

REZULTATE
PRELIMINARE ALE MĂSURĂRII
EXPERIMENTALE A PRINCIPALELOR
SURSE NATURALE DE RADIȚII IONIZANTE

Serghei VÍRLAN,
Centrul Național de Sănătate Publică

Summary

Preliminary results of the experimental measurement of the main natural sources of ionizing radiation

The purpose of this article is to present the preliminary results of dosimetric, radiometric and spectrometric measurements and to estimate the population exposure to irradiation risk in the high risk areas from the main natural sources of ionizing radiation. This article summarise the need to improve perception of the population about existing situation on the main natural sources of environmental ionizing radiation and their concentration values, the potential risk associated with exposure to high concentrations of environmental natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K), fund gamma, as well as radon (^{222}Rn) and its short life products from indoor air of dwellings and production space. Studying the average values of ^{222}Rn activity in the indoor air of residential rooms and partially ones for the production, it was found high concentrations which depends on their location: in the basement rooms (550–700 Bq/m³), followed by rooms located at the semi-basement (200–450 Bq/m³), private houses with 1 level (150–250 Bq/m³). In the block type rooms on the ground floor and above, the ^{222}Rn concentrations were 20–110 Bq/m³. Knowing the measurements results, investigations and the preliminary assessments allow finally evaluations to appreciate the real threat of these risk factors and to elaborate the appropriate protective measures.

Keywords: radionuclides, natural sources of radiation, measurements, results, irradiation, risk, disintegration, radioprotection

Резюме

Предварительные результаты экспериментальных измерений основных природных источников ионизирующего излучения

Основной целью данной статьи является представление предварительных результатов радиометрических, дозиметрических и спектрометрических измерений радона и оценка воздействия на население радиационного фактора, в зонах высокого риска, от главных естественных источников ионизирующего излучения. Статья обобщает необходимость улучшения восприятия населением в целом существующего положения относительно основных природных источников ионизирующего излучения окружающей среды и значениях их концентраций, потенциального риска при воздействии повышенных концентраций природных радионуклидов окружающей среды (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K), гамма фона, а также радона (^{222}Rn) и продуктов его распада в воздухе жилых и производственных помещений. Исследования средних значений активности ^{222}Rn в воздухе жилых помещений и частично в производственных помещениях, в зависимости от их размещения и расположения продемонстрировали высокие концентрации в подвальных помещениях (550-700 Бк/м³), за ними следовали цокольные помещения (200-450 Бк/м³), индивидуальные дома с одним уровнем (150-250 Бк/м³). В блочных домах, на первых этажах и выше, концентрации ^{222}Rn составили 20-110 Бк/м³. Выявленные результаты измерений, предварительных исследований и их оценка позволяют окончательно оценить реальную опасность воздействия данных факторов риска и разработать адекватные меры защиты.

Ключевые слова: радионуклиды, естественные источники излучения, измерения, результаты, облучение, риск, распад, радиационная защита

Introducere

Sursele naturale de radiații ionizante au un impact major ca factor de risc asupra sănătății publice, îndeosebi expunerea la radonul din aerul interior al spațiilor locative și/sau cele de producție, care este considerată a doua cauză sau al doilea factor de risc important în dezvoltarea cancerului bronhopulmonar după fumat. În acest context, este necesară estimarea riscului atribuibil, inclusiv de la descendenții săi de viață scurtă, urmând a fi efectuată prin mai multe analize epidemiologice, care la rândul lor vor permite cuantificarea efectelor radiațiilor ionizante asupra diferitelor stadii ale carcinogenezei, cum ar fi: *inițierea* (dobândirea mutației oferind un avantaj de creștere), *promovarea* (creșterea clonală a celulelor inițiate) și *transformarea* (dobândirea mutațiilor, care duc la tumori maligne) [6].

Scopul cercetării

În cadrul acestui studiu au fost efectuate măsurări dozimetrice, radiometrice și spectrometrice ale principalelor surse naturale de radiații ionizante, cu prezentarea rezultatelor preliminare obținute și estimarea expunerii populației riscului de iradiere.

