0–5 խորությամբ) շերտից: Հողերի նմուշառումն ու նախապատրաստումն իրականացվել են ստանդարտ օպերացիոն ընթացակարգերով՝ համաձայն միջազգային ընդունված մեթոդների [14–16]: Հողի յուրաքանչյուր միասնական նմուշ կազմված էր 5–8 ենթանմուշներից: Նմուշների մշակումը, նախապատրաստումը, որակի ապահովումն ու վերահսկումը մանրամասն նկարագրված են նշված գրական աղբյուրներում [17–19]: Սույն հետազոտության համար նկարագրված հանույթից օգտագործվել են 52 քաղաքային և 8 ֆոնային տարածքների նմուշներ՝ ընտրված ArcMap ծրագրային փաթեթի պատահական ընտրության գործիքով (նկ. 1):



Նկ. 1: Երևանի հողերի նմուշառման և հետազոտության համար ընտրված նմուշների տեղադրությունը:

Ընտրված նմուշներում ռադիոնուկլիդների ակտիվության որոշման համար օգտագործվել է գամմա-սպեկտրաչափ (CANBERRA), որը ներառում է բարձր մաքրությամբ գերմանիումի դետեկտոր (HPGe coaxial detector) և DSA-1000 բազմալիքային անալիզատոր: Նախքան տարրալուծման աշխատանքներն իրականացվել է ստուգաչափում՝ ըստ էներգիայի և արդյունավետության, օգտագործելով ստանդարտ աղբյուրներ՝ Cs-137, Eu-155, Na-22: Ֆոնային գամմա-ճառագայթումը գնահատվել է շաբաթը մեկ անգամ:

Յուրաքանչյուր նմուշից 700 գ տեղադրվել է Մարինելլի պլաստմասե տարայի մեջ (1000 մլ տարողությամբ), համարակալվել և պահվել անոձվազն 2 շաբաթ՝ ռադիոմի և ռադոնի միջև ռադիոակտիվ հավասարակշռության հասնելու համար: Յուրաքանչյուր նմուշի տարրալուծումը տևել է 15000 վրկ: Ստացված գամմա-սպեկտրերը վերլուծվել են Genie 2000 ծրագրային միջավայրում (CANBERRA): K-40-ի ակտիվությունը որոշվել է 1460,0 կԷՎ էներգետիկ տիրույթում, իսկ U-238-ի և Th-232-ի ակտիվությունը հաշվարկվել է դրանց դուստր նուկլիդների միջոցով U-238՝ ըստ Ra-226 186,0 կԷՎ, Pb-214 351,9 կԷՎ և Bi-214 609,2 կԷՎ տիրույթներում, Th-232՝ ըստ Pb-212 239,0 կԷՎ և Bi-212 227,0 կԷՎ տիրույթներում:

Ռադիոնուկլիդների ակտիվության վիճակագրական վերլուծությունն իրականացվել է IBM SPSS ծրագրի միջոցով, իսկ տարածական բաշխվածության քարտեզները մշակվել են ArcGIS միջավայրում:

Գամմա-ճառագայթման ազդեցության գնահատման համար իրականացվել է ատաքին և ներքին վտանգի ինդեքսների (H_{ex} , H_{in}) և Ռադիումի համարժեք ակտիվության (Ra_{eq}) հաշվարկում՝ հողերում ռադիոնուկլիդների ակտիվության գրանցած մակարդակների հիման վրա: Գնահատման սույն մեթոդները ցուցված են ՄԱԿ-ի իոնիզացնող ճառագայթման ազդեցության գիտական կոմիտեի (UNSCEAR) կողմից [1]:

Ռադիումի համարժեք ակտիվությունն իրենից ներկայացնում է U-238-ի, Th-232-ի և K-40-ի ակտիվության համամասնական գումար: Այս ցուցանիշը ենթադրում է, որ U-238-ի 370 $Fp/կգ$, Th-232-ի 259 $Fp/կգ$ ու K-40-ի 4810 $Fp/կգ$ ակտիվությունները պայմանավորում են միևնույն դոզայի հզորությունը: Ռադիումի համարժեքը հաշվարկվել է հետևյալ բանաձևով [1].

