

II 296967

ION CHIOSILĂ

**RADIOECOLOGIE,
MANAGEMENTUL ACCIDENTULUI NUCLEAR**

EDITURA UNIVERSITĂȚII DIN BUCUREȘTI

- 1996 -



BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITARĂ
București

Cota π 296967
-
Inventar 804354

ION CHIOSILĂ

RADIOECOLOGIE,

MANAGEMENTUL ACCIDENTULUI NUCLEAR

EDITURA UNIVERSITĂȚII DIN BUCUREȘTI

– 1996 –

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>

Referenți științifici : Prof. dr. **MIRCEA ONCESCU**
Dr. **RODICA TULBURE**

Biblioteca Centrală Universitară

11296967

807357

112/92

VI

© Editura Universității din București
Șos. Panduri, 90-92, București - 76235; 410.23.84

Tehnoredactare computerizată: **ION CHIOSILĂ**
CONSTANTIN MOȘNEGUȚU

ISBN 973 - 575 -109 - 7

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>

CUPRINS

Prefață	57
Introducere	77
Cap. 1 Concepte de bază	111
Cap. 2 Efecte biologice ale radiațiilor	17
Cap. 3 Metabolismul și transferul radionuclizilor în biosferă	28
Cap. 4 Radioactivitatea naturală	44
Cap. 5 Radioactivitatea artificială	63
Cap. 6 Accidente nucleare	86
Cap. 7 Radioprotecție	104
Cap. 8 Managementul accidentului nuclear	114
Cap. 9 Expunerea medicală și profesională a populației	128
Cap.10 Legislația privind asigurarea radioprotecției în România	139
Postfață	144
Bibliografie	147

ANEXE:

1. Detectarea radiațiilor, aparatură dozimetrică, calculul activității 151
2. Metodologie pentru determinarea contaminării radioactive a factorilor de mediu, alimentelor și omului 156
3. Determinarea dozei de expunere 162
4. Mărimi și unități de măsură, transformări în SI 166
5. Doze și concentrații maxime admise..... 171
6. Clasificarea radionuclizilor după radiotoxicitate174
7. Prefixe 175
8. Teste pentru examen 176

PREFAȚĂ

Dorința de cunoaștere a oamenilor privind acțiunea și efectele radiațiilor nucleare, mai ales a celor de vârstă tânără, a sporit considerabil după accidentul nuclear de la Cernobâl. Radiațiile nucleare, cu multitudinea lor de utilizări dar și cu riscuri pentru sănătatea omului, trebuie înțelese, însă nu ca un rău necesar.

Specialiștii români în radioprotecție au încercat, prin diverse întruniri științifice (simpozioane, conferințe, mese rotunde etc.) dar și prin mass media, să aducă la cunoștința publicului impactul contaminării radioactive asupra factorilor de mediu, alimentelor și omului, estimat în final prin probabilitatea de apariție a unor efecte biologice la populația umană. Această activitate a fost oarecum mai puțin cunoscută înainte de 1989, dar odată cu înființarea Societății Române de Radioprotecție (SRRp) la 30 mai 1990, din care fac parte peste 300 specialiști, preocupările din acest domeniu au început să fie mai mult mediatizate.

Printre manifestările științifice organizate de SRRp, amintim două simpozioane de radioprotecție, intitulate: "Modificări ale expunerii la radiația naturală ca urmare a activităților umane - factor de risc pentru sănătate" din 29 septembrie - 1 octombrie 1993 la Băile Felix (Oradea) și "Accidentul nuclear - managementul și impactul asupra mediului și sănătății omului" din 25-27 mai 1994 în București. Referatele și lucrările specialiștilor prezentate la aceste simpozioane au stat la baza publicării cărților **RADIOACTIVITATEA NATURALĂ ÎN ROMÂNIA și RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ ÎN ROMÂNIA** de colective de specialiști în radioprotecție, în anul 1994.

Cărțile se adresează, în principal, persoanelor care lucrează cu surse radioactive (fizicieni, chimiști, medici, biologi, ingineri, tehnicieni etc.).

Pentru ca numeroasele noțiuni științifice legate de utilizarea și efectele radiațiilor ionizante să fie înțelese cu mai mare ușurință de studenții ecologi, am considerat necesară realizarea unei sinteze a celor două cărți, cu adăugarea de capitole noi (radioprotecția, legislația privind asigurarea radioprotecției în România, expunerea medicală și profesională) și a unor anexe (detectarea radiațiilor, aparatură dozimetrică, metode pentru determinarea contaminării radioactive și a dozei de expunere etc.).