Material și metode

Prezența radonului în aerul interior este foarte variabilă de la o locuință la alta și de la o regiune la alta și este, de fapt, o variabilă aleatorie ce urmează să fie studiată în cadrul cercetării inițiate, cu instrumente statistice. Cu toate acestea, este esențial să se aleagă o distribuție statistică

potrivită a datelor care vor permite efectuarea diferitor previziuni chiar și pe baza unui număr limitat de date. De exemplu, cota-parte a locuințelor care au o concentrație mai mare de radon ce depășește nivelul de referință stabilit este adesea folosită ca indicator al riscului de poluare cu radon a aerului interior al locuințelor și, în consecință, al riscului de expunere la radon în interiorul acestor locuințe din zona dată.

O deviere a datelor cu concentrații mari, care fac abateri de la normele existente, mai exact un exces de date cu valori ridicate, au fost înregistrate și studiate de mai mulți autori în aerul interior al spațiilor de producere și al locuințelor [2, 3]. Autorii mai multor cercetări privind concentrațiile de radon în aerul interior al locuințelor nu au luat în calcul o posibilă stratificare a datelor, de exemplu, în funcție de geologie. Toate aceste lucrări au în comun o abordare pur empirică, fără utilizarea vreunui model fizic de bază. Abaterile concentrației de radon de la normele recomandate (stipulate în legislația în vigoare) pot fi teoretic așteptate, deoarece concentrația în aerul din locuințe nu este un produs numai ca rezultat al randomizării, ci suma a trei componente în mare măsură independente, fiecare dintre acestea fiind produsul al mai multor factori: radonul exalat din solul subiacent locuinței, care se acumulează în subsolul casei; radonul provenit sau exhalat din materialele de construcție și radonul din exterior. Aceste trei componente sunt diferite din punctul de vedere al valorii lor medii, precum și prin variabilitatea lor între diferite tipuri de locuințe [5].

Conform mai multor cercetări internaționale, se estimează că circa 50% din expunerea populației la toate sursele naturale de radiații ionizante le revin radonului (^{222}Rn) și descendenților săi de viață scurtă (^{220}Rn , ^{219}Rn). Radonul este cunoscut ca a doua cauză cea mai importantă a cancerului bronhopulmonar după fumat; proporția de cancere pulmonare atribuite radonului în lume este estimată a fi în intervalul 3-14% [10].

Pentru a îmbunătăți perceperea populației per ansamblu și nivelul de monitorizare a principalelor surse naturale de radiații ionizante din mediul ambiant, este esențial să se efectueze informarea în masă privind riscul potențial asociat expunerii concentrațiilor sporite, monitorizarea continuă a concentrației de radon în diferite condiții climaterice, adică pentru toate anotimpurile (sezonier), precum și a radionuclizilor naturali din materialele de construcție, produsele alimentare, apă și sol.

Radionuclizii naturali sunt, de obicei, prezenți în rocă, sol, materiale de construcție și finisare, plante, apă și aer. Informațiile despre concentrarea principalilor radionuclizi naturali în mediu și efectul lor

asupra mediului înconjurător, dar și asupra organismului uman, sunt de mare importanță în mai multe domenii ale științei și ingineriei. Prin urmare, este necesar să se cunoască distribuția materialelor din piatră naturală, provenită din rocile predominante, care poate fi o sursă ce conține niveluri sporite de radionuclizi naturali. Radionuclizii principali prezenți în mod natural în sol includ: ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K . Radiațiile gama emise de acești radionuclizi naturali reprezintă una dintre principalele surse de iradiere a organismului uman și contribuie la totalul dozei absorbite prin inhalare, ingestie și iradiere externă. Prezența radionuclizilor menționați în cantități sau concentrații sporite, ce depășesc nivelul admis în NFRP (Normele Fundamentale de Radioprotecție, 2000), devin un pericol real pentru sănătatea populației.

Expunerea organismului acestor factori de risc mai poate fi asociată cu leucemia și cu alte tipuri de cancer, cum ar fi melanomul, cancerul de rinichi și prostată. Ca urmare, radioactivitatea solului și a altor factori de mediu este, de obicei, importantă pentru crearea unei baze de date în monitorizarea continuă, cu o ulterioară evaluare repetată și reînnoire a datelor ori de câte ori este nevoie, pentru a putea estima care este impactul asupra organismului, a stabili mijloacele de protecție împotriva tuturor surselor naturale de radiații ionizante și modalitatea de explorare a lor. Un aspect nu mai puțin important în realizarea acestei cercetări este faptul că concentrația radionuclizilor naturali din sol este variabilă și variază de la o regiune la alta în întreaga lume [4, 7].

Prin urmare, studiul privind măsurarea concentrației activității radionuclizilor naturali și concentrației de radon pe teritoriul Republicii Moldova, precum și a radionuclizilor naturali în produsele de import, îndeosebi din țările vecine (Ucraina, România), are o semnificație importantă pentru Serviciul de Supraveghere de Stat al Sănătății Publice (SSSSP). Un astfel de studiu este util pentru stabilirea inofensivității produselor utilizate din mediul înconjurător și evaluarea riscului pentru sănătatea publică.

Pentru a măsura concentrația de activitate naturală a radionuclizilor din probele de sol, materiale de construcție, apă și produse alimentare, acestea sunt investigate și monitorizate la nivel național, îndeosebi produsele de import, pentru a fi normate spre utilizarea lor ulterioară în siguranță, în scopurile prestabilite. Concentrațiile activității radionuclizilor naturali ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K sunt măsurate în diverse produse și în materia primă a acestor produse (probe de investigat), cu ajutorul unui spectrometru de tip gama-beta multicanal. Este bine cunoscut faptul că radionuclizi naturali (^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K) nu sunt distribuiți uniform în sol. Astfel, distribuția neuniformă

a acestora se datorează neechilibrului dintre ^{226}Ra și produșii săi de dezintegrare. Pentru uniformitate, la estimarea expunerii, concentrațiile radionuclizilor au fost definite cu termenul de *echivalent al radiului* (R_{eq}), având ca unitate de măsură – Bq/kg. Aceasta permite compararea activității specifice din materialele care conțin diferite cantități de ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K , care este dată de relația:

$$R_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1,43 C_{\text{Th}} + 0,07 C_{\text{K}}$$

unde: C_{Ra} , C_{Th} și C_{K} sunt concentrațiile de activitate ale ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K în Bq/kg sau Bq/l respectiv.

Pentru o distribuție uniformă a radionuclizilor ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K , doza absorbită în aer la suprafața solului, la o înălțime de 1 m este calculată folosind următorul factor de conversie: 0.0414 nGy/h/Bq/kg pentru ^{40}K , 0.461 nGy/h/Bq/kg pentru ^{226}Ra și 0.623 nGy⁻¹/Bq/kg⁻¹ pentru ^{232}Th .

Factorii de conversie utilizați pentru a calcula doza absorbită în aer per unitate a concentrației de activitate, Bq/kg, sunt dați de UNSCEAR (2000):

$$D(\text{nGy/h}) = 0C_{\text{Ra}} + 0.623C_{\text{Th}} + 0.0414C_{\text{K}}$$

unde: C_{Ra} , C_{Th} și C_{K} sunt concentrațiile de activitate ale radiului, thoriului și potasiului în proba investigată.

Solul ca teren este utilizat pentru construcția caselor locative, de aceea acesta va contribui la doza externă gama din interiorul locuințelor. Pentru a estima riscul potențial de expunere a populației la doza externă gama, este necesar de a se calcula *indicele riscului extern*, (R_{ex}), care se calculează prin următoarea formulă:

$$R_{\text{ex}} = C_{\text{Ra}}/370 + C_{\text{Th}}/259 + C_{\text{K}}/4810,$$

unde: C_{Ra} , C_{Th} și C_{K} sunt concentrațiile de activitate ale ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K în Bq/kg. Atunci când valoarea R_{ex} este mai mică decât o unitate, radiația primită de locuitori va fi mai mică de 1,5 mGy/an. Valoarea maximă a R_{ex} considerată egală cu o unitate va corespunde limitei superioare a R_{eq} (370 Bq/kg). Expunerea internă la ^{222}Rn și descendenții radioactivi de viață scurtă ai acestuia este controlată de *riscul intern* (R_{in}), care este calculat prin relația:

$$R_{\text{in}} = C_{\text{Ra}}/185 + C_{\text{Th}}/259 + C_{\text{K}}/4810,$$

unde: C_{Ra} , C_{Th} și C_{K} sunt concentrațiile de activitate ale ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K în Bq/kg. Pentru utilizarea în siguranță a solului pentru construcția locuințelor, R_{in} trebuie să fie mai mic de 1 [1].

Valorile concentrațiilor radioactivității naturale, măsurate pentru ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K de la diferite probe (materiale de construcție și finisare sau materia primă a acestora) cu scopul utilizării ulterioare pe teritoriul Republicii Moldova în construcții și finisare, sunt date în tabelul ce urmează.

Conform Normelor Fundamentale de Radioprotecție (NFRP-2000), activitatea efectivă specifică (A_{ef}) a radionuclizilor naturali în materialele de construcție

extrase din locurile de origine ale zăcămintelor (piatră spartă, prundiș, nisip, argilă, materie primă din ciment, cărămidă etc.) sau produsele derivate ale industriei, deșeuri industriale, utilizate la fabricarea materialelor de construcție (cenușa, zgura etc.) nu trebuie să depășească:

a) pentru materialele utilizate la construcția edificiilor locative și publice noi (clasa I): $A_{\text{ef}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,09 A_{\text{K}} \leq 300 \text{ Bq/kg}$, unde A_{Ra} , A_{Th} și A_{K} sunt activitățile specifice ale ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K (Bq/kg);

b) pentru materialele utilizate la construcția drumurilor în limitele teritoriului zonelor locative și al zonelor în perspectivă de construcție, la construcția edificiilor industriale (clasa II): $A_{\text{ef}} \leq 600 \text{ Bq/kg}$;

c) pentru materialele utilizate la construcția obiectivelor industriale izolate, unde este exclusă aflarea persoanelor, a drumurilor în afara localităților, a obiectelor subterane, drumurilor în zonele de trai cu condiția acoperirii acestora cu un strat de pământ nu mai mic de 0,5 m (clasa III): $A_{\text{ef}} \leq 1350 \text{ Bq/kg}$;

d) când $A_{\text{ef}} > 1,35 \text{ kBq/kg}$, problema utilizării materialelor se rezolvă în fiecare caz aparte prin concordare cu SSSSP al RM [8, 9].

Rezultate și discuții

Pe întreaga durată a studiului am investigat, evaluat și monitorizat principalele surse naturale de radiații ionizante. Astfel, în urma efectuării investigațiilor de laborator la gamaspectrometrie a principalelor surse naturale de radiații ionizante (materiale de construcție și finisare) utilizate pe teritoriul țării, am putut reda preliminar într-un tabel concentrația minimă și cea maximă a celor mai frecvenți radionuclizi naturali întâlniți: ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K în Bq/kg.

Activitatea concentrației radionuclizilor naturali prin gamaspectrometrie în materialele de construcție, 2011-2015

Nr./o.	Radionuclizii naturali	Valoarea maximă	Valoarea minimă
1	Ra, Bq/kg	882	7
2	Th, Bq/kg	403.3	8
3	K, Bq/kg	2445	20
4	Aef	641.1	<20
Total probe investigate			373

În urma efectuării măsurărilor experimentale la principalele surse naturale de radiații ionizante, inclusiv efectuarea măsurărilor zilnice ale debitului dozei fondului *gama* extern, am obținut rezultatele valorilor medii, minime și maxime, care au fost înregistrate și sunt redată în *figura 1*. Măsurările debitului dozei *gama* externe au fost efectuate preponderent în punctul de control Chișinău, la baza Centrului Național de Sănătate Publică. Am efectuat circa 4600 măsurări de monitorizare a fondului *gama* extern în perioada 2011–2015. În baza datelor preliminare, în urma efectuării măsurărilor, am calculat pentru

fiecare an în parte valoarea medie minimă și cea maximă înregistrată.

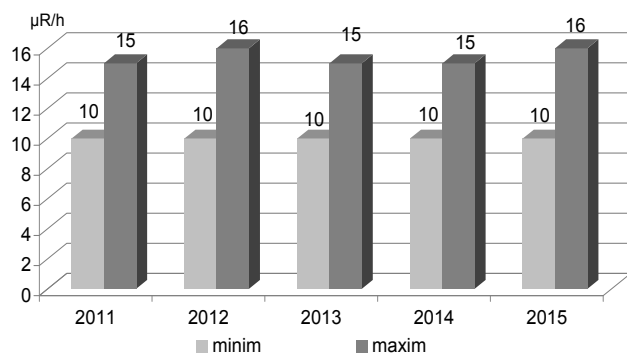


Figura 1. Rezultatele măsurărilor debitului dozei fondului gama extern în dinamică, 2011-2015

În urma măsurării de monitorizare continuă și în baza rezultatelor preliminare obținute, am stabilit că radioactivitatea fondului *gama* natural în perioada 2011-2015 a variat în limitele 12-16 μR/h, valorile de alertă pentru Republica Moldova considerându-se mai mari de 25 μR/h.

De asemenea, în cadrul cercetării am efectuat un volum impunător de măsurări ale concentrației de radon în aerul interior al spațiilor locative și parțial al celor de producere. Astfel, în urma rezultatelor preliminare obținute, am putut conchide că există concentrații sporite de radon în unele tipuri de locuințe, comparativ cu altele, în funcție de amplasarea geografică și materialele de construcție și finisare utilizate. Evaluarea comparativă a rezultatelor preliminare ale măsurărilor concentrației de radon în aerul interior al locuințelor conform amplasării acestora sunt reprezentate grafic în figura 2. Măsurările respective au fost efectuate în diverse tipuri de încăperi cu ajutorul metodei active de determinare. Pentru cercetare au fost selectate locuințele sau încăperile amplasate în zona de risc sporit, cum ar fi subsolul, demisolul și parterul. Pe perioada studiului (2011-2015), în urma analizei preliminare a datelor obținute din măsurările concentrațiilor de ^{222}Rn , ca sursă principală de iradiere naturală a populației, am stabilit nivelurile de referință în locuințe pentru populație.

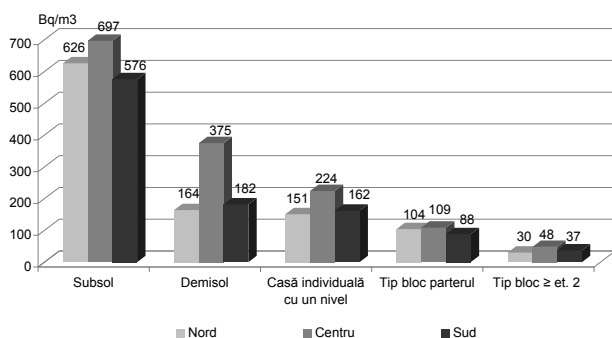


Figura 2. Reprezentarea grafică a rezultatelor preliminare ale măsurărilor concentrației de radon în aerul din încăperi conform amplasării, 2011-2015

În urma studierii valorilor medii ale activității ^{222}Rn în aerul interior al încăperilor locative și parțial în cele de producere, în funcție de amplasarea acestora, am putut demonstra că există concentrații sporite în încăperile de la subsol (550–700 Bq/m³), demisol (200–450 Bq/m³) și parterul caselor individuale (150–250 Bq/m³). Astfel, conform rezultatelor măsurărilor, în încăperile de tip bloc, amplasate la parter și mai sus decât etajul 2, concentrațiile ^{222}Rn au constituit 20–110 Bq/m³. Valorile concentrației de ^{222}Rn înregistrate în primele trei cazuri au depășit normele stipulate în actele naționale (NFRP – 2000), respectiv 100–150 Bq/m³.