$$Ra_{eq} = C_U + 1,43C_{Th} + 0,077C_K, \quad (1)$$

որտեղ C_U , C_{Th} , C_K -ը՝ նշված ռադիոնուկլիդների ակտիվության մակարդակներն են, $Fp/կգ$: Հողը կարող է համարվել ռադիոլոգիապես վտանգավոր, եթե ռադիումի համարժեքը գրանցում է 370 $Fp/կգ$ -ից բարձր արժեք:

Արտաքին և ներքին վտանգի ցուցանիշները հաշվարկվում են այն նյութերի (այս դեպքում հողերի) համար, որոնք օգտագործվում են շինարարական նպատակներով: H_{ex} ցուցանիշը բնութագրում է շինություններից դուրս, իսկ H_{in} ցուցանիշը՝ շինությունների ներսում ստացված գամմա-ճառագայթման վտանգը: Երկու դեպքում էլ վտանգը համարվում է աննշան միավորը չգերազանցելու դեպքում: Արտաքին և ներքին վտանգի ինդեքսները հաշվարկվել են հետևյալ բանաձևերով [1].

$$H_{ex} = C_U / 370 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810, \quad (2)$$

$$H_{in} = C_U / 185 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810, \quad (3)$$

Արդյունքները և քննարկում: Երևանի հողերում բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվության մակարդակները նկարագրող վիճակագրական ցուցանիշները բերված են աղյուսակում: Ռադիոնուկլիդների ակտիվության մակարդակները գրանցել են վարիացիայի գործակցի բարձր արժեքներ, որը պայմանավորված է քաղաքի հողերում առաջնային ռադիոնուկլիդների ոչ միօրինակ բաշխմամբ:

K-40-ի համար նվազագույն և առավելագույն արժեքները կազմել են 0,7 և 1782 $Fp/կգ$, համապատասխանաբար, իսկ միջին արժեքը՝ 428,1 $Fp/կգ$: Ինչպես տեսնում ենք աղյուսակից, գրանցված միջինը մի փոքր գերազանցում է Հայաստանի հողերի համար ընդունված արժեքը (360 $Fp/կգ$, UNSCEAR), սակայն պարունակությունը մոտ է տատանման սահմաններին՝ 310–420 $Fp/կգ$: Նմուշների 85%-ում K-40 ակտիվությունը գերազանցում է ֆոնը (294,35 $Fp/կգ$): K-40 ակտիվությունը համեմատաբար բարձր է քաղաքի կենտրոնական և հյուսիսային մասերում (նկ. 2), որտեղ երկրաբանական հիմքում զարեկշռում են բնական ռադիոնուկլիդներով հարուստ հրաբխային ապարների (բազալտ, անդեզիտ, տուֆ և այլն) վրա ձևավորված հողերը: Ֆոնայինից բարձր ցուցանիշներ առկա են քաղաքի բոլոր համայքներում, սակայն առավել բարձր պարունակությունները, որտեղ կա ֆոնից 3 անգամ գերազանցում, տեղակայված են քաղաքի հյուսիսում՝ Աջափնյակ, Դավթաշեն համայնքներում:

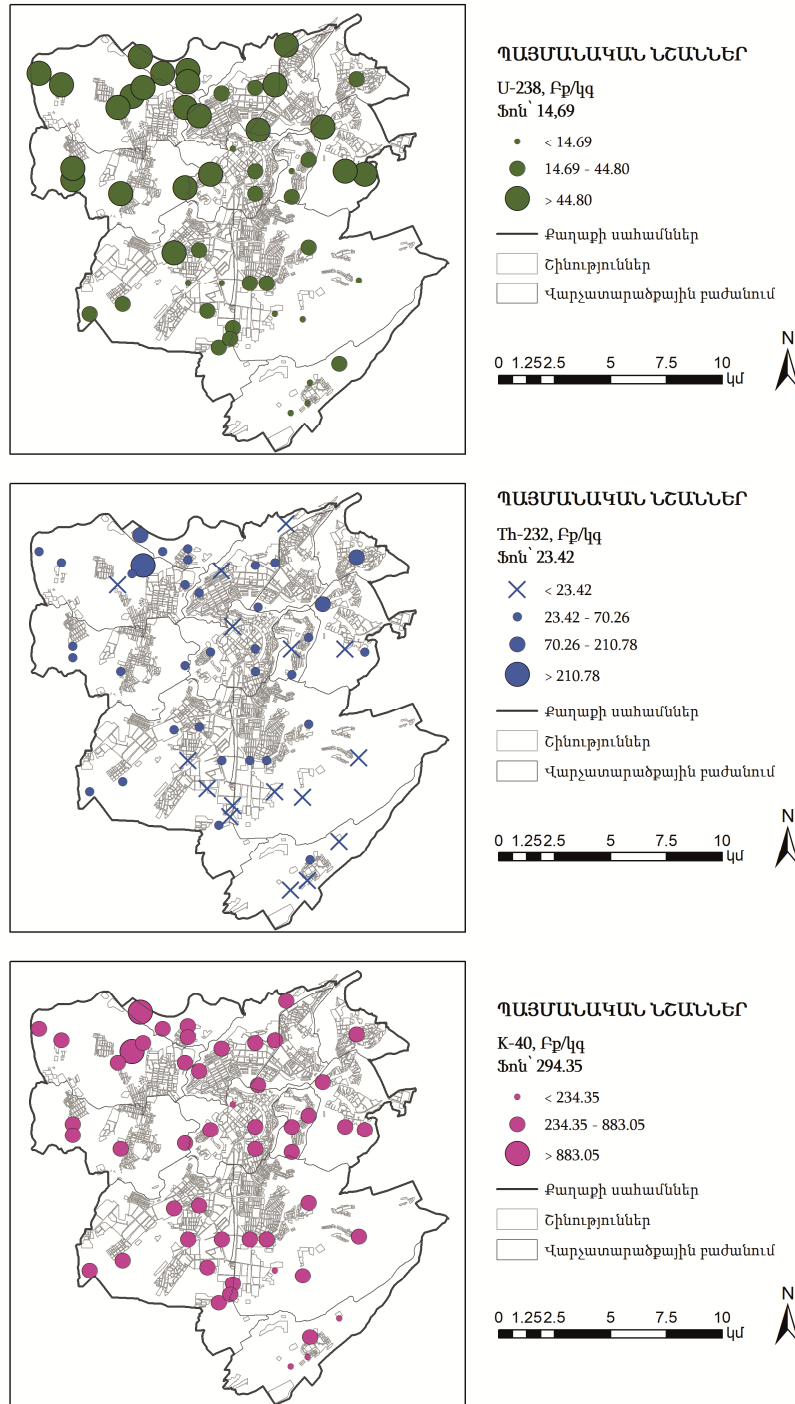
Ռադիոնուկլիդների նկարագրական վիճակագրական տվյալները

Ցուցանիշ	K-40	Th-232	U-238	Ra _{Eq}
Նվազագույն	0,7	0,05	0,1	0,20
Առավելագույն	1782,0	1223,5	166,8	494,20
Միջին	428,1	62	48,1	136,91
Մեդիան	386,8	30,10	44,8	127,47
Ստանդարտ շեղում	254,7	171,7	33,3	82,65
Վարիացիայի գործակից	0,64	5,71	0,76	2,09
Ֆոնային տարածք	294,35	23,42	14,69	70,12
ՀՀ միջին (Բք/կգ)	360	30	46	370
ՀՀ տատանման սահմաններ (Բք/կգ)	310–420	29–60	20–78	–

Քաղաքի հողերում Th-232-ի գրանցած նվազագույն և առավելագույն արժեքներն են՝ 0,05 և 1223,5 *Բք/կգ*, իսկ միջին պարունակությունը կազմել է 62 *Բք/կգ*: Ֆոնային տարածքի հողում միջինը կազմել է 23,42 *Բք/կգ*: Th-232-ի բարձր ակտիվությամբ հողերը տեղակայված են Երևանի հյուսիս-արևմուտքում՝ դրսևորելով բաշխվածության խայտաբղետ պատկեր (նկ. 2): Քաղաքի հյուսային և կենտրոնական մասերում առկա են գերազանցումներ թե՛ ֆոնից, թե՛ ՀՀ համար USCEAR-ի գնահատված միջինից [1], իսկ հյուսիսարևելյան 1 կետում Th-232-ի ակտիվությունը խիստ բարձր է՝ 1223 *Բք/կգ*:

Երևանի հողերում U-238-ի նվազագույն և առավելագույն ցուցանիշներն են՝ 0,1 և 166,8 *Բք/կգ*, իսկ միջինը կազմել է 48,1 *Բք/կգ*: Ինչպես նշված է աղյուսակում, U-238-ի միջինը գրեթե համընկնում է Հայաստանի հողերի համար հաշվարկված միջին արժեքի (46 *Բք/կգ*) հետ: U-238-ի ֆոնը ցածր է ՀՀ-ի միջինից (46 *Բք/կգ*): U-238-ի համար ևս ակտիվության մակարդակների բաշխվածության օրինաչափությունները հողերում ենթադրում են կախվածություն տեղանքի երկրաբանական հիմքից: Ուրանի համեմատաբար բարձր ակտիվության մակարդակները բաշխված են Երևանի կենտրոնական և հյուսիսային մասերում՝ հրաբխային ծագման գորշ ավազային հողերում: Այդ տարածքներն ընդգրկում են հիմնականում Աջափնյակ, Դավթաշեն, Նորնորք, Կենտրոն համայնքները, որտեղ U-238-ի մակարդակը գերազանցում է ՀՀ միջինը և ֆոնը: Քաղաքի հարավային հատվածի երկրաբանական հիմքը կազմում են հիմնականում նստվածքային ապարներ (խճաքար, ավազ, կավ և այլն), որոնք սովորաբար բնութագրվում են բնական ռադիոնուկլիդների ցածր պարունակությամբ (նկ. 2):

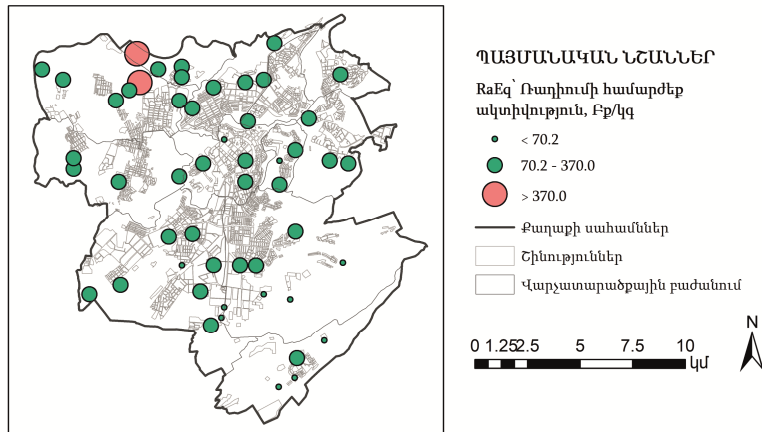
Ռադիումի համարժեք ակտիվությունը քաղաքի հողերում տատանվում է 0,20–1859,88 *Բք/կգ* սահմաններում, իսկ միջին արժեքը՝ 164,68 *Բք/կգ*: Վերջինս ավելի ցածր է, քան գլոբալ միջինը (370 *Բք/կգ*), սակայն մոտ կրկնակի գերազանցում է ֆոնային տեղամասի համար հաշվարկված արժեքը: Լինելով բնական ռադիոնուկլիդների պարունակությունների համամասնական գումար՝ Ra_{Eq} ցուցանիշն ունի բաշխվածության միևնույն օրինաչափությունները, ինչպես ռադիոնուկլիդների դեպքում է (նկ. 3): Ֆոնայինից կրկնակի գերազանցումներ կան քաղաքի ողջ տարածքում, իսկ եռակի և ավել գերազանցումներով երկու կետ գտնվում են Աջափնյակ և Դավթաշեն համայնքներում: Ռադիումի համարժեքի ֆոնային մակարդակը չի գերազանցում համաշխարհային միջին արժեքը: Երևան քաղաքի հյուսիսային մասում Դավթաշեն և Աջափնյակ վարչական շրջանների տարածքում գրանցվել է համաշխարհային միջինը (370 *Բք/կգ*) գերազանցող երկու արժեք՝ 494,20 և 1859,88 *Բք/կգ*, համապատասխանաբար:



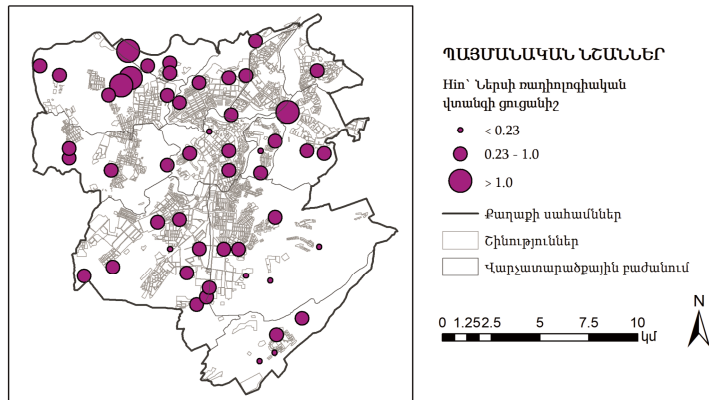
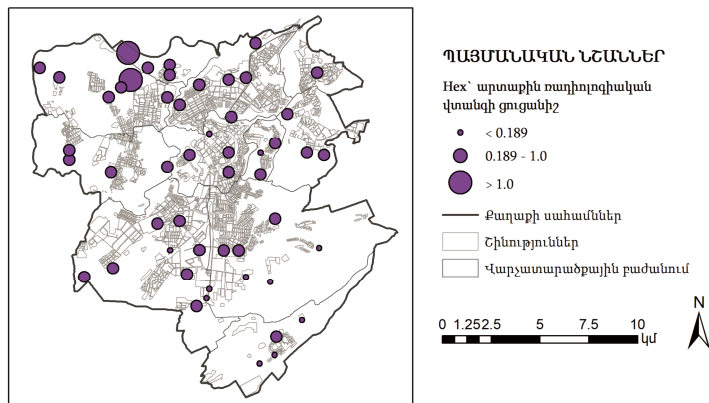
Նկ. 2: U-238, Th-232 և K-40-ի ռադիոնուկլիդի բաշխվածությունը Երևան քաղաքի հողերում:

Նկ. 3-ում բերված քարտեզից հստակ երևում է նաև, որ Երևանի հիմնական հատվածում ռադիումի համարժեքի ակտիվությունը տատանվում է ֆոնայինից (70,12 Բք/կգ) մինչև համաշխարհային միջին մակարդակը՝

70,2–370,0 *Բք/կգ*: Քաղաքի հարավային հատվածում, մասնավորապես Էրեբունի, Նուբարաշեն և Շենգավիթ վարչական շրջաններում Ռ-ադիումի համարժեք ակտիվությունը ցածր է ֆոնայինից: Նման տարբերությունները պայմանավորված են քաղաքի երկրաբանական բարդ առանձնահատկություններով:



Նկ. 3: Ռ-ադիումի համարժեք ակտիվության մակարդակի բաշխվածությունը Երևանի հողերում:



Նկ. 4: Արտաքին և ներքին վտանգի ցուցիչը Երևանի հողերում:

Արտաքին վտանգի ցուցիչի արժեքը տատանվում է 0,00055–5,02 սահմաններում, իսկ միջինի ցուցանիշը 0,44 է: Ներքին վտանգի ցուցիչի դեպքում նվազագույնը և առավելագույնը՝ 0,00077–5,24, իսկ միջինը՝ 0,56: Երկու դեպքում էլ վտանգը համարվում է աննշան, քանի որ միջինը չի գերազանցում 1-ը (նկ. 4): Ֆոնային տարածքների համար հաշվարկած արտաքին և ներքին վտանգի ցուցիչները կազմել են 0,19 և 0,23, համապատասխանաբար: Արտաքին վտանգի առկայություն գրանցվել է Աջափնյակ և Դավթաշեն համայնքներում, իսկ ներքին վտանգի առկայություն՝ 4 կետում: Առավելագույն ցուցանիշներով կետերը տեղաբաշխված են Աջափնյակ, Դավթաշեն և Նոր-Նորք համայնքների տարածքում:

Եզրակացություն: Ըստ Երևանի հողերի բնական ռադիոակտիվ վիճակի գնահատմանն ուղղված հետազոտության՝ բնական ռադիոնուկլիդների տարածական բաշխվածությունը քաղաքի հողերում հիմնականում պայմանավորված է երկրաբանական հիմքի առանձնահատկություններով: Ռադիոնուկլիդների բարձր ակտիվությամբ հողերը ընկած են Երևանի հյուսիսային և կենտրոնական մասերում, որտեղ գերակշռում են բնական ռադիոնուկլիդներով հարուստ հրաբխային ապարները: Երևանի հարավային հատվածի հողերը բնութագրվում են ռադիոնուկլիդների ցածր պարունակություններով, որը պայմանավորված է տեղանքի բնական ռադիոնուկլիդներով աղքատ մտվածքային ապարների առկայությամբ:

Ֆոնային տարածքի հողերը բնութագրվում են բնական ցածր ռադիոակտիվությամբ, բոլոր ռադիոնուկլիդների ակտիվության համար գրանցվել են քաղաքային տարածքի հողերի և UNSCEAR-ի կողմից գնահատված ՀՀ-ի փոխել տարածքի համար ցածր արժեքներ:

Բնական ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված արտաքին և ներքին ռադիոլոգիական վտանգը քաղաքի տարածքում աննշան է: Վտանգի առկայությունը գրանցվել է քաղաքի հյուսիսարևմտյան և արևելյան մասերում տեղակայվող նմուշառման տեղամասերում:

Ստացվել է՝ 02.05.2019
Գրախոսվել է՝ 21.06.2019
Հաստատվել է՝ 01.07.2019

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000*. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, **I** (2000), 1–17.
2. UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly*. // United Nation. (2008), **I**, 20.
3. Ibraheem A.A., El-taher A., Alruwaili M.H.M. Results in Physics Assessment of natural Radioactivity Levels and Radiation Hazard Indices for Soil Samples from Abha, Saudi Arabia. *Results in Physics*, **11** (2018), 325–330. doi.org/10.1016/j.rinp.2018.09.013
4. Mohammed R.S., Ahmed R.S. Estimation of Excess Lifetime Cancer Risk and Radiation Hazard Indices in Southern Iraq. *Environ. Earth. Sci.*, **76** (2017), 303. doi.org/10.1007/s12665-017-6616-7

5. Milenkovic B., Stajic J.M., Gulan Lj., Zeremski T., Nikezic D. Radioactivity Levels and Heavy Metals in the Urban Soil of Central Serbia, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **22** (2015), 16732-16741. doi.org/10.1007/s11356-015-4869-9
6. Ribeiro F.C.A., Silva J.I.R., Lima E.S.A., do Amaral Sobrinho N.M.B., Perez D.V. Lauria D.C. Natural Radioactivity in Soils of the State of Rio de Janeiro (Brazil): Radiological Characterization and Relationships to Geological Formation, Soil Types and Soil Properties. *Journal of Environmental Radioactivity*, **182** (2018), 34–43. doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.017
7. Belyaeva O., Pyuskyulyan K., Movsisyan N., Saghatelyan A., Carvalho F.P. Natural Radioactivity in Urban Soils of Mining Centers in Armenia: Dose Rate and Risk Assessment. *Chemosphere*, **225** (2019), 859–870. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.057
8. Haribala, Hu B., Wang C., Gerilemandahu, Xu X., Zhang S., Bao S., Li Y. Assessment of Radioactive Materials and Heavy Metals in the Surface Soil Around Uranium Mining Area of Tongliao, China. *Ecotoxicol Environ. Saf.*, **130** (2016), 185–192. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.04.002
9. IAEA PUBLICATIONS. *Basic Safety Standards*. GSR part 3 (2014).
10. Ribeiro F.C.A., Lauria D.C., Silva J.I.R., Lima E.S.A., do Amaral Sobrinho N.M.B., Perez D.V. Concentration of Fallout Cesium-137 in Soils of the Rio de Janeiro State, Brazil. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, **04:02** (2016), 01–20. doi.org/10.15392/bjrs.v4i2.236
11. Nalbandyan A.G., Karapetyan A.M. Investigations of Soil Radioactivity Levels in Yerevan City From 1990 to 2002, Materials of EDU, Prague. EDU 2003. 65 p.
12. Բաղդասարյան Ա.Բ., Արախանյան Գ.Ս., Ալեքսանդրյան Գ.Ա., Ասլանյան Ա.Ա., Չոհրարյան Լ.Ն. Հայկական ՄԱՀ Ֆիզիկական Աշխարհագրություն. Եր., ՀՄԱՀ ԳԱ հրատ. (1971), 466 p.
13. Сагатеян А.К. *Особенности распределения тяжелых металлов на территории Армении*. Ер., Изд-во Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (2004), 157 с.
14. Cochran W.G. *Sampling Techniques* (3rd ed.). N.Y., Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & Sons Inc. (1977), 11–30.
15. *Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*. EPA QA/G-5S. Office of Environmental Information. Washington, DC: US EPA (2002) 178 p.
16. US EPA. *Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process*. Data Quality Assessment (DQA) Process. Washington, DC (2006). **EPA/240/B**: EPA QA/G-4, 121 p.
17. Tepanosyan G., Sahakyan L., Belyaeva O., Maghakyany N., Saghatelyan A. Human Health Risk Assessment and Riskiest Heavy Metal Origin Identification in Urban Soils of Yerevan, Armenia. *Chemosphere*, **184** (2017), 1230–1240. dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.108
18. Tepanosyan G.O., Belyaeva O.A., Saakyan L.V., Sagatelyan A.K. Integrated Approach to Determine Background Concentrations of Chemical Elements in Soils. *Geochemistry International*, **55:6** (2017), 581–588. doi:10.1134/S0016702917060106
19. Tepanosyan G., Sahakyan L., Belyaeva O., Saghatelyan A. Origin Identification and Potential Ecological Risk Assessment of Potentially Toxic Inorganic Elements in the Topsoil of the City of Yerevan, Armenia. *J. Geochem. Explor.*, **167** (2016), 1–11. doi:10.1016/j.gexplo.2016.04.006

Н. Э. МОВСИСЯН, О. А. БЕЛЯЕВА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ ГОРОДА ЕРЕВАНА

Резюме

Образцы почвы геохимической съемки г. Еревана были использованы для оценки уровней радиоактивности, обусловленной природными первичными радионуклидами (K-40, Th-232, U-238). Из общего числа проб было отобрано 52 городских и 8 фоновых образцов почвы, которые анализировались на гамма-спектрометре (CANBERRA). Результаты исследования показали зависимость пространственного распределения природных радионуклидов от геологического строения Еревана. На севере, где доминируют вулканические

породы зафиксированы высокие уровни активности нуклидов, а в южной части города, где почва сформирована на осадочных породах, преобладают низкие уровни активности нуклидов. Уровень радиологической опасности в Ереване, обусловленный природными радионуклидами незначителен.

N. E. MOVSISYAN, O. A. BELYAEVA

DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOIL
OF YEREVAN

Summary

Soil samples from Yerevan geochemical survey were used for estimation the radioactivity levels due to natural radionuclides (K-40, Th-232, U-238). 52 urban and 8 background soil samples were analysed using gamma spectrometer (CANBERRA). Results suggested a dependence of spatial distribution of natural radionuclides on geological characteristics of Yerevan: in northern part, where volcanic rocks prevail, high levels of radioactivity have been detected, while in the southern parts, rich in sedimentary rocks, low radioactive levels predominate. The radiological hazard caused by the natural radionuclides in soils of Yerevan is insignificant.