



DOI: 10.5281/zenodo.22756604 · UDC: 613.5:727:546.296(478)

EVALUAREA CONCENTRAȚIILOR DE RADON DIN INTERIOR ÎN ÎNSTITUȚIILE DE ÎNVĂȚĂMÂNT DIN REPUBLICA MOLDOVA, UTILIZÂND TEHNICI PASIVE

ASSESSMENT OF INDOOR RADON CONCENTRATIONS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA USING PASSIVE TECHNIQUES

Liuba Corețchi¹, Aurelia Ababii¹, Ileana Rădulescu², Bianca-Maria Linca², Theodora Paraschiva Gheorghe²

¹ Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

² Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH), Măgurele, România

REZUMAT

Introducere. Radonul este un gaz radioactiv natural, răspândit în scoarța terestră și rezultat din dezintegrarea radioactivă a uraniului. Expunerea cronică la radon în interiorul încăperilor crește riscul de cancer pulmonar. Organizația Mondială a Sănătății subliniază că radonul este principala cauză a cancerului pulmonar la nefumători. Riscul depinde atât de concentrația radonului din interior, cât și de durata expunerii. Monitorizarea și controlul concentrației de radon în locuințe și la locurile de muncă reprezintă o problemă importantă la nivel mondial, instituțiile de învățământ fiind considerate prioritare.

Scopul studiului a fost evaluarea concentrațiilor de radon în instituțiile de învățământ gimnazial din Republica Moldova și identificarea clădirilor în care sunt necesare măsuri de remediere.

Materiale și metode. Concentrațiile de radon au fost evaluate în 300 de instituții de învățământ. Măsurătorile au fost efectuate la parter, în perioada septembrie 2025–martie 2026, utilizând detectoare pasive CR-39. Au fost analizate statistic 288 de măsurători valide (12 detectori au fost pierduți), iar distribuția spațială a fost cartografiată în mediul GIS prin metoda Kriging.

Rezultate. Mediana concentrației de radon a fost de 193,50 Bq/m³, cu valori cuprinse între 20,92 și 1288,26 Bq/m³. În 96 de școli (33,3%), concentrația a depășit nivelul național de referință de 300 Bq/m³. Doza efectivă anuală medie estimată a fost de 1,29 mSv/an, cu valori între 0,11 și 4,52 mSv/an.

Concluzii. Rezultatele indică o variabilitate importantă a concentrațiilor de radon în mediul școlar și necesitatea aplicării măsurilor de remediere în clădirile în care nivelul de referință a fost depășit.

Cuvinte-cheie: radon în interior, instituții de învățământ, detectoare pasive, Republica Moldova

ABSTRACT

Background. Radon is a naturally occurring radioactive gas found in the Earth's crust as a result of the radioactive decay of uranium. Chronic indoor radon exposure increases the risk of lung cancer. The World Health Organization emphasizes that radon is the leading cause of lung cancer among nonsmokers. The risk depends on both indoor radon concentration and exposure duration. Monitoring and controlling radon concentrations in homes and workplaces is an important global concern, with educational institutions considered a priority.

The study aimed to assess radon concentrations in secondary educational institutions in the Republic of Moldova and identify buildings requiring remediation.

Materials and methods. Radon concentrations were assessed in 300 educational institutions. Measurements were performed on the ground floor from September 2025 to March 2026 using passive CR-39 detectors. A total of 288 valid measurements were statistically analyzed, and the spatial distribution was mapped in a GIS environment using Kriging.

Results. The median radon concentration was 193.50 Bq/m³, with values ranging from 20.92 to 1288.26 Bq/m³. Concentrations exceeded the national reference level of 300 Bq/m³ in 96 schools (33.3%). The estimated mean annual effective dose was 1.29 mSv/year, ranging from 0.11 to 4.52 mSv/year.

Conclusions. The results indicate substantial variability in radon concentrations in the school environment and the need for remediation measures in buildings where the reference level was exceeded.

Keywords: indoor radon, educational institutions, passive detectors, Republic of Moldova

Introducere

Radonul este un gaz radioactiv natural, răspândit în scoarța terestră și rezultat din dezintegrarea radioactivă a uraniului. Radonul nu poate fi perceput de oameni, deoarece este incolor și inodor, însă radioactivitatea sa poate fi măsurată. În unele clădiri se înregistrează concentrații mari de radon, în special în zonele cu un conținut mai ridicat de uraniu natural în sol și roci. Radonul poate fi prezent și în materialele de construcție și în apa potabilă, dar, în majoritatea cazurilor, acestea determină o expunere la radiații mai mică decât radonul provenit din sol [1, 2]. Numeroase studii din Republica Moldova au abordat măsurarea radonului și evaluarea dozelor în spații interioare, precum locuințele, spațiile publice și locurile de muncă [1, 3, 4].

Radonul poate pătrunde în clădiri ca urmare a diferenței de presiune dintre clădire și solul de sub fundație, prin fisuri în pereți, conducte și alte căi de comunicare, precum și prin materialele de construcție și apa potabilă [2, 5].

Expunerea prelungită la radon în interiorul încăperilor crește riscul de cancer pulmonar. Organizația Mondială a Sănătății (OMS) subliniază că radonul este principala cauză a cancerului pulmonar la nefumători. Riscul depinde atât de concentrația radonului din interior, cât și de durata expunerii [2]. Riscul pentru sănătate crește în cazul expunerii îndelungate la concentrații ridicate de radon. Agenția Internațională pentru Cercetarea Cancerului (IARC) a clasificat radonul drept agent cancerigen pulmonar pentru om încă din 1988 [6]. Comisia Internațională pentru Protecție Radiologică (ICRP) a aprobat o declarație privind radonul, în vederea revizuirii și actualizării recomandărilor referitoare la controlul expunerii la surse de radiații [7]. În contextul acestor publicații, Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA) [8] și Comisia Europeană [9] și-au revizuit standardele de securitate de bază. Ambele standarde prevăd controlul expunerii populației la radonul din interior. Studiile epidemiologice efectuate în spații rezidențiale confirmă direct riscul de cancer pulmonar asociat expunerii la radon [2, 10, 11].

Expunerea totală la radon include expunerea din locuințe, școli, locuri de muncă și spații destinate timpului liber [12, 13]. Cancerul bronhopulmonar este una dintre cele mai importante neoplazii umane din punctul de vedere al incidenței și mortalității. Cele mai mari rate standardizate ale incidenței cancerului pulmonar la nivel mondial se înregistrează în America de Nord și Europa [7, 13]. Studiile epidemiologice și ecologice au confirmat că radonul din locuințe crește riscul de cancer pulmonar în populația generală [1, 14, 15].

Variabilitatea semnificativă a activității volumetrice a radonului în aerul interior se datorează în principal geologiei teritoriului și factorilor care influențează diferența de presiune dintre exteriorul și interiorul clădirii, precum rata schimbului de aer, încălzirea clădirii și condițiile meteorologice.

Monitorizarea și controlul concentrației de radon în locuințe și la locurile de muncă reprezintă o problemă importantă la nivel mondial. În acest context, instituțiile de învățământ sunt considerate prioritare, deoarece reprezintă locuri de muncă și spații în care copiii și personalul petrec o parte importantă a zilei. Copiii pot prezenta o vulnerabilitate particulară la factorii de mediu; în cazul radonului, expunerea este determinată în principal de inhalarea radonului și a produșilor săi de dezintegrare [10, 11].

Cancerul bronhopulmonar declanșat direct în timpul copilăriei din cauza radonului este o afecțiune extrem de rară, deoarece tumorile pulmonare induse de radiații au nevoie de o perioadă de latență de 10 până la 30 de ani pentru a se dezvolta. Totuși, expunerea la radon în copilărie contribuie la expunerea cumulativă de-a lungul vieții. Unele studii epidemiologice au investigat, de asemenea, posibile asocieri între expunerea rezidențială la radon și anumite cancere pediatrice, însă dovezile disponibile necesită o interpretare prudentă [12].

Numeroase studii și sinteze publicate s-au concentrat asupra măsurării radonului din aerul interior al școlilor, grădinițelor și creșelor, utilizând protocoale specifice [17-19]. Pentru investigarea influenței diversilor factori asupra concentrațiilor de radon din interior, majoritatea studiilor au inclus măsurători în diferite locații și la diferite niveluri ale clădirilor. Unii autori au luat în considerare și alți factori, precum vechimea clădirii, materialele de construcție, lucrările de modernizare și contextul geografic (rural sau urban). În mai multe țări ale Uniunii Europene au fost raportate concentrații de radon care depășesc nivelurile naționale de referință [18, 19].

Determinarea concentrației de radon în aerul clădirilor publice, inclusiv al instituțiilor de învățământ, constituie o acțiune prioritară pentru elaborarea și implementarea planului de acțiune privind controlul expunerii la radon, în contextul obiectivelor Directivei 2013/59/Euratom [9].

Scopul acestei lucrări a fost evaluarea concentrațiilor de radon în aerul instituțiilor de învățământ gimnazial din Republica Moldova și identificarea clădirilor în care sunt necesare măsuri de reducere a concentrației de radon.

Materiale și metode

Concentrațiile de radon din interior au fost evaluate în 300 de instituții de învățământ din Republica Moldova. Măsurătorile au fost efectuate utilizând tehnica pasivă bazată pe detectoare nucleare de urme în stare solidă CR-39, citite cu sistemul RADOSYS, în conformitate cu metodologia de monitorizare a radonului în instituțiile de învățământ [20]. Detectoarele au fost amplasate la parter și expuse în perioada septembrie 2025–martie 2026, care a inclus atât condiții meteorologice relativ calde, cât și reci. Analiza

statistică a fost efectuată cu programul Statistica 10. Dozele efective anuale asociate expunerii la radon au fost calculate conform recomandărilor ICRP [7]: $E = CR_n \times F \times T \times DCF$ unde, E – doza efectivă anuală, exprimată în mSv/an; CR_n – concentrația de activitate a radonului în aer, exprimată în Bq/m³; F – Factorul de echilibru dintre radon și descendenții săi, pentru mediile interioare s-a utilizat factorul de echilibru $F = 0,4$; T – Timpul de expunere a copiilor la radon în școli (ore petrecute zilnic/anual în școală). Reprezintă durata sau cantitatea de timp anuală. În medie, un elev petrece în școală 7 ore/zi, 9 luni, deci aproximativ 270 zile/an, respectiv aproximativ 1890 ore/an; DCF – coeficientul de conversie a expunerii la radon în doză efectivă. $DCF = 6,7 \times 10^{-6}$ mSv/(Bq·h·m⁻³), conform coeficientului de doză recomandat de ICRP Publication 137 pentru majoritatea situațiilor de expunere în clădiri, la $F = 0,4$. Cartografierea a fost efectuată într-un mediu de sistem informațional geografic (GIS), utilizând extensia Smart-Map integrată în QGIS. Pentru obținerea hărților de distribuție continuă a parametrilor investigați a fost utilizat algoritmul Kriging ordinar, datorită eficienței sale în geostatistica mediului și capacității de a încorpora dependența spațială dintre observațiile învecinate, minimizând totodată incertitudinea predicției [4]. Utilizarea metodei Kriging a permis evidențierea zonelor cu probabilitate sporită de acumulare a radonului și identificarea arealelor în care sunt necesare investigații suplimentare. Hărțile obținute oferă suport pentru interpretarea spațială a rezultatelor și pot fi utilizate la planificarea măsurilor de monitorizare, prevenire și remediere. Astfel, integrarea datelor măsurate cu metodele GIS contribuie la evaluarea riscului radiologic și la fundamentarea deciziilor privind protecția sănătății publice în instituțiile de învățământ. Hărțile interpolate au caracter exploratoriu și nu substituie măsurătorile directe ale concentrației de radon în clădiri.

Rezultate și discuții

Determinarea concentrațiilor de radon în încăperi. Concentrațiile de radon din interior au fost evaluate în 300 de clădiri amplasate în zonele geografice Nord, Centru și Sud; 288 de măsurători au fost valide.

Caracteristicile clădirilor în care concentrația radonului a depășit 300 Bq/m³. Caracterizarea clădirilor instituțiilor de învățământ gimnazial (IÎG) s-a bazat pe răspunsurile consemnate în chestionare. Au fost analizate 96 de școli în care concentrația de radon a depășit nivelul de 300 Bq/m³. Dintre acestea, 31 de clădiri (32,3%) aveau un etaj, 29 (30,2%) aveau două etaje, iar 36 (37,5%) aveau trei etaje. În 98,96% dintre școli, clădirile aveau fundații din beton. Pardoselile erau realizate din lemn (87,50%), parchet masiv (2,08%), gresie (1,04%), parchet laminat (8,33%) sau alte materiale (1,05%). Materialele pereților includeau beton armat (5,21%), cărămidă (3,13%), piatră (12,50%), lemn (2,08%), calcar tăiat (coteleț) (76,04%) și alte materiale, inclusiv lut (1,04%). Tavanele erau realizate din beton armat (9,38%), lemn (8,33%) sau alte materiale, inclusiv lut (11,46%). Clădirile aveau ferestre

simple (8,33%) sau ferestre termoizolante (91,67%). Fereastra încăperii investigate era deschisă permanent (1,04%), periodic (93,75%) sau era închisă permanent (5,21%). Pereții prezentau fisuri în 19,79% dintre încăperi. Ventilația artificială lipsea în 77,08% dintre încăperile investigate; în 17,71% se utiliza un ventilator, iar în 5,21% aer condiționat. Aerisirea se efectua în 85,42% dintre încăperi. Subsolul exista în 25% dintre clădiri.

Datele din tabelul 1 și figura 1 prezintă distribuția concentrațiilor de radon în instituțiile de învățământ gimnazial (IÎG) din Republica Moldova. Mediana a fost de 193,50 Bq/m³, iar valorile minimă și maximă au fost de 20,92 Bq/m³ și, respectiv, 1288,26 Bq/m³. Nivelul național de referință al radonului în interior este de 300 Bq/m³. În studiul nostru, concentrația radonului a depășit nivelul de referință în 96 de școli (33,3%); în 74 de școli (25,7%) a fost mai mică de 100 Bq/m³, iar în 118 școli (41,0%) s-a situat între 100 și 299 Bq/m³.

S-au observat diferențe ale distribuției concentrațiilor de radon între zonele geografice investigate. Medianele pentru zonele Centru, Nord și Sud au fost de 159,34 Bq/m³, 254,64 Bq/m³ și, respectiv, 180,22 Bq/m³. Diagrama boxplot arată că valorile cele mai ridicate au fost identificate în zona de Nord, unde media a fost de 330,73 Bq/m³. Rezultatele indică depășiri ale nivelului de referință și necesitatea implementării măsurilor de remediere. În zonele Centru și Sud, mediile au fost sub nivelul național de referință, fiind de 220,89 Bq/m³ și, respectiv, 231,69 Bq/m³ (figura 2).

Determinarea riscului pentru sănătate asociat expunerii la radon. Doza efectivă anuală medie estimată pentru expunerea la radon în IÎG a fost de 1,29 mSv/an, cu valori cuprinse între 0,11 și 4,52 mSv/an. Aceste valori indică necesitatea unor măsuri de remediere a radonului în anumite clădiri.

Concluzii

Mediana concentrației de radon în instituțiile de învățământ studiate a fost de 193,50 Bq/m³, iar valorile minimă și maximă au fost de 20,92 Bq/m³ și, respectiv, 1288,26 Bq/m³. Concentrația a depășit nivelul național de referință în 96 de școli (33,3%). Doza efectivă anuală medie estimată pentru expunerea la radon a copiilor din școlile investigate a fost de 1,29 mSv/an, cu valori cuprinse între 0,11 și 4,52 mSv/an. Rezultatele evidențiază o variabilitate importantă a concentrației de radon în mediul școlar și existența unor zone cu potențial crescut de expunere. Distribuția neuniformă a valorilor sugerează influența unor factori locali, precum caracteristicile geologice ale solului, tipul construcției, sistemul de ventilație și starea tehnică a clădirilor. Sunt necesare măsuri de remediere în clădirile în care concentrația radonului a depășit nivelul național de referință de 300 Bq/m³.

Tabelul 1. Analiza descriptivă a distribuției concentrațiilor de radon (Bq/m^3) în instituțiile de învățământ gimnazial din Republica Moldova

N valid	Media aritmetică	Media geometrică	Mediana	Minimum	Maximum	Dispersia	Abaterea standard	Eroarea standard
288	264,09	188,07	193,50	20,92	1288,26	47598,3	218,17	12,8

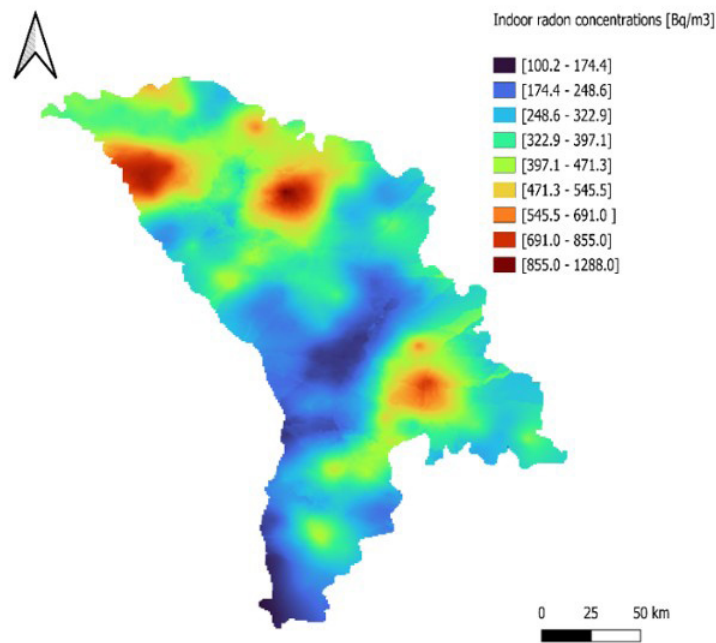


Figura 1.v Distribuția spațială interpolată a concentrațiilor de radon în instituțiile de învățământ gimnazial din Republica Moldova

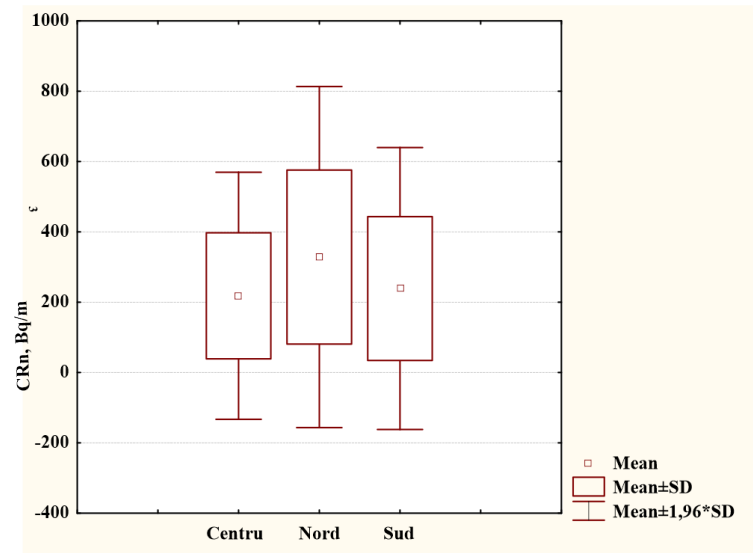


Figura 2. Radioactivitatea radonului în instituțiile de învățământ gimnazial ($n=288$) din principalele zone geografice ale Republicii Moldova, a.a. 2025-2026.

Bibliografie

1. Coretchi L, Ene A, Ababii A. Control of the health risk of radon exposure in the Republic of Moldova. Atmosphere. 2021;12(10):1302. doi:10.3390/atmos12101302

2. World Health Organization. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization; 2009. Accessed August 9, 2026. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44149>

3. Coretchi L, Bahnarel I, Vîrlan S, Apostol I. Controlul, reglementarea și remedierea expunerii la radon a populației Republicii Moldova. Tipografia Sirius; 2020.
4. Goovaerts P. Geostatistical software. In: Fischer MM, Getis A, eds. Handbook of Applied Spatial Analysis. Springer; 2010:125-134. doi:10.1007/978-3-642-03647-7_8
5. Coretchi, L., Ababii, A., Apostol, I., Bahnarel, I., Bogdan, M., Șargu, V., Capățina, A., Rădulescu, I., Calin, R., Linca, B., Borsos, A. Expunerea populației la radonul din aerul din interiorul clădirilor (locuințe, locuri de muncă), sol și apă. 2024, Chișinău : [S.n.], 2024 (Tipografie nr.1), 164 p. ISBN 978-9975-57-371-9. 614.876.086.5(0.75).
6. International Agency for Research on Cancer. Ionizing Radiation, Part 2: Some Internally Deposited Radionuclides. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol 78. IARC Press; 2001.
7. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection against radon exposure. Ann ICRP. 2014;43(3):1-73. doi:10.1177/0146645314542212
8. International Atomic Energy Agency. Sources and Measurements of Radon and Radon Progeny Applied to Climate and Air Quality Studies. International Atomic Energy Agency; 2012.
9. Council of the European Union. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013. Off J Eur Union. 2014;L13:1-73.
10. Zarnke AM, Tharmalingam S, Boreham DR, Brooks AL. BEIR VI radon: the rest of the story. Chem Biol Interact. 2019;301:81-87. doi:10.1016/j.cbi.2018.11.012
11. Gordon K, Terry P, Liu X, Harris T, Vowell D, Yard B. Radon in schools: a brief review of state laws and regulations in the United States. Int J Environ Res Public Health. 2018;15(10):2149. doi:10.3390/ijerph15102149
12. Bozigar M, Konstantinoudis G, Zilli Vieira CL, Li L, Alwadi Y, Jones RR, Koutrakis P. Domestic radon exposure and childhood cancer risk by site and sex in 727 counties in the United States, 2001-2018. Sci Total Environ. 2024 Dec 1;954:176288. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.176288. Epub 2024 Sep 14. PMID: 39278504
13. Bican-Brișan N, Dobrei GC, Burghel BD, Cucuș AL. First steps towards a national approach for radon survey in Romanian schools. Atmosphere. 2022;13(1):59. doi:10.3390/atmos13010059
14. World Health Organization. World Health Statistics 2012. World Health Organization; 2012. Accessed August 9, 2026. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44844/9789241564441_eng.pdf
15. Lorenzo-González M, Torres-Durán M, Barbosa-Lorenzo R, Provencio-Pulla M, Barros-Dios JM, Ruano-Ravina A. Radon exposure: a major cause of lung cancer. Expert Rev Respir Med. 2019;13(9):839-850. doi:10.1080/17476348.2019.1645599
16. Ajrouche R, Ielsch G, Cléro E, et al. Quantitative health risk assessment of indoor radon: a systematic review. Radiat Prot Dosimetry. 2017;177(1-2):69-77. doi:10.1093/rpd/ncx152
17. Zhukovsky M, Vasilyev A, Onishchenko A, Yarmoshenko I. Review of indoor radon concentrations in schools and kindergartens. Radiat Prot Dosimetry. 2018;181(1):6-10. doi:10.1093/rpd/ncy092
18. Csordás A, Szabó KZ, Sas Z, Kocsis E, Kovács T. Indoor radon levels in Hungarian kindergartens. J Radioanal Nucl Chem. 2021;328(3):1375-1382. doi:10.1007/s10967-020-07501-1
19. Kojo K, Kurtio P. Indoor radon measurements in Finnish daycare centers and schools—enforcement of the Radiation Act. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(8):2877. doi:10.3390/ijerph17082877
20. Ministry of Health of Romania. Order No. 1344 of November 26, 2018, approving the guide “Methodology of Radon Monitoring in Early Education Institutions and Primary, Secondary and High School Education Institutions.” 2018.

Recepționat – 01.08.2026, Acceptat pentru publicare – 14.09.2026

Autor corespondent: Liuba Coretchi, liuba.koretski@ansp.gov.md

Declarația de conflict de interese: Autorii declară că nu există conflicte de interese.

Declarația de finanțare: Cercetările au fost realizate în cadrul proiectului bilateral 21ROMD „Increasing the Digital Data Flow Capacity Between Romania and the Republic of Moldova Regarding the Monitoring of Soil Radioactivity and Radon”, PN-IV-P8-8.3-ROMD-2023-0241.

Declarația de etică: Studiul, inclusiv procedurile de colectare și protejare a datelor din chestionare, a fost evaluat și aprobat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova (scrisoarea nr. 03/109/7165 din 19.09.2025). Datele și chestionarele sunt păstrate în condiții de acces protejat în Laboratorul Igiena Radiațiilor și Radiobiologie, atât pe suport de hârtie, cât și în format electronic.

Contribuția autorilor: Liuba Coretchi – conceptualizare, metodologie, investigație, analiza datelor, cartografiere GIS, redactarea versiunii inițiale și revizuirea critică a manuscrisului; Aurelia Ababii – conceptualizare, metodologie, investigație și revizuirea critică a manuscrisului; Ileana Rădulescu – metodologie, investigație și revizuirea critică a manuscrisului; Bianca-Maria Linca – metodologie, investigație, analiza datelor, cartografiere GIS și revizuirea critică a manuscrisului; Theodora Paraschiva Gheorghe – metodologie, investigație și revizuirea critică a manuscrisului.

Toți autorii au aprobat versiunea finală a manuscrisului.

Citare: Coretchi L, Ababii A, Rădulescu I, Linca BM, Gheorghe TP. Evaluarea concentrațiilor de radon din interior în instituțiile de învățământ din Republica Moldova, utilizând tehnici pasive [Assessment of indoor radon concentrations in educational institutions in the Republic of Moldova using passive techniques]. Arta Medica. 2026;100(3):e2026334. doi: 10.5281/zenodo.22756604