Valorile măsurărilor gamaspectrometrice ale principalelor surse naturale de radiații ionizante la principalii radionuclizi naturali ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K , în urma efectuării investigațiilor pe întreaga durată a studiului (2011–2015), au fost comparate cu valorile concentrațiilor medii de activitate la nivel mondial, raportate de UNSCEAR (2000), care sunt: 35 Bq/kg, 30 Bq/kg și, respectiv, 400 Bq/kg (figura 3). De asemenea, sunt investigate și analizate la radioactivitate și probele de apă potabilă, îndeosebi cele din surse de apă de profunzime (subterane), care sunt destinate pentru consum, în scopul supravegherii expunerii interne (prin ingestie) în urma consumului acestora.

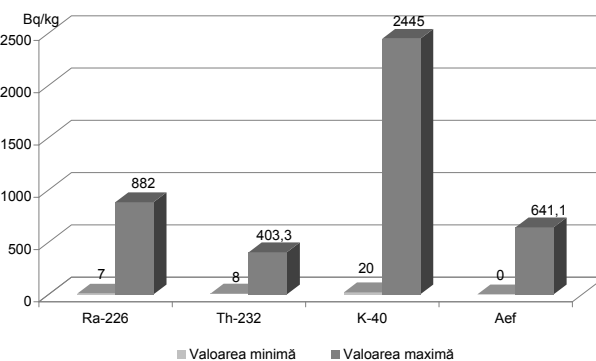


Figura 3. Reprezentarea grafică a variației activității efective a principalilor radionuclizi naturali în materialele de construcție și finisare, utilizate pe teritoriul Republicii Moldova, 2011-2015

Investigațiile spectrometrice, radiometrice și dozimetrice au demonstrat că valorile concentrațiilor radionuclizilor naturali principali (^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K) și ale activității sumare *beta* a componentelor mediului, incluse în studiu, nu au depășit CMA stipulate în NFRP-2000, cu excepția activității efective (A_{ef}) în unele mostre de materiale de construcție (figura 4). Problema utilizării materialelor de construcție din mostrele care au depășit CMA a fost rezolvată în fiecare caz aparte, drept materiale utilizate la construcția drumurilor în limitele teritoriului zonelor

locative și ale zonelor în perspectivă de construcție sau la construcția edificiilor industriale.

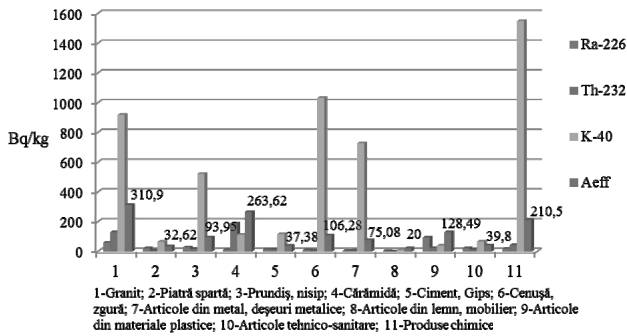


Figura 4. Activitatea efectivă specifică a principalelor radionuclizi naturali în materialele de construcție și/sau materia primă a acestora, utilizate frecvent pe teritoriul Republicii Moldova, 2010-2015

Concomitent cu studiul de măsurare experimentală a principalelor surse naturale de radiații ionizante, am efectuat o analiză a datelor înregistrate în registrele naționale ale morbidității și mortalității prin tumori maligne, îndeosebi prin cancer bronhopulmonar, posibilitatea declanșării căruia este cauzată inclusiv de expunerea la sursele naturale de radiații ionizante. Datele înregistrate (Biroul Național de Statistică, Centrul Național de Management în Sănătate) ne indică gravitatea problemei de sănătate publică în ceea ce privește rata mortalității prin tumori maligne, care sunt clasate pe locul doi după bolile aparatului circulator (figura 5).

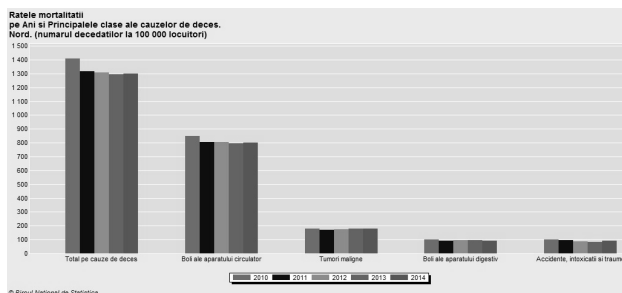


Figura 5. Reprezentarea grafică a ratei mortalității în dinamică (2010–2014) și principalele clase ale cauzelor de deces (BNS)

Dintre tumorile maligne un rol semnificativ îl are cancerul bronhopulmonar, care este clasat pe locul doi în structura morbidității prin cancer, după cancerul glandei mamare. Astfel, conform datelor statistice oficiale (CNMS, BNS), morbiditatea prin cancer bronhopulmonar scoate în evidență o sporire a maladiei în perioada inclusă în studiu, în comparație cu anii precedenți, în special în zonele Nord și Centru ale țării (figura 6). Totodată, în urma măsurărilor efectuate în cadrul cercetării, s-a stabilit o concentrație mai sporită a radionuclizilor în zona

Nord a Republicii, care pot fi o urmare a consecințelor accidentului nuclear de la Cernobîl.

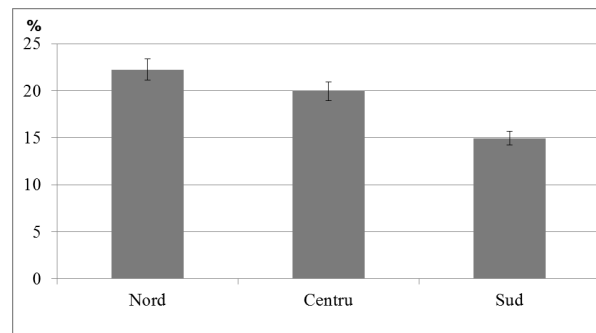


Figura 6. Prevalența cancerului bronhopulmonar în perioada 2010–2015, în principalele zone geografice ale Republicii Moldova

Concluzii

1. Rezultatele măsurărilor experimentale prin metode moderne de măsurare ne-au permis să obținem date preliminare cu o exactitate destul de înaltă în investigarea principalelor surse naturale de radiații ionizante.

2. Investigațiile spectrometrice, radiometrice și dozimetrice au demonstrat că valorile concentrațiilor radionuclizilor naturali principali (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) și ale activității sumare *beta* a componentelor mediului, incluse în studiu, nu au depășit CMA stipulate în NFRP-2000, însă excepții au făcut activitățile efective (A_{eff}) în unele mostre de materiale de construcție și/sau de materia primă a acestora.

3. Am stabilit că radioactivitatea fondului *gama* natural în perioada 2011-2015 a variat în limitele 12–16 $\mu\text{R}/\text{h}$, valorile de alertă pentru Republica Moldova considerându-se mai mari de 25 $\mu\text{R}/\text{h}$.

4. Conform analizei rezultatelor măsurărilor concentrațiilor de ^{222}Rn , ca sursă principală de iradiere naturală a populației au fost stabilite nivelurile de referință pentru populație în locuințe.

5. Studiarea valorilor medii ale activității ^{222}Rn în aerul interior al încăperilor locative și parțial în cele de producere, în funcție de amplasarea acestora, a demonstrat concentrații sporite în încăperile de la subsol (550–700 Bq/m^3), fiind urmate de încăperile amplasate la demisol (200–450 Bq/m^3), casele individuale cu un nivel (150–250 Bq/m^3). În încăperile de tip bloc, la parter și mai sus, concentrațiile ^{222}Rn au constituit 20–110 Bq/m^3 . În primele trei cazuri, valorile concentrației de ^{222}Rn au depășit normele stipulate în actele naționale, respectiv 100–150 Bq/m^3 .

6. Măsurările, investigațiile și evaluările preliminare permit în final aprecierea pericolului real de la acești factori de risc și elaborarea măsurilor adecvate de protecție.

Bibliografie

1. Asha Rani, Sudhir Mittal, Rohit Mehra, R.C. Ramola. *Assessment of natural radionuclides in the soil samples from Marwar region of Rajasthan, India*. In: Applied Radiation and Isotopes, nr. 101 (2015), p. 122–126.
2. Băhnarel I., Corețchi L., Chiruța Iu. și alții. *Evaluarea riscului expunerii la radon în condițiile Republicii Moldova*. În: Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științe Medicale. Chișinău, 2007, nr. 4(13), p. 317-324.
3. Bossew P. *Radon: exploring the log-normal mystery*. In: J. Environ. Radioact., 2010, nr. 101, p. 826–834.
4. Garba N. N., Ramli A. T., Saleh M. A., Sanusi M. S. and Gabdo H. T. *Assessment of terrestrial gamma radiation dose rate (TGRD) of Kelantan State, Malaysia: Relationship between the geological formation and soil type to radiation dose rate*. In: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2014, nr. 302(1), p. 201–209.
5. Giorgia Cinelli, François Tondeur. *Log-normality of indoor radon data in the Walloon region of Belgium*. In: Journal of Environmental Radioactivity, nr. 143, 2015, p. 100–109.
6. Heidenreich W. E. and Paretzke H. G. *Promotion of Initiated Cells by Radiation-Induced Cell Inactivation*. Radiation Research, 2008, nr. 170(5), p. 613–617.
7. I. Matveyeva, R. Jaćimović, P. Planinšek, P. Stegnar, B. Smodiš, M. Burkitbayev. *Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan)*. In: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2014, nr. 299, p. 1399-1409. DOI 10.1007/s10967-013-2902-3.
8. *Norme fundamentale de radioprotecție. Cerințe și reguli igienice*. Nr. 06.53.34 din 27.02.2001, 116 p. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 40-41, Chișinău, 2001.
9. *Reguli și norme igienice privind reglementarea expunerii la radiații a populației de la sursele naturale*. Chișinău, 2001, 19 p. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 92-93 din 03.08.2001.
10. WHO. Radon and health. WHO Media Centre, 2009, URL <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/>.

Notă. Studiul a fost efectuat în cadrul cercetărilor științifice asupra temei tezei de doctor în medicină „ESTIMAREA RISCULUI DE EXPUNERE A POPULAȚIEI REPUBLICII MOLDOVA LA SURSELE NATURALE DE RADIAȚII IONIZANTE”

Prezentat la 14.01.2016

Serghei Virlan, doctorand,
e-mail: sergiuvirlan@mail.ru,
tel. 022 574 525



DIN ÎNȚELEPCIUNEA TIMPURILOR

Căruntețea lui Dumnezeu, zăpada-n Carpați și halatul medicului – atât a rămas curat în lumea asta.

(Grigore Vieru)

Vârsta nu depinde de câți ani ai, ci de temperament și sănătate. Unii oameni se nasc bătrâni, iar alții nu se maturizează niciodată.

(Tryon Edwards)

De câte ori trebuie să cadă cetățenii, pentru ca politicienii să învețe să meargă?

(Hasier Agirre)

O spun să mă audă și plin de floare pomul: „Și din mormânt voi spune mulțimii adevărul”.

(Grigore Vieru)