

Երկրաբանություն

УДК 502/504; 502.521; 550.42

ՎԱՆԱԶՈՐ ՔԱՂԱՔԻ ՀՈՂԵՐԻ ԲՆԱԿԱՆ ՌԱԴԻՈԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆ:  
ՌԱԴԻՈԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԵՎ ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Ն. Է. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ \*, Ս. Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ \*\*, Օ. Ա. ԲԵԼՅԱԵՎԱ \*\*\*

ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգիանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոն, Հայաստան

Աշխատանքում ամփոփված են Հայաստանի խոշոր քաղաքներից մեկի՝ Վանաձորի հողերի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների արդյունքները: Գամմա սպեկտրաչափական և iMatic անգազ հաշվարկման համակարգերը (CANBERRA) կիրառվել են համապատասխանաբար բնական ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) և գումարային  $\alpha/\beta$  ակտիվության որոշման համար: Ռադիոլոգիական ցուցանիշները և քաղցկեղածին ռիսկը հաշվարկվել են ՄԱԿ-ի ատոմային ճառագայթման ազդեցության գիտական կոմիտեի (UNSCEAR) մեթոդաբանության համաձայն: Նշանակալի դրական կոռելյացիա է գրանցվել  $^{232}\text{Th}$ -ի և  $^{40}\text{K}$  ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվությունների միջև: Գումարային  $\alpha/\beta$  ակտիվության համեմատաբար բարձր արժեքները գրանցվել են քաղաքի հյուսիսային և արևմտյան հատվածներում: Բնական ռադիոնուկլիդներից  $^{226}\text{Ra}$ -ի դեպքում միջին (17,08  $Bq/kg$ ) և ֆոնային (16,88  $Bq/kg$ ) ակտիվությունները չեն գերազանցում ՀՀ հողերի համար UNSCEAR-ի կողմից գնահատված արժեքը (46  $Bq/kg$ ):  $^{226}\text{Ra}$ -ը ֆոնային ակտիվությունը գերազանցում է հիմնականում քաղաքի հյուսիսային և կենտրոնական հատվածներում:  $^{232}\text{Th}$ -ի միջին ակտիվությունը (29,66  $Bq/kg$ ) մոտ է UNSCEAR-ի միջին արժեքին (30  $Bq/kg$ ), իսկ ֆոնային ակտիվությունը (37,03  $Bq/kg$ ) փոքր ինչ գերազանցում է նշված ցուցանիշը: Քաղաքի մեծ մասում  $^{232}\text{Th}$ -ը ֆոնային ակտիվությունը չի գերազանցում:  $^{40}\text{K}$ -ի դեպքում ակտիվության միջին արժեքը (390,44  $Bq/kg$ ) փոքր-ինչ բարձր է UNSCEAR-ի միջինից (360  $Bq/kg$ ): Ֆոնային ակտիվությունը (469  $Bq/kg$ ) նույնպես ավելի բարձր է սահմանված արժեքից, այդուհանդերձ բոլոր ռադիոնուկլիդների ակտիվությունները տատանման տիրույթի սահմաններում են:  $^{40}\text{K}$ -ը նույնպես քաղաքի մեծ մասում չի գերազանցում ֆոնային արժեքը: Բնական ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված ռադիոլոգիական վտանգի միջին ցուցանիշները, մասնավորապես, ռադիումի համարժեք ակտիվությունը, կլանված արտաքին գամմա ճառագայթման դոզայի հզորությունը, տարեկան արդյունաբար դոզայի համարժեքը, և քաղցկեղածին ռիսկը միջին գործարժեքները չեն գերազանցում:

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2021.55.3.165>

**Keywords:** natural radionuclides, urban soil, cancer risk, Vanadzor.

\* E-mail: [nona.movsisyan@cens.am](mailto:nona.movsisyan@cens.am)

\*\* E-mail: [spartak.hovhannisyanyan@cenc.am](mailto:spartak.hovhannisyanyan@cenc.am)

\*\*\* E-mail: [olga.belyaeva@cens.am](mailto:olga.belyaeva@cens.am)

**Ներածություն:** Շրջակա միջավայրի ռադիոէկոլոգիական հետազոտություններն արդիական են անցած դարի երկրորդ կեսից՝ որպես հետևանք միջուկային գործունեության հետ կապված պատահարների և վթարների, ինչպես նաև միջուկային զենքի փորձարկումների: Մեզ շրջապատում են ռադիոնուկլիդների բնական և տեխնածին տարատեսակ աղբյուրներ, որտեղից ռադիոնուկլիդները կենսատերապիսիական գործընթացների միջոցով դառնում են հասանելի և վտանգավոր մարդկանց ու այլ կենդանի օրգանիզմների համար [1–3]: Քաղաքներում և հարակից գոտիներում բնական ռադիոակտիվության ուսումնասիրումն առավել ևս կարևոր է մի շարք պատճառներով. 1) առողջական ռիսկի գնահատման տեսանկյունից; 2) քաղաքային բազմաֆունկցիոնալ արդյունաբերական գործունեություն; 3) բնական ռադիոնուկլիդների աղբյուր բնակելի շենքերի մեծ խտություն և այլն [4–6]:

Ճառագայթահարման տեսանկյունից, բնական աղբյուրներն ունեն ամենամեծ ազդեցությունը՝ պայմանավորված ցամաքային ռադիոակտիվությամբ: Վերջինս պատճառ է մայրապարներում և հողերում առաջնային ռադիոնուկլիդների առկայությանը՝ U-238 ու դրա տրոհման արգասիք <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ու դրա տրոհման շարքի ռադիոնուկլիդներ, ինչպես նաև տրոհման շարք չառաջացնող <sup>40</sup>K: Հողը հանդիսանում է ռադիոնուկլիդների կուտակման հիմնական միջավայր: Տվյալ տարածքի բնական ռադիոէկոլոգիական վիճակի գնահատման հիմնական մեթոդը հողի ռադիոակտիվության գնահատումն է [3, 4, 7]:

Մույն աշխատանքում ամփոփված են ՀՀ նախկին խոշոր արդյունաբերական կենտրոն հանդիսացող, ՀՀ բնակչության թվով 3-րդ բնակավայր՝ Վանաձոր քաղաքի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների արդյունքները:

**Նյութեր և մեթոդներ:** Վանաձոր քաղաքը գտնվում է Լոռու մարզում՝ Փամբակի ու Բազումի լեռնաշղթաների միջլեռնային գոգավորությունում՝ Փամբակ գետի և դրա Տանձուտ ու Վանաձոր վտակների ափերին: Վարչական տարածքը կազմում է 25,1 կմ<sup>2</sup>: Ծովի մակերևույթից միջին բարձրությունը 1350 մ է: Տարածքին բնորոշ է տարվա բոլոր եղանակներին համեմատաբար խոնավ կլիման: Տարեկան տեղումների ընդհանուր քանակը 600–700 մմ է, օդի տարեկան միջին ջերմաստիճանը 8,5°C է, առավելագույնը՝ 30°C, նվազագույնը՝ –30°C: Վանաձորի մերձակայքում տարածված են լեռնատափաստանային, լեռնաանտառային և լեռնամարգագետնային լանդշաֆտները:

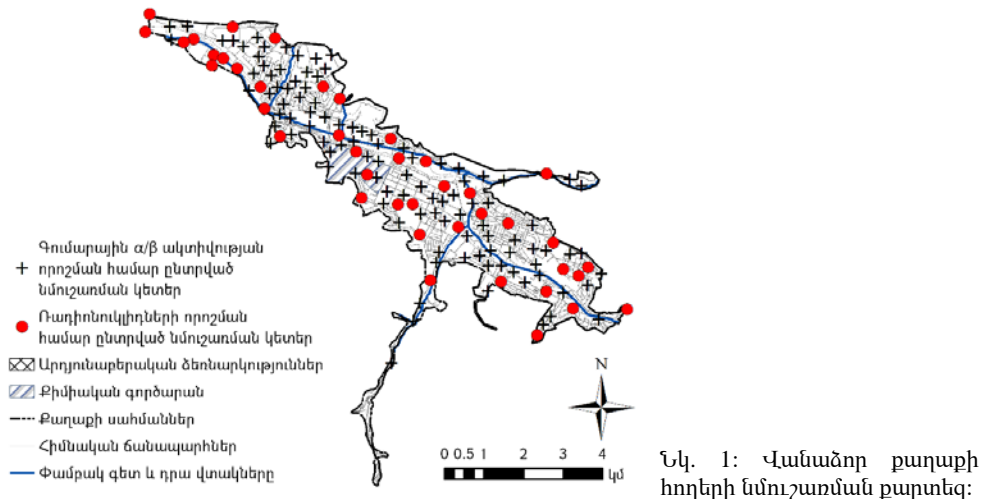
Քաղաքի տարածքի հողային ծածկույթը բնութագրվում է տիպիկ անտառային, գորշ, շագանակամոխրագույն կամ մոխրագույն, թույլ ենթամոխրային (պողգոլացված) հողերով: Այս տիպի հողերն առաջացել են յուրայի, մասամբ՝ կավճային շրջանների ապարների վրա [8]: Երկրաբանական կառուցվածքում մասնակցում են բազալտներ, պորֆիրիտներ ու ավազաքարեր: Տարածաշրջանի երկրաբանական կառուցվածքը բնութագրվում է պալեոգենի հասակի գրանոդիորիտային ինտրուզիաներով, որոնք ծածկված են կրաքարերով, կոնգլոմերատներով, ինչպես նաև կավային շերտախմբով՝ իր ավազաքարային և կրաքարային ենթաշերտերով: Տարածքում առկա են նաև նեոգենի հասակի պորֆիրիտներ և բազալտներ: Վերը նշվածներին ծածկում են չորրորդականի դելյուվիալ–էյուվիալ–կոյուվիալ առաջացումները լանջերին, իսկ հովտային մասերում՝ անկանոն հզորությամբ այուվիալ–պրոյուվիալ կուտակումները [8]:

Քաղաքը խորհրդային տարիներին ուներ զարգացած, հզոր արդյունաբերություն (մեքենաշինություն, քիմիական արդյունաբերություն, թեթև և սննդի արդյունաբերություն): Նախքան ԽՍՀՄ-ի փլուզումը Վանաձորը եղել է քիմիական արդյունաբերության խոշոր կենտրոն, որտեղ արտադրվել են քիմիական մանրաթել, ազոտական թթու, կալցիումի կարբիդ, մելամին և այլն: 1988 թ., երկրաշարժից Վանաձորում ավերվել է բնակելի շենքերի, թաղամասերի, արտադրական, մշակութային, կենցաղսպասարկման կառույցների որոշ մասը: ԽՍՀՄ փլուզմից հետո արդյունաբերական ձեռնարկությունների գերակշռող մասը մասամբ կամ ամբողջովին դադարել է գործելուց: 1990-ական թվականներին մասնակիորեն վերագործարկվել են «Ավտոմատիկա», «Ավտոգենմաշ», «Էլեկտրոն» և այլ ձեռնարկությունները [8]:

Սույն հետազոտության համար օգտագործվել են 2016 թ. Վանաձորում իրականացված երկրաքիմիական հանույթի արխիվային նմուշները [9, 10]: Հողի նմուշները (մակերևութային շերտի, 0–5 սմ) հավաքվել են չժանգոտվող պողպատե բահով: Նմուշառման յուրաքանչյուր տեղամասում 3–5 ենթանմուշի միախառնումից ստացվել է ներկայացուցչական մեկ նմուշ, որոնք չորացվել են սենյակային պայմաններում, մանրացվել, մաղվել (<1 մմ) և պահվել են համաձայն ISO 18512:2007 ստանդարտի [11]: Վանաձորի տարածքից նմուշառվել են 355 քաղաքային հողերի և ֆոնային տարածքի 20 հողային նմուշներ:

Արխիվային 145 և 39 հողային նմուշ ընտրվել են՝ համապատասխանաբար գումարային  $\alpha/\beta$  ակտիվության և ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության որոշման համար՝ օգտվելով ArcGis 10.3 ծրագրի պատահական կետերի գեներատոր (Random Points) գործիքից (նկ. 1): Գումարային  $\alpha/\beta$  ակտիվության որոշման նպատակով հողային նմուշից առանձնացվել է 1-ական  $q$ , մանրացվել է ազաթե հավանգում մինչև դիմափոշու մակարդակի: Այնուհետև 0,5–0,7  $q$  մանրացված նմուշը տեղադրվել է կյոր պլաստմասե նմուշաբռնիչում՝ հողաշերտի հաստությունը պահպանելով 0,1–0,2 մմ  $\alpha$  և  $\beta$  մասնիկների կլանումը նվազեցնելու համար [12]: Գումարային  $\alpha/\beta$  ակտիվությունը որոշվել է iMatic («Canberra») անգագ հաշվարկման համակարգով: Համակարգը ստուգաչափված է 241Am ալֆա և 90Sr/90Y բետա ստանդարտ աղբյուրներով: Նմուշների հաշվարկի ժամանակը կազմել է 12000 վրկ և նվազագույն հայտնաբերելի ակտիվությունը (Minimum Detectable Activity, MDA) որոշվել է iLink™ iSeries™ ծրագրային միջավայրում ու կազմել է 10,2 և 7,0  $Bq/kg$  գումարային  $\alpha$  և  $\beta$  ակտիվությունների համար համապատասխանաբար:

Բնական ռադիոնուկլիդների ակտիվության որոշման նպատակով կիրառվել է ցածրաֆոնային գամմա սպեկտրաչափական համակարգը, որը ներառում է գերմանիումային (HPGe) դետեկտոր՝ 15 սմ-ոց հաստությամբ կապարե պաշտպանով, և DSA-1000 բազմաալիքային անալիզատոր: Յուրաքանչյուր նմուշից 700  $q$  լցվել է Մարինեյի տարայի մեջ, փակվել և պահվել 21 օր՝ դարավոր հավասարակշռության հաստատման համար: Գամմա սպեկտրերի ստացումը տևել է 18000 վրկ, սպեկտրերի վերլուծությունը կատարվել է Genie2K ծրագրային միջավայրում: Ֆոնի և քումիթոնյան էֆեկտի հաշվառումից հետո  $^{40}K$  ակտիվությունը որոշվել է անմիջականորեն 1460,83  $կէՎ$  ֆոտոպիկից, իսկ  $^{226}Ra$  և  $^{232}Th$ -ի ակտիվությունները վերահաշվարկվել են ըստ դուստր նուկլիդների ֆոտոպիկների՝  $^{226}Ra$  ըստ  $^{214}Pb$  (351,9  $կէՎ$ ) և  $^{214}Bi$  (609,2  $կէՎ$ ),  $^{232}Th$ ՝ ըստ  $^{212}Pb$  (239,0  $կէՎ$ ),  $^{208}Tl$  (583,0  $կէՎ$ ) և  $^{228}Ac$  (911,0  $կէՎ$ ):



Հողերում ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության բաշխվածության ուսումնասիրության համար գնահատվել է երկրաքիմիական ֆոնը: 20 նմուշներ հավաքվել են ֆոնային, մարդածին ազդեցությանը չենթարկված տարածքից, որը գտնվում է քաղաքից մոտ 1,7 կմ դեպի արևմուտք: Ընտրված 5 ֆոնային նմուշները տարրալուծվել են քաղաքային հողերի նման: Ֆոնի հաշվարկի համար հարմարեցվել է քաղաքային տարածքների համար ֆոնի հաշվարկման ինտեգրացված մեթոդը, որը նկարագրված է մանրամասն Գ. Տեփանոսյանի և այլոց հոդվածներում [13, 14]:

Գամմա սպեկտրաչափության արդյունքների հիման վրա հաշվարկվել են մի շարք ցուցանիշներ՝ համաձայն UNSCEAR-ի մեթոդաբանության [6]: Դրանք են՝ ռադիոնի համարժեք ակտիվություն ( $RaEq$ )՝

$$RaEq = A_{Ra} + 1,43A_{Th} + 0,077A_K,$$

որտեղ՝  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_K$ -ն  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  և  $^{40}K$ -ի տեսակարար ակտիվություններն են՝  $Bq/kg$ -ով արտահայտված: Ենթադրվում է, որ 370  $Bq/kg$   $^{226}Ra$ , 259  $Bq/kg$   $^{232}Th$  և 4810  $Bq/kg$   $^{40}K$  տալիս են գամմա ճառագայթման դոզայի հավասար հզորություն:

Կլանված արտաքին գամմա ճառագայթման դոզայի հզորությունը (ODRA)-ն հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$ODRA = 0,462A_{Ra} + 0,604A_{Th} + 0,0417A_K:$$

Տարեկան արդյունարար դոզայի համարժեք (AEDE) հաշվելու համար օգտվել ենք համապատասխան բանաձևից՝

$$AEDE = ODRA \times DSF \times OF \times T,$$

որտեղ՝ DCF-ն դոզայի փոխարկման գործակիցն է (0,7  $Qy/Qr$ ), OF-ն՝ տարեկան շինություններից դուրս գտնվելու ժամանակի մասնաբաժինն է (0,2, կամ ժամանակի 20%), T-ն՝ ժամանակը (8760 ժ/տարի):

Կյանքի ընթացքում քաղցկեղի հավելյալ ռիսկ (ELCR), որը բնակչության շրջանում բնական ռադիոնուկլիդներից ճառագայթահարման հետևանքով քաղցկեղի կամ լեյկեմիայի առաջացման հավանականությունն է՝

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF,$$

որտեղ՝ DL-ն՝ կյանքի միջին տևողությունն է (70 տարի), RF-ն՝ քաղցկեղով հիվանդանալու ռիսկի գործակիցն է (0,05  $Qy-1$ ):

Հողում գումարային  $\alpha/\beta$  և ռադիոնուկլիդների ակտիվության մակարդակների, իչպես նաև RaEq և ELCR-ի արժեքների տարածական բաշխվածության քարտեզները կազմվել են ArcGIS 10.3 ծրագրային միջավայրում կիրառելով IDW (Inverse Distance Weighting) ինտերպոլյացիայի մեթոդը:

**Արդյունքներ և քննարկում:** Ինչպես երևում է աղյ. 1-ում բերված վիճակագրական ցուցանիշներից, գումարային  $\beta$  ակտիվության,  $^{226}\text{Ra}$  և  $^{232}\text{Th}$ -ի ընտրանքներում ասիմետրիան և էքսցեսն ունեն մեծ արժեքներ, ինչը վկայում է փոփոխականների նորմալ բաշխվածությունից շեղման մասին: Մյուս կողմից, մեդիանի և միջին թվաբանականի մոտ արժեքները փաստում են ընտրանքների որոշակի համաչափության մասին:  $^{40}\text{K}$ -ի ընտրանքում ասիմետրիան մոտ է 0-ի, իսկ էքսցեսը՝ 3, միջին և մեդիան արժեքները ևս իրար մոտ են, այսինքն՝  $^{40}\text{K}$ -ի բախշվածությունը մոտ է նորմալին:

Աղյուսակ 1

Հիմնական վիճակագրական նկարագրական ցուցանիշները

Ցուցանիշ	Գումարային $\alpha$ ակտիվություն	Գումարային $\beta$ ակտիվություն	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
N	69	145	39	39	39
< MDA	76	0	0	0	0
Նվազագույն	13,70	128,00	4,23	7,44	46,14
Առավելագույն	52,30	562,00	57,82	50,00	734,10
Միջին	27,98	289,20	17,08	29,66	390,44
Մեդիան	26,90	280,00	15,84	28,01	398,10
Ստանդարտ եղում	8,77	61,80	9,30	12,01	113,56
Ասիմետրիա	0,51	1,12	2,25	-0,04	-0,35
Ասիմետրիայի ստ. սխալ	0,29	0,20	0,38	0,38	0,38
Էքսցես	-0,19	3,46	8,72	-1,33	3,22
Էքսցեսի ստ. սխալ	0,57	0,40	0,74	0,74	0,74
Փոն, $\text{Bq/kg}$			16,88	37,03	469,0
Միջին ՀՀ հողերի համար (տատանման սահմանները) ըստ [6], $\text{Bq/kg}$			46(20–78)	30(29–60)	360(310–420)

Աղյուսակ 2

$\text{Ra}$ - $\text{Th}$ - $\text{K}$  զանգվածային կոռելյացիա հետազոտված ցուցանիշների միջև

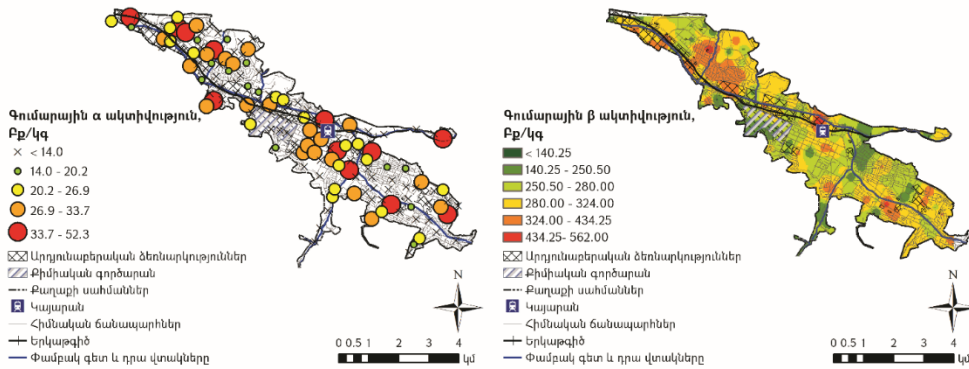
Ցուցանիշներ	Գումարային $\beta$ ակտիվություն	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Գումարային $\beta$ ակտիվություն	1			
$^{226}\text{Ra}$	-0,08	1		
$^{232}\text{Th}$	0,24	0,12	1	
$^{40}\text{K}$	0,26	0,29	0,504**	1

\*\* Նշանակալի է 0,01 մակարդակում:

Գումարային  $\alpha$  ակտիվության ընտրանքում գերակշռում են <MDA արժեքները, որի պատճառով այս ցուցանիշի համար բերված են միայն հիմնական վիճակագրական ցուցանիշները, սակայն հետագա վիճակագրական վերլուծությունը  $\alpha$  ակտիվության համար հնարավոր չէ: Գումարային  $\beta$  ակտիվությունը ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության հետ չի

կոռելյացվում (աղյ. 2): Նշանակալի դրական կոռելյացիա է գրանցվել  $^{232}\text{Th}$ -ի և  $^{40}\text{K}$  տեսակարար ակտիվությունների միջև:

Նմուշների 52%-ում  $\alpha$  ակտիվությունը հայտնաբերման շեմից ցածր է (<MDA): Մյուս նմուշներում այն տատանվում է 13,9–42,9  $\text{Bq/kg}$  սահմաններում (աղյ. 1): Գումարային  $\alpha$  ակտիվությունն առավել բարձր է Բագուն գետից դեպի հյուսիս և Փամբակից դեպի հյուսիս-արևմուտք ընկած տարածքներում (նկ. 2): Գումարային  $\beta$  ակտիվությունը տատանվում է 180,0–562,0  $\text{Bq/kg}$  սահմաններում, միջինում կազմելով 289  $\text{Bq/kg}$ :  $\beta$  ակտիվության առավելագույն դաշտը հատվածներում (նկ. 2): Քաղաքում գերակշռում է 250,00–324,00  $\text{Bq/kg}$   $\beta$  ակտիվության դաշտը: Գումարային  $\beta$  ակտիվության միջինից բարձր արժեքներ հայտնաբերվել են քաղաքի հարավային հատվածներում և Դարպաս համայնքի մերձակայքում:



Նկ. 2: Գումարային  $\alpha$  և  $\beta$  ակտիվությունների տարածաբաշխումը Վանաձոր քաղաքի տարածքում:

$^{226}\text{Ra}$ -ի համար միջին ցուցանիշը կազմել է 17,08  $\text{Bq/kg}$ , իսկ նվազագույն և առավելագույն արժեքները՝ 4,23 և 57,82  $\text{Bq/kg}$ ՝ համապատասխանաբար (աղյ. 1): Քաղաքի հյուսիսային և կենտրոնական հատվածներում  $^{226}\text{Ra}$ -ի ակտիվությունը գերազանցում է ֆոնայինը մինչև 2 անգամ, իսկ առավելագույն արժեք գրանցվել է մի կետում, քաղաքի հյուսիսարևելյան հատվածում, որը ֆոնից բարձր է 3,42 անգամ և գերազանցում է նաև հանրապետության միջինը (46  $\text{Bq/kg}$ ): Քաղաքի մյուս հատվածներում ռադիումի ակտիվությունը ֆոնայինից ցածր է (նկ. 3): Վանաձորի հողերում  $^{232}\text{Th}$  և  $^{40}\text{K}$ -ի համար ընտրված ֆոնային արժեքները փոքր-ինչ բարձր են UNSCEAR-ի կողմից  $\lll$  հողերի համար գնահատված միջին մակարդակից [6]:  $^{232}\text{Th}$ -ի միջին ակտիվությունը կազմել է 29,66  $\text{Bq/kg}$ , նվազագույն և առավելագույն արժեքները՝ 7,44 և 50,00  $\text{Bq/kg}$  համապատասխանաբար: Քաղաքի հիմնական մասում  $^{232}\text{Th}$ -ը ֆոնը չի գերազանցում, սակայն այն բարձր է հանրապետության միջինից (30  $\text{Bq/kg}$ ): Ֆոնը 1,3 անգամ գերազանցող տեսակարար ակտիվություն գրանցվել է Դարպաս համայնքից դեպի արևելք ընկած հատվածում: Քաղաքի հողերում  $^{40}\text{K}$ -ի ակտիվությունը տատանվում է 46,14 և 734,10  $\text{Bq/kg}$  սահմաններում, միջինը՝ 390,44  $\text{Bq/kg}$  է: Նմուշների 80% ֆոնը չի գերազանցվում, սակայն մի փոքր բարձր է UNSCEAR-ի միջինից (360  $\text{Bq/kg}$ ): Ֆոնից 1,5

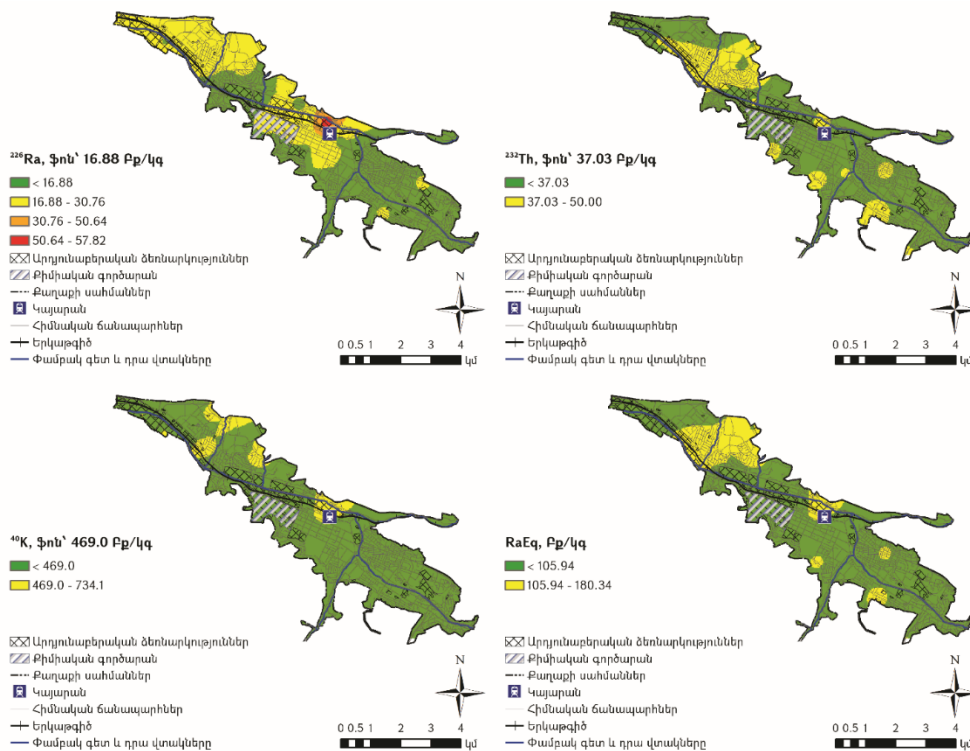
անգամ բարձր արժեքներ հայտնաբերվել են քաղաքի հյուսիսարևելյան և հյուսիսային շրջաններում:

Ռադիումի համարժեք ակտիվության դաշտերը համընկնում են <sup>232</sup>Th-ի ակտիվության դաշտերի հետ: Ուսումնասիրված նմուշների 70%-ում գրանցվել է ֆոնային արժեքից ցածր ցուցանիշներ: Քաղաքի հյուսիսարևելյան հաստվածում գրանցվել է ֆոնը մինչև 1,7 անգամ զերազանցող ակտիվություն:

Աղյուսակ 3

Վանաձոր քաղաքի հողերի ռադիոլոգիական ցուցանիշները

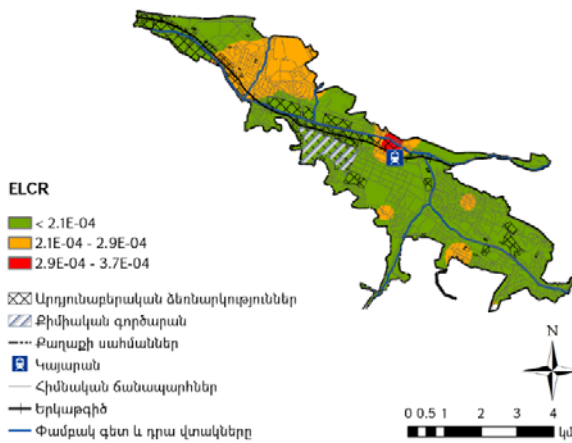
Ցուցանիշ	Նվազագույն	Առավելագույն	Միջին	Գորթալ միջին / սահմանային արժեք ըստ [4]
RaEq, <i>Բք/կգ</i>	38,62	180,34	89,56	370
ODRA, <i>նԳր/ժ</i>	19,18	85,20	42,09	59
AEDE, <i>մՉվ/տ</i>	0,02	0,10	0,05	0,07
ELCR	8,2E-05	3,7E-04	1,8E-04	2,9E-04



Նկ. 3: Ռադիոնուկլիդների ակտիվության տարածարաշխումը Վանաձոր քաղաքի տարածքում:

Աղյ. 3-ում բերված են Վանաձորի հողերում բնական ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության հիման վրա հաշվարկված ռադիոլոգիական ցուցանիշների արժեքները: Հաշվարկված ցուցանիշներից ոչ մեկի միջին արժեքը

գլոբալ միջինը չի գերազանցում, սակայն ODR, AEDE և ELCR-ի առավելագույն արժեքները բարձր են գլոբալ միջինից: ODR միջինը գերազանցել է նմուշառման երկու կետում (60,3 և 85,20  $\mu\text{g}/\text{g}$ ), որոնք տեղակայված են Դարպաս համայնքում և քաղաքի հյուսիսարևելյան հատվածում՝ երկաթգծի Կայարանից դեպի հյուսիս, նախկին պեմզաբլոկի արտադրամասի տարածքում, որտեղ մինչ օրս առկա են արտադրական թափոններ (հիմնականում ավազի տեսքով): Հարկ է նշել, որ նմուշառման այս կետում գրանցվել են բոլոր ռադիոնուկլիդների տեսակարար ակտիվության և զումարային  $\beta$  ակտիվության առավելագույն ցուցանիշները: AEDE-ի և ELCR-ի առավելագույն արժեքները ևս գրանցվել են միայն այս կետում և գլոբալ միջինը գերազանցում են 1,5 և 1,3 անգամ համապատասխանաբար: Քաղաքի հողերում բնական ռադիոնուկլիդներով պայմանավորված քաղցկեղածին ռիսկի տարածական բաշխվածությունը ներկայացված է նկ. 4-ում:



Նկ. 4: ELCR-ի տարածական բաշխվածությունը Վանաձոր քաղաքի հողերում:

**Եզրակացություն:** Ըստ Վանաձոր քաղաքում իրականացված ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների, եզրակացնում ենք հետևյալը.

1. զումարային  $\alpha$  ակտիվության բարձր կետային արժեքները տեղակայված են Բագում գետից դեպի հյուսիս և Փամբակից դեպի հյուսիսարևմուտք ընկած տարածքներում:  $\beta$  ակտիվության դաշտերի առավելագույն արժեքները ընկած են քաղաքի հյուսիսային և արևելյան հատվածներում, միջինից բարձր արժեքներ հայտնաբերվել են հարավային մասում՝ Դարպաս համայնքի մոտակայքում:

2.  $^{226}\text{Ra}$ -ի ֆոնային տեսակարար ակտիվությունը փոքր-ինչ ցածր է UNSCEAR-ի կողմից ՀՀ հողերի համար գնահատված ցուցանիշներից, իսկ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ֆոնային արժեքները մոտ են միջինին: Բոլոր բնական ռադիոնուկլիդների համար ֆոնը գերազանցող առավելագույն տեսակարար ակտիվությունը գրանցվել է նմուշառման մեկ կետում՝ երկաթգծի կայարանից դեպի հյուսիս, նախկին պեմզաբլոկի արտադրամասի տարածքում, որտեղ մինչ օրս առկա են արտադրական թափոններ: Փոնը մինչև 2 անգամ գերազանցող տեսակարար ակտիվություն բոլոր ռադիոնուկլիդների համար գրանցվել է քաղաքի հս. մասում, Բագում գետի հովտի և դրան հարակից մասերում:



3. Ռադիոլոգիական ցուցանիշների և քաղցկեղածին ռիսկի միջին արժեքները չեն գերազանցում սահմանային ցուցանիշներն ըստ UNSCEAR-ի: Բոլոր ցուցանիշների առավելագույն արժեքները գրանցվել են մեկ կետում՝ երկաթօգծի կայարանից դեպի հս տեղակայված արդյունաբերական տարածքում և գերազանցում են հիշատակված սահմանային մակարդակները: Այսպիսով, Վանաձորի հողերի բնական ռադիոակտիվությամբ պայմանավորված ռիսկերը ցածր են և նախկինիում բազմատեսակ արդյունաբերական գործունեությունը բնական ռադիոնուկլիդների բաշխվածության վրա չի անդրադարձել:

*Սույն հետազոտության համար կիրառվել են 15T-1E017 ծածկագրով «ՀՀ տարածքում սնդիկով աղտոտման ռիսկերի գնահատում» թեմատիկ նախագծի շրջանակներում իրականացված բազմաֆունկցիոնալ երկրաքիմիական հետազոտությունները: Ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգիանոսֆերային հետազոտությունների կենտրոնի «Շրջակա միջավայրի երկրաբնասպահայանական հետազոտություններ» բազային ֆինանսավորման ծրագրի շրջանակներում:*

Ստացվել է՝ 29.04.2021

Գրախոսվել է՝ 25.09.2021

Հաստատվել է՝ 16.12.2021

#### Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. Ghias S., Satti K.H., et al. Health Risk Assessment of Radioactive Footprints of the Urban Soils in the Residents of Dera Ghazi Khan, Pakistan. *Chemosphere* **267** (2021), 129171. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129171>
2. Pyuskyulyan K., Lamont S.P., Atoyan V., Belyaeva O., Movsisyan N., Saghatelian A. Altitude-dependent Distribution of <sup>137</sup>Cs in the Environment : a Case Study of Aragats Massif , Armenia. *Acta Geochim.* (2019). <https://doi.org/10.1007/s11631-019-00334-0>
3. UNSCEAR (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. <https://doi.org/10.1093/molbev/msn167>
4. Belyaeva O., Pyuskyulyan K., Movsisyan N., Saghatelian A., Carvalho F. Natural Radioactivity in Urban Soils of Mining Centers in Armenia : Dose Rate and Risk Assessment. *Chemosphere* **225** (2019), 859–870. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.057>
5. Մովսիսյան Ն.Է., Բելյաևա Օ.Ա. Բնական ռադիոնուկլիդների բաշխվածությունը Երևան քաղաքի հողերում: *ԵՊՀ գիտական տեղեկագիր: Երկրաբանություն և աշխարհագրություն* **53** : 2 (2019), 84–93. <https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2019.53.2.084>
6. UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes (2000).
7. Paschoa et. al. Terrestrial , Atmospheric , and Aquatic Natural Radioactivity. *Radioact. Environ.* **17** (2010), 29–85. [https://doi.org/10.1016/S1569-4860\(09\)01703-3](https://doi.org/10.1016/S1569-4860(09)01703-3)
8. ԿՏԲԿ. Վանաձոր քաղաքի Շրջակա Միջավայրի Պահպանության Գործողությունների Ծրագիր. Վանաձոր (2017).
9. Sahakyan L., Tepanosyan G., et al. Contamination Levels and Human Health Risk Assessment of Mercury in Dust and Soils of the Urban Environment, Vanadzor, Armenia. *Atmos. Pollut. Res.* **10** (2019a), 808–816. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.009>

10. Sahakyan L., Tepanosyan G., et al. Mercury Soil Contents and Associated Ecological and Health Risks in Kindergartens and Functional Areas of the City of Vanadzor (Armenia). *Geogr. Environ. Sustain.* **12** (2019b), 252–271.  
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-12>
11. ISO 18512:2007. Soil Quality – Guidance on Long and Short Term Storage of Soil Samples.  
<https://www.iso.org/standard/38721.html>
12. *Measurement of Radioactivity in the Environment. Soil. Part 6: Measurement of Gross Alpha and Gross Beta Activities.* International Organization for Standardization (ISO) **6** (2009), 18589, Geneva, Switzerland, 12 p.
13. 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.  
<https://doi.org/10.1134/S0016702917060106>
14. Тѳпаносян Г.О., Бѳляева О.А. и др. Интегрированный подход при определении фоновых содержаний химических элементов в почвах. *Геохимия* **6** (2017), 563–570.  
<https://doi.org/10.7868/S0016752517060103>

Н. Э. МОВСИСЯН, С. М. ОВАННИСЯН, О. А. БЕЛЯЕВА

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ ГОРОДА ВАНАДЗОР

### Резюме

В работе приведены результаты радиоэкологических исследований одного из крупнейших городов Армении – Ванадзора. С целью определения удельной активности естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и суммарной  $\alpha/\beta$ -активности применялись соответственно гамма-спектрометрическая система и iMatic безгазовый  $\alpha/\beta$ -счетчик (CANBERRA). Радиологические параметры и канцерогенный риск рассчитывались согласно методике Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР). Статистически значимая корреляция была обнаружена между удельными активностями  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ . Относительно высокие значения суммарной  $\alpha/\beta$ -активности зафиксированы в северной и западной частях городской территории. Средняя удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  (17,08 Бк/кг) и его фоновая активность (16,88 Бк/кг) не превышают значений, определенных НКДАР для почв Армении (46 Бк/кг). Наибольшая фоновая активность  $^{226}\text{Ra}$  была обнаружена в основном в северной части и в центре города. Средняя активность  $^{232}\text{Th}$  (29,66 Бк/кг) близка к среднему значению НКДАР (30 Бк/кг), а фоновая активность (37,03 Бк/кг) незначительно превышает. В большей части города фоновая активность  $^{232}\text{Th}$  не превышает значения НКДАР. Средняя удельная активность  $^{40}\text{K}$  (390,44 Бк/кг) оказалась выше значения НКДАР. Фоновая активность  $^{40}\text{K}$  (469,0 Бк/кг) также превышает среднее значение НКДАР, однако активность всех исследованных радионуклидов находится в соответствующих пределах.  $^{40}\text{K}$  тоже не превышает фон в большей части города. Значения радиологических параметров, в частности мощности поглощенной гамма-дозы, годового эффективного эквивалента дозы, активности эквивалента радия и канцерогенного риска, не превышают средние глобальные значения.

N. E. MOVSISYAN, S. M. HOVHANNISYAN, O. A. BELYAEVA

## RADIOECOLOGICAL STUDIES IN URBAN SOIL OF VANADZOR

### Summary

The work summarizes the results of radioecological studies of soils implemented in one of the largest cities of Armenia: the city of Vanadzor. Gamma spectrometric and iMatic gas-less counting systems (CANBERRA) were applied to determine the specific activities of natural radionuclides ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) and gross  $\alpha/\beta$  activities, respectively. Radiological indices and excess lifetime cancer risk were calculated according to the methodology of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Statistically significant correlation was found between the activities of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ . The relatively high values of gross  $\alpha/\beta$  activities were found in the northern and western parts of the city. In the case of natural radionuclides, the average ( $17.08\text{ Bq/kg}$ ) and geochemical background ( $16.88\text{ Bq/kg}$ ) of  $^{226}\text{Ra}$  and do not exceed the UNSCEAR value for the soil of Armenia ( $46\text{ Bq/kg}$ ). The highest activities of  $^{226}\text{Ra}$  were found mainly in the northern part and city center. The average activity of  $^{232}\text{Th}$  ( $29.66\text{ Bq/kg}$ ) was close to UNSCEAR average value ( $30\text{ Bq/kg}$ ) and the background ( $37.03\text{ Bq/kg}$ ) slightly exceeds. In most parts of the city,  $^{232}\text{Th}$  does not exceed the background value. For  $^{40}\text{K}$  the average activity ( $390.44\text{ Bq/kg}$ ) was found to be higher than UNSCEAR value. The background value ( $469.0\text{ Bq/kg}$ ) also exceeds the UNSCEAR average, however, the activities of all investigated radionuclides are within the ranges.  $^{40}\text{K}$  also does not exceed the background in most of the city. Radionuclide-associated radiological hazards, in particular, absorbed gamma dose rate, annual effective dose equivalent, radium equivalent activity, and cancer risk do not exceed the reference values.