Prezenta lucrare își propune ca un număr cât mai mare de viitori specialiști ecologi - manageri ai mediului să înțeleagă natura, sursa și efectele radiațiilor existente, în afara sau în interiorul organismelor, precum și măsurile și mijloacele de protecție a biosferei și populației umane împotriva radiațiilor ionizante.

*

* *

Mulțumesc și pe această cale colegilor din Societatea Română de Radioprotecție, autori ai celor două cărți, ale căror contribuții au stat la baza întocmirii acestui curs. Aduc, de asemenea, mulțumiri domnului profesor M. Oncescu și doamnei dr. Rodica Tulbure pentru referatele necesare publicării prezentului curs și unele propuneri de îmbunătățire. Aceleași mulțumiri se îndreaptă către prietenul meu V. Pătrașcu pentru corecturile și micile completări aduse textului. Menționez că textul capitolului "Prevenirea și intervenția în accidentul nuclear" din cartea RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ ÎN ROMÂNIA, având ca autori pe M. Moisescu, A. Miron și I. Chiosilă, a fost preluat în totalitate.

INTRODUCERE

Mediul înconjurător, de la infinitul cosmosului până la nivelul de organizare a materiei vii, este străbătut de o țesătură de radiații cu diferite energii, lungimi de undă și efecte. Majoritatea radiațiilor își are originea în mediul natural, din care sursa cea mai importantă este soarele. Pentru apariția și evoluția materiei vii, se consideră că importanță deosebită au avut radiațiile calorice (infraroșii), luminoase, ultraviolete și cele ionizante.

Radiațiile asigură energia necesară unor importante schimbări dar și echilibre în natură, la care nu trebuie omisă asigurarea climei terestre.

Radiațiile reprezintă emisia sau propagarea în spațiu a unor unde (cazul radiațiilor electromagnetice) sau a unor particule (radiațiile corpusculare); procesele sunt însoțite de transfer de energie care produce numeroase efecte de natură fizică, chimică sau biologică asupra corpurilor iradiate. Datorită efectului diferit, cele două tipuri principale de radiații sunt tratate, de asemenea, diferit ca unde (radiații) electromagnetice și respectiv radiații corpusculare.

Radiațiile se deosebesc după lungimea de undă, natura producerii sau tipul particulelor componente. Cele cu energie de peste 10 keV au capacitatea de a smulge electroni din atom producând astfel ioni și se numesc radiații ionizante. În această categorie intră, în principal, radiațiile X și gamma, protonii, electronii, neutronii și particulele alfa. Conform unor reglementări relativ recente, se mai folosește și terminologia de radiații nucleare, reprezentate de unde (radiații) electromagnetice și particule, care, în interacțiunea lor cu diferite substanțe provoacă modificări fizice, chimice și biologice.

Radiațiile pot fi produse în mod natural de Soare, surse radioactive etc., dar și artificial de aparate generatoare (radiații luminoase, calorice, X, electroni, neutroni etc.). Se consideră că lipsa dar și fluctuațiile cantitative și calitative mari ale acestor radiații au urmări dezastruoase asupra biosferei. Omul se poate dispensa de unele radiații pe durate scurte de timp, în cazuri deosebite suplimentându-le lipsa prin producerea lor pe cale artificială sub formă de căldură, lumină, radiații ultraviolete etc.

Funcțiile biologice ale organismelor vii nu pot fi concepute fără contribuția esențială a radiațiilor iar componentele mediului

nu ar putea fi utilizate de viețuitoare dacă nu ar exista radiațiile. Unele radiații constituie calea prin care energia cosmică se transferă și se transformă în materie vie prin fotosinteză, cu generare de oxigen, deschizând astfel ciclul mișcării biologice.

Radiațiile asigură condițiile de desfășurare a proceselor fizice și chimice, a tuturor schimburilor și formelor de mișcare din univers, prin realizarea climei, cât și datorită posibilității de existență a apei în diverse forme. Radiațiile pot fi, astfel, considerate factori determinanți ai creației materiei vii, iar în prezent sunt cele care îi asigură conservarea dar și evoluția.

Legătura dintre energia solară și viața pe pământ a fost făcută de om din cele mai vechi timpuri, soarele fiind plasat în centrul preocupărilor privind dependența sa față de factorii cosmici.

Pe parcursul său de la Soare la Pământ, radiația solară este absorbită parțial sau suferă unele transformări, mai ales în atmosfera terestră. Radiația solară, în care predomină radiațiile intraroșii (cca 64%), luminoase (cca 15%) și ultraviolete (sub 1%), este însoțită de radiația cosmică primară și secundară (constituită din particule încărcate pozitiv, produse de reacție etc.). O altă sursă de radiații o reprezintă fenomenul de emisie spontană, din interiorul atomului, ca urmare a dezintegrării unor nuclee. Dacă emisia de radiații este spontană, fenomenul a primit numele de radioactivitate naturală și este întâlnit la 55 nuclizi instabili numiți radionuclizi naturali. Prin bombardarea unor nuclee stabile cu neutroni sau alte particule se pot obține, peste 1200 radionuclizi artificiali, aceștia constituind radioactivitatea artificială.

Alături de radiațiile nucleare (alfa, beta, gamma) emise în timpul dezintegrării radioactive sau fisiunii nucleare, mai există radiațiile X (Röntgen) și electronii sau neutronii care iau naștere în aparate generatoare de radiații X, respectiv accelerator, ciclotron, betatron, dar numai pe durata funcționării instalației respective.

În funcție de lungimea de undă și de procesul de generare, radiațiile sunt clasificate în mai multe feluri. Am optat pentru cea prezentată de Milu și colaboratorii [1], care prezintă următoarea clasificare a radiațiilor:

1. radiații electromagnetice

- hertziene
- infraroșii

- luminoase
- ultraviolete
- X
- gamma
- cosmice

2. radiații corpusculare

- electroni
- protoni
- neutroni
- alfa

Dintre radiațiile electromagnetice, undele hertziene (radio, televiziune, radar), infraroșii, luminoase și ultraviolete prezintă efecte calorice, în timp ce radiațiile X, gamma, cosmice și ultraviolete (cu energia de peste 10 eV) sunt ionizante, alături de toate radiațiile corpusculare.

Încă de la apariția sa, omul a fost expus la radiații naturale; în secolul al XX-lea s-a adăugat și expunerea dată de sursele artificiale de radiații, fie utilizate în scopuri pașnice, fie scăpate de sub control.

Radiațiile date de radionuclizii naturali nu diferă ca tip sau ca efect față de radiațiile emise de radionuclizii artificiali sau generatorii de radiații.

Radioactivitatea naturală, componentă a mediului înconjurător, este generată de substanțe radioactive aflate din timpuri străvechi în aer, apă, sol, organisme vegetale și animale, la care se adaugă radiația cosmică.

În ultimele decenii, sursele de radiații nucleare, fie cele închise în capsule metalice, fie cele deschise ca soluție sau pulbere, alături de generatorii de radiații (tuburi de radiații X, acceleratori de particule, betatroane etc.) din diverse domenii de activitate, au devenit un mijloc important de producție (energie electrică, propulsie), investigație (medicină, industrie, agricultură, hidrologie, cercetare etc.) sau tratament medical, dar și de expunere artificială (suplimentară) a populației la radiații.

O dată cu observarea unor efecte nocive asupra sănătății omului, a început să se acorde atenție sporită nu numai evaluării expunerii suplimentare ci și măsurilor de radioprotecție care trebuie luate înainte sau concomitent cu utilizarea energiei nucleare.

Dintre radiații, cele ionizante pot avea efecte nocive deosebite asupra materiei vii. Astfel, radiațiile date de radionuclizii artificiali sau naturali, cât și de generatorii de radiații, ori provenite în urma contaminării mediului de către diverse instalații nucleare, respectiv din funcționarea incorectă a unor generatori, pot duce la expuneri suplimentare ale omului, constituind noxa radioactivă.

Prezența radiațiilor ionizante nu poate fi percepută prin simțurile omului iar efectele apar, de obicei, după o perioadă îndelungată de timp. Comparativ cu alte tipuri de noxe apărute în ultimele decenii, noxa radioactivă nu poate fi anihilată (neutralizată) prin procedee fizice, chimice sau biologice. Proprietatea acestui tip de noxă de a emite radiații nucleare se menține, indiferent de forma chimică; în schimb, proprietățile chimice și biochimice (metabolice) pot influența gradul de toxicitate a substanței radioactive, printr-o metabolizare mai intensă a compușilor solubili în apă sau în lichide biologice. Incorporarea radionuclizilor de către materia vie poate determina efecte biologice imediate și/sau întârziate, evidențiabile mai ales la ființa umană, considerată printre cele mai radiosensibile.

Obiectul radioecologiei. În sens restrâns, obiectul radioecologiei este dat de comportarea, metabolizarea și transferul radionuclizilor din mediu în organismele vii. La aceste aspecte, au fost adăugate, după cum spune și titlul cursului, cele legate de pregătirea și intervenția în caz de accident nuclear, deoarece în această situație există probabilitatea apariției unor cantități mari de radionuclizi artificiali care pot să contamineze omul și mediul înconjurător. Pentru o mai bună înțelegere a efectelor nocive ale radiațiilor, apărute prin utilizarea mai puțin controlată a energiei nucleare, au fost adăugate unele aspecte legate de expunerea persoanelor care lucrează în mediu cu radiații (expunerea profesională), cât și despre utilizarea radiațiilor în scopuri medicale de diagnostic și tratament (expunerea medicală).

Radioecologia, ca ramură a ecologiei, a fost creată din necesitatea acută de a asigura protecția biosferei împotriva noxei radioactive apărută odată cu utilizarea tot mai intensă a surselor de radiații în ultima jumătate de secol.

Având în vedere utilizarea radiațiilor și radionuclizilor în numeroase domenii de activitate, dar mai ales darea în folosință în 1996 a primului reactor în cadrul centralei nucleare electrice (CNE) Cernavodă, a apărut necesitatea ca toți specialiștii din domeniul protecției biosferei să cunoască și aspecte legate de riscul prezentat de utilizarea radiațiilor și radionuclizilor când nu sunt luate toate măsurile de protecție.

Capitolul 1

CONCEPTE DE BAZĂ

2.1. Structura materiei. Materia se compune din elemente chimice, în care predomină H, O, C, Na, Li, Si, K etc. iar elementele sunt formate din:

- atomi caracteristici care conțin un nucleu constituit din protoni, cu sarcină pozitivă și neutroni, fără sarcină;
- electroni, cu sarcină negativă, care înconjoară nucleul pe orbite nedefinite.

Atomul conține un număr egal de protoni și electroni, ceea ce îl face neutru electric.

Numărul protonilor, numit și număr atomic (Z), caracterizează un element, iar numărul de masă (A) este dat de totalitatea protonilor și neutronilor, care constituie nucleul și dau masa atomului. Pentru a caracteriza sumar un element numit și nuclid, pe lângă numele acestuia sau simbolul său chimic, se adaugă numărul de masă. Elementul chimic reunește nuclizii cu același număr de protoni. Astfel, plumbul-208 (Pb-208) este un nuclid cu 82 protoni și 126 neutroni. Nuclizii unui element care au numere diferite de neutroni se numesc izotopi ai acestui element. Astfel, hidrogenul are trei izotopi; H-1, H-2 (D), numit deuteriu și H-3 (T), numit tritium.

Atomii unui element sau ai mai multor elemente se pot combina, pentru a forma entități neutre electric, numite molecule; astfel, doi atomi de oxigen formează o moleculă de oxigen (O_2), iar doi atomi de hidrogen se pot combina cu un atom de oxigen, pentru a forma o moleculă de apă (H_2O).

2.2. Radioactivitatea. O mare parte dintre nuclizi nu sunt stabili datorită configurației lor, numărului nepotrivit de neutroni și protoni și forțelor existente în atom. Astfel, un nuclid instabil se dezexcită sau se transformă, în mod spontan, în nuclidul altui element, cu emisie de radiații. Această proprietate de a emite radiații se numește radioactivitate, transformarea = dezintegrare iar nuclidul este de fapt un radionuclid. Astfel se prezintă dezintegrarea a doi nuclizi:

C-14 radioactiv \rightarrow N-14 stabil, cu emisie de radiații beta.

Ba-140 radioactiv \rightarrow La-140 radioactiv \rightarrow Ce-140 stabil cu emisie de radiații beta și gamma.

Unitatea de măsură, în Sistemul Internațional (SI), pentru activitatea unui radionuclid, este dezintegrarea pe secundă, cu simbolul Bq (Anexa 4).

2.3. Radiațiile ionizante, sunt de origine și natură foarte diferite, clasificându-se astfel:

- radiații electromagnetice X și gamma, de înaltă frecvență, au aceeași natură ca și lumina vizibilă,

- radiații corpusculare încărcate electric: alfa, beta, ioni accelerați etc. Radiațiile beta sunt de fapt electroni și au viteză mare de deplasare, comparabilă cu cea a radiațiilor X și gamma, apropiată de cea a luminii. Radiațiile alfa sunt constituite din nuclee de He.

- radiații corpusculare neutre electric, neutroni.

Radiațiile alfa, beta și gamma, toate sau separat, însoțesc procesul de dezintegrare radioactivă. Radiațiile X, utilizate frecvent și în medicină, sunt produse prin bombardarea unei ținte metalice cu electroni, într-un tub vidat și au proprietăți similare cu cele ale radiațiilor gamma, dar cu energie mult mai mică. Neutronii pot fi eliberați spontan de nuclizi (cazul Cf-252), emiși de Be-9, dacă este bombardat cu particule alfa ale Po-210 (se formează C-12, care emite neutroni) sau în procesele de fisiune ale U-235, U-238, Pu-239 etc.

Radiațiile amintite, fie că sunt unde electromagnetice, fie că sunt particule elementare în mișcare, prezintă unele proprietăți comune: sunt invizibile, se deplasează cu viteză foarte mare și pot pătrunde în materiale la adâncimi (parcursuri) diferite, în funcție de natura radiației; numai radiațiile alfa au un parcurs foarte redus.

2.4. Sursele de radiații naturale și artificiale. Sursele de radiații naturale, în afara radiației cosmice, sunt constituite din ansamblul radionuclizilor primordialii și anume cei din seriile naturale ale uraniului 238 și thoriului 232, aduși din straturile subterane ale planetei în componentele mediului ambiant, prin:

- minerit, arderea cărbunilor,
- rocile fosfatice necesare producerii îngrășămintelor,
- exploatarea petrolului,
- apele geotermale,
- fabricarea unor materiale de construcție.

În ceea ce privește energia nucleară, cu cele trei domenii principale ale sale: prepararea combustibilului nuclear, funcționarea

reactorilor nucleari și reprocessarea combustibilului nuclear, este cuprinsă și în sursele de radiații naturale suplimentare rezultate prin tehnologia modernă. Evident, că în fiecare din domeniile enumerate, se presupune respectarea procedeelelor standardizate și aprobate prin legislațiile naționale și internaționale. Incidentele și accidentele pot duce la crearea unor surse de radiații artificiale.

Printre sursele de radiații naturale, modificate tehnologic, ar trebui să între tritiul (H-3) și carbonul 14 (C-14). Aceștia sunt radionuclizi cosmogeni, produși prin interacția radiațiilor cosmice cu atomi din structurile înalte ale atmosferei. Creșterea tehnologică a conținutului de tritium din atmosferă și hidrosferă se datorește reactorilor nucleari răciți cu apă obișnuită sau grea, iar aceea a carbonului 14 se datorește și cantităților crescute de CO₂ eliberate prin arderea cărbunelui cât și probabilității mai mari a reacțiilor nucleare produse de radiația cosmică cu atomii de carbon din atmosferă.

La sursele de radiații produse de om, pe lângă cele enumerate mai sus, datorate unor funcționări anormale din etapele ciclului combustibilului nuclear, trebuie adăugate încă două mari categorii de asemenea surse:

a. **Exploziile nucleare**, efectuate în atmosferă sau în subteran, atât în vederea perfecționării armelor nucleare, cât și în scop pașnic. Pentru testele nucleare, intervalul de experimentare a fost 1952 - 1962. Conform acordurilor internaționale, aceste experiențe au încetat după 1962, majoritatea țărilor respectând moratoriul la care au aderat; totuși China și Franța au mai efectuat explozii nucleare și după 1962 [14]. Exploziile nucleare în subteran au continuat și în prezent. Asupra efectelor sunt încă discuții între grupurile de specialiști.

b. **Utilizarea energiei radiațiilor nucleare**. Unele proprietăți ale radiațiilor nucleare pot fi utilizate de către om în diverse moduri. Astfel, în ultimele decenii, radiațiile, ca surse închise sau deschise, cât și generatorii de radiații, au început să fie folosite în cele mai largi domenii de activitate, devenind un important mijloc de producție și investigații. Se poate spune că efectul radiațiilor este utilizat în producerea de curent electric (energetica nucleară), propulsie, radiografie industrială, terapie și diagnostic medical etc. Utilizarea radionuclizilor în diferite domenii ale științei și tehnicii poate conduce la contaminarea radioactivă a componentelor mediului ambiant: hidrosfera, atmosfera și litosfera. Tehnicile cu radionuclizi produc o contaminare radioactivă, pentru care Normele de Radioprotecție impun o durată de contaminare cât mai redusă (prin

folosirea radionuclizilor cu timp de înjumătățire foarte mic). În utilizarea acestor surse radioactive, practica a arătat că au existat pierderi de asemenea surse; recent, asistăm la o răspândire ilegală a acestora în care se întrevăd scopurile condamnabile ale terorismului internațional.

2.5. Interacția radiației cu substanța. La străbaterea substanței de către radiații are loc cedarea energiei unei radiații către atomii pe lângă care trece; de regulă, energia unei radiații este cedată electronului unui atom, actul elementar de transfer de energie se poate repeta de un număr mare de ori de către aceeași radiație. Actul elementar de interacție a unei particule incidente cu electronul unui atom, prