

7. Tobias K., et al. Body Mass Index and the Risk of Stroke in Men. In: *Archives of Internal Medicine*, 2002, nr. 162(22), pp. 2557-2562.
8. Romero-Corral A., Montori V., Somers V., et al. Association of bodyweight with total mortality and with cardiovascular events in coronary artery disease: a systematic review of cohort studies. In: *Lancet*, 2006; nr. 368(9536), pp. 666-678.
9. Reaven Gerald M. et al. Obesity, Insulin Resistance, and Cardiovascular Disease. In: *Recent Progress in Hormone Research*, 2004, nr. 59, pp. 207-223.
10. Park H., Choi S., et al. Association of epicardial fat with left ventricular diastolic function in subjects with metabolic syndrome: assessment using 2-dimensional echocardiography. In: *BMC Cardiovasc. Dis.*, 2014; nr. 14, p. 3.
11. Дружилов М., Бетелева Ю., Кузнецова Т. Толщина эпикардального жира – альтернатива окружности талии как самостоятельный или второй основной критерий метаболического синдрома? В: *Рос. кардиол. жур.*, 2014; № 3(107), с. 76-81.

Vladimir Bernic, dr. șt. med,
 Agenția Națională pentru Sănătate Publică,
tel.: 069559586, 022-574-656,
 e-mail: vladimir.bernic@ansp.md

CZU: 614.8.086.5(075.8)

**METODE MODERNE DE DETERMINARE
 A RADIOACTIVITĂȚII DIN SOL ȘI RISCUL
 EXPUNERII POPULAȚIEI LA RADIAȚII NATURALE**

**Mariana GÎNCU¹, Liuba COREȚCHI¹,
 Angela CAPAȚÎNA¹, Olga GERMAN²,
 Krista TÄHT-KOK³,**

¹Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău,

²Agenția Internațională pentru Energie Atomică,
 Viena, Austria,

³Institutul de Geologie, Tallinn, Estonia

Rezumat

În lucrare sunt prezentate analizările cercetării radioactivității naturale în diverse tipuri de sol din trei regiuni din Estonia. Rezultatele denotă că concentrația din sol a radionuclizilor naturali studiați, în special a radonului, uraniului, toronului și potasiului, a variat în funcție de tipul și structura acestuia. Valori sporite ale radionuclizilor menționați au fost detectate în solurile din zona de nord a țării, bogate în roci și în sol argilos cu o cantitate de umiditate sporită, în comparație cu solurile de tip nisipos și calcaros, unde acești indici aveau valori mult mai joase.

Cuvinte-cheie: radon, radioactivitate naturală, izotopi, sol, cancer bronhopulmonar

Summary

Modern methods for the determination of soil radioactivity and the risk of population exposure to natural radiation

The paper presents the analysis of natural radioactivity research in various soil types in three regions of Estonia. The results indicate that the soil concentration of the studied radionuclides, especially radon, uranium, thoron and potassium, varied, depending on its type and structure. Increased levels of radionuclides mentioned above have been detected in soil in the North of the country, rich in rocks and in clayey soil with increased moisture content, compared to sandy and limestone soils, where these indices have been substantially diminished.

Keywords: radon, natural radioactivity, isotopes, soil, bronchopulmonary cancer

Резюме

Современные методы определения радиоактивности почвы и риск воздействия природного излучения на население

В статье представлен анализ исследований естественной радиоактивности в различных типах почв трех регионах Эстонии. Результаты свидетельствуют о том, что концентрация в почве изучаемых радионуклидов, особенно радона, урана, торона и калия, варьировала в зависимости от ее типа и структуры. Повышенные уровни упомянутых радионуклидов были обнаружены в почве на севере страны, богатой камнями, и в глинистой почве с повышенным содержанием влаги, по сравнению с песчаными и известняковыми почвами, где эти показатели были существенно снижены.

Ключевые слова: радон, естественная радиоактивность, изотопы, почва, бронхолегочный рак

Introducere

Radonul (²²²Rn) este un gaz radioactiv nobil (timp de înjumătățire de 3,82 zile), fiind un izotop-fică în lanțul de dezintegrare a izotopului natural uraniu (²³⁸U). Reprezintă un element gazos, fără miros și gust, dar foarte dăunător pentru sănătate, provocând mutații la nivel de celulă și ADN. Se poate acumula în aerul din interiorul încăperilor, contribuind în mod semnificativ la doza de radiații ionizante primită de către populația generală [8].

Încă din anul 1913, studiarea detaliată a bolilor respiratorii în rândul lucrătorilor din minele de uraniu a condus la identificarea cancerului de plămâni la pacienții nominalizați. Principala cauză a deceselor minerilor din minele din zona Jachymov și Scheneeburg era cancerul pulmonar. Între anii 1923-1925 au fost efectuate măsurări ale nivelului de radon, care au demonstrat concentrații de radon de aproximativ 100.000 Bq/m³ [3].

Studii recente privind corelația concentrației radonului din interior cu incidența cancerului bronhopulmonar, efectuate în Europa, America de Nord și Asia, aduc dovezi semnificative despre influența radonului asupra declanșării unui număr substanțial de cancer pulmonar în rândul populației generale. Cercetările arată că riscul de a face cancer pulmonar crește proporțional cu majorarea duratei expunerii la radon. Majoritatea cazurilor de îmbolnăviri de cancer bronhopulmonar țin de expunerea cronică a organismului la niveluri joase de radon. În acest sens menționăm că un număr mare din populație este expus la concentrații diminuate și moderate de radon. Totodată, există și expunerea la concentrații mai mari. Această substanță radioactivă a fost identificată ca a doua cauză principală de declanșare a cancerului bronhopulmonar, după fumat. De asemenea, a fost demonstrat că radonul poate cauza leucemia, distrugerea țesutului osos și alte afecțiuni majore [9].

În ultimii ani, oamenii de știință preocupați de cercetarea radonului sub egida Organizației Mondiale a Sănătății (OMS) și a Agenției Internaționale pentru Energie Atomică (AIEA) conchid că riscul pentru dezvoltarea cancerului bronhopulmonar crește semnificativ din punct de vedere statistic, atunci când concentrația medie anuală a radonului din interior depășește 100 Bq/m^3 . În funcție de condițiile geologice/demografice ale țării, se efectuează normarea radonului în locuințe și în unele componente ale mediului [4, 6, 7].

Studiile recente, efectuate sub conducerea AIEA în țările europene, demonstrează că majoritatea incidentelor de cancer pulmonar cauzate de ^{222}Rn sunt legate de concentrația medie anuală a radonului din aerul interior al locuințelor, care depășesc limitele de $100\text{-}300 \text{ Bq/m}^3$. Dacă concentrația de radon în locuințe sau în clădiri social-culturale este mai mare de 300 Bq/m^3 , se recomandă de efectuat măsuri de remediere – intensificarea ventilației, instalarea ventilației artificiale, chiar și măsuri de strămutare a locatarilor [1, 2, 5].

Scopul studiului efectuat constă în elucidarea metodelor moderne utilizate pentru măsurarea concentrațiilor de radon în diferite tipuri de sol.

Material și metode

Studiul a fost efectuat în condițiile Republicii Estone, coordonator fiind Institutul de Geologie din Tallinn. Până în prezent, Institutul de Geologie al Republicii Estone a efectuat un studiu de circa 11 ani în vederea măsurării concentrației de ^{222}Rn și a izotopilor radioactivi ^{226}Ra (seria U), ^{232}Th (seria Th) și ^{40}K (seria K), în mai mult de 1200 de puncte de studiu în gazele din sol pe teritoriul țării. Totodată,

au fost efectuate peste 5000 de măsurări în aerul din interiorul încăperilor din opt puncte geografice de monitorizare și o serie de măsurări selective. Rezultatele cercetărilor au făcut posibilă elaborarea hărților riscului pentru sănătate a ^{222}Rn și a radiației naturale în general pe teritoriul Estoniei. Totodată, a fost elaborată metodologia de evaluare a nivelului riscului de expunere la ^{222}Rn din sol, cât și pătrunderea acestuia în clădiri, în vederea selectării măsurilor de minimizare a riscului expunerii la ^{222}Rn [8].

Utilizarea echipamentului de măsurare a radonului, tehnicile și procedurile de evaluare anuală a radioactivității radonului și o analiză comparativă a variațiilor radonului reprezintă o experiență unică pentru Estonia. Lucrările în teren au fost efectuate cu echipamente care au fost calibrate și verificate lunar de către producător, constituite din: emanometrul *Markus 10*, spectrometrul gamma cu detector *Gamma-Ray GPX-21A* și radiometrul *CPP-88H* (figura 1).



Figura 1. Echipamente moderne de monitorizare a radioactivității naturale din sol și a ratei dozei gamma: emanometrul "Markus 10", spectrometrul gamma cu detector "Gamma-Ray GPX-21A" și radiometrul "CPP-88H"

Concentrația radonului în aerul din sol a fost măsurată direct cu emanometrul *Markus 10*. Aerul a fost pompat cu o pompă de vid de la o adâncime de 80 cm de la suprafață printr-o conductă de oțel în camera de ionizare, unde emanometrul indică concentrația ^{222}Rn din aerul din sol în kBq/m^3 , pe baza determinării descendentului $^{222}\text{Rn} - ^{218}\text{Po}$, un element important în detectarea ^{222}Rn . În cazul în care solul este umed sau are adaosuri antropologice, viteza de aspirare este mai mică și, respectiv, cercetarea se efectuează la adâncimea de circa 60 cm, iar în cazul ploilor masive și umidității mari a solului, lucrările în teren sunt sistate sau sunt alese alte puncte de măsurare.

Pentru efectuarea măsurătorilor este necesar de a săpa o gaură (groapă) adâncă de 80 cm în aceleași puncte pentru determinarea tipului solului și a originii acoperirii sedimentare. Prezența pietrelor cu diferite dimensiuni și margini regulate/rotunde demonstrează că formarea lor a fost condiționată de apele curgătoare (râu), iar prezența pietrelor cu margini neregulate indică asupra faptului că s-au format în prezența sedimentării apei de ploaie.

Nivelul radiațiilor gamma ($\mu\text{R/h}$) a fost măsurat cu radiometrul *CPP-88H* atât la suprafața solului, cât și la adâncimea de 80 cm. Concentrațiile de uraniu și toron (mg/kg) și concentrația potasiului (%) au fost măsurate la baza găurii cu spectrometrul gamma cu detector *Gamma-Ray GPX-21A*. În paralel cu măsurarea concentrației elementului, spectrometrul a înregistrat numărul evenimentelor de dezintegrare radioactivă a acestor elemente într-o anumită unitate de timp (300 secunde). Aceasta a oferit mijloace suplimentare pentru a urmări fiabilitatea spectrometrului gamma și autenticitatea concentrației elementelor investigate (figura 2).

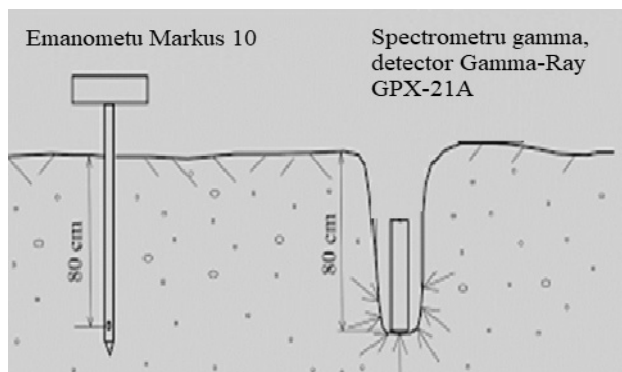


Figura 2. Determinarea radonului din sol cu emanometrul "Markus 10" și spectrometrul gamma cu detector "Gamma-Ray GPX-21A"

Variația concentrației ^{222}Rn în aerul din sol este condiționată de tipul solului caracteristic țării, dar totodată depinde de concentrația uraniului și capacitatea de aerare a solului, determinând migrarea ^{222}Rn din profunzimea pământului.

Conform normelor naționale din Estonia [1], concentrațiile ^{222}Rn din aerul din sol conform nivelului riscului asupra sănătății sunt clasificate în felul următor: *diminuat* ($<10 \text{ kBq/m}^3$), *mediu* ($10\text{-}50 \text{ kBq/m}^3$), *mare* ($50\text{-}250 \text{ kBq/m}^3$) și *foarte mare* ($>250 \text{ kBq/m}^3$).

Concentrația predominantă de ^{222}Rn în tipurile de sol variază pe scară largă în sens geologic: humus, argilă de diferite tipuri, nisipuri de diverse dimensiuni, precum și pentru pietriș calcaros și rocile de tip gresie.

Rezultatele măsurătorilor concentrațiilor de radon, efectuate cu emanometrul *Markus 10* în trei regiuni din Estonia, sunt prezentate în tabelul 1.

În perioada 14–21 iunie 2019, pe teritoriul Estoniei au fost efectuate mai multe măsurări ale radonului cu ajutorul aparatului *Markus 10*, demonstrându-se că concentrația de ^{222}Rn în aerul din sol a variat în limitele $10\text{-}50 \text{ kBq/m}^3$, în funcție de tipul solului și de componentele lui variabile (tabelul 2).

Tabelul 1

Rezultatele măsurătorilor de radon efectuate în trei regiuni ale Estoniei cu ajutorul aparatului "Markus 10"

N/o	Localitatea	Nr. puncte	Concentrația ^{222}Rn , kBq/m^3 (valoare medie pe regiune)	Perioada
1	Tallinn (nord)			
	a) teren pentru construcții b) teren drept în oraș	2 2	25	14.06.2019
2	Voru (sud)			
	a) teren la margine de pădure b) teren lângă casele de locuit c) teren pentru construcții/depozite	4 7 2	7	18-20.06.2019
3	Tartu (centru/sud)			
	a) teren lângă casele de locuit și marginea pădurii b) teren lângă școală	4 1	27	21.06.2019
Total		22	19,6 (val. medie)	

Rezultatele cercetării concentrațiilor radionuclizilor naturali, inclusiv ale radonului, în solurile din diverse regiuni ale Estoniei demonstrează că valori sporite ale radionuclizilor au fost detectate în solurile de tipul morena din sudul Estoniei, pietriș și roci de tip gresie și în solul argilos cu umiditate mare, în comparație cu solurile de tip nisipos și pietriș, unde indicii nominalizați erau scăzuți esențial. Totodată, s-a demonstrat că în solurile din sudul Estoniei, și anume în regiunea Voru, nivelul radonului este detectat în concentrații diminuate și medii. Astfel, concentrația medie a ^{222}Rn în aerul din solurile din localitățile studiate a constituit $<10 \text{ kBq/m}^3$, iar variabilitatea indicelui era cuprinsă în limitele $10\text{-}50 \text{ kBq/m}^3$.

Concluzii

Evaluarea rezultatelor a 22 de măsurători ale concentrațiilor radionuclizilor naturali, inclusiv ale radonului și descendenților lui, la exalarea din solurile din Estonia cu diverse tipuri de roci, la adâncimea de 80 cm, a demonstrat: concentrația radonului, uraniului, toronului și potasiului în sol a variat în funcție de tipul acestuia. Rezultatele atestă valori medii ale concentrațiilor de radon, care nu depășesc nivelul radonului conform reglementărilor naționale sau internaționale.

Astfel, concentrația medie a ^{222}Rn în aerul din solurile din localitățile studiate a constituit $<10 \text{ kBq/m}^3$, iar variabilitatea indicelui era cuprinsă în limitele $4\text{-}50 \text{ kBq/m}^3$. Concentrații sporite au fost detectate în zona de nord a Estoniei (Tallinn), unde solul este mai bogat atât în morena, cât și în pietriș/roci de tip gresie.

Mulțumiri

Cercetările au fost efectuate în cadrul proiectului de cooperare tehnică cu Agenția Internațională pentru Energie Atomică (Viena, Austria) MOL9007 *Elaborarea Programului național de control al expunerii populației Republicii Moldova la radon*. Pe această cale, aducem mulțumiri AIEA pentru suportul tinerilor cercetători Angela Capățina și Mariana Gîncu în efectuarea acestui studiu și familiarizarea cu metodele moderne de măsurare a radonului în sol.

rii populației Republicii Moldova la radon. Pe această cale, aducem mulțumiri AIEA pentru suportul tinerilor cercetători Angela Capățina și Mariana Gîncu în efectuarea acestui studiu și familiarizarea cu metodele moderne de măsurare a radonului în sol.

Tabelul 2

Rezultatele măsurătorilor concentrațiilor radionuclizilor naturali și ale ratei dozei în diverse tipuri de soluri din regiunea de sud a Estoniei (Voru)

Nr. probei	Tipul solului	Spectrometru gamma cu detector "Gamma-Ray GPX-21A"			Emanometru "Markus 10"	Rata dozei (radiometru "CPP-88H"), μR/h	
		Uraniu, mg/kg	Toron, mg/kg	Potasiu %	Radon, kBq/m ³	La suprafața solului	La adâncimea de 80 cm
1	Morena de sud a Estoniei *	5,5	14,7	3,19	0	11	26
2	Pietriș și roci de tip gresie	3,6	8,1	2,03	0	9	21
3	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	2,3	5,9	1,30	10	10	16
4	Sol artificial	2,0	5,2	1,49	13	10	15
5	Morena de sud a Estoniei	4,1	10,7	2,67	0	9	19
6	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	1,8	4,7	1,29	7	9	14
7	Morena de sud a Estoniei	5,4	15,1	3,21	0	13	35
8	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	1,8	4,6	1,40	22	7,5	14
9	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	1,1	0,6	0,16	9	6	5
10	Pietriș și roci de tip gresie	3,4	8,0	2,39	7	9	16
11	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	2,1	4,3	1,36	7	9	13
12	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	2,0	5,4	1,68	8	8	15
13	Nisip și pietriș calcaros, de diverse dimensiuni	0,7	1,4	0,57	10	7,5	6

Notă. * – Morena de sud a Estoniei reprezintă un amestec de humus, diferite tipuri de argilă, nisip și pietriș de diverse dimensiuni, transportate de ghețari în alunecarea lor sau depuse de ghețari dispăruți.

Bibliografie

1. Bochicchio F., Carpentieri C., Venoso G. Protection from radon in Italy: past, present and perspectives. In: *Natural radiation Sources. Challenges, Approaches and opportunities*. Bucharest, 2019, p. 7. ISBN: 978-973-0-29488-1.
2. Botos M.L., Milchis T., Cucos (Dinu) A., et al. Advanced computational models for radon transport at soil-building interface. In: *Natural radiation Sources. Challenges, Approaches and opportunities*. Bucharest, 2019, p. 8. ISBN: 978-973-0-29488-1.
3. Cosma C., Jurcuț T. *Radonul și mediul înconjurător*. Cluj-Napoca: Editura Dacia, 1996, p. 144. ISBN: 973-35-0594-3.
4. Council Directive 2013/59/EURATOM. In: *Official Journal of the European Union*, 2014.
5. Ene A., Pintilie V., Pantelica A. Assessment of radon, thoron and their descendants in selected indoor environments in Romania. In: *Natural radiation Sources. Challenges, Approaches and opportunities*. Bucharest, 2019, p. 5. ISBN: 978-973-0-29488-1.
6. Normele Fundamentale de Radioprotecție. Cerințe și Reguli Igienice (NFRP-2000), nr. 06.5.3.34 din 27.02.2001. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, nr. 40-41 din 2001.
7. RMS nr. 217: Regulament și norme igienice privind reglementarea expunerii la radiații a populației de la sursele naturale, nr. 06-5.3.35 din 05.03.2001. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, nr. 92 din 03.08.2001.
8. *The Atlas of Radon Risk and Natural Radiation in Estonian Soil*. Keskkonnaministerium and Eesti Geoloogakeskus, 2017. 89 p. ISBN: 978-9985-815-89-2.
9. WHO 2009. *WHO handbook on indoor radon, a public health perspective*. World Health Organization, Geneva. 110 p.

Mariana Gîncu, doctorandă,
 Agenția Națională pentru Sănătate Publică,
 tel.: 068 170 224,
 e-mail: mariana.gincu.cigolea@gmail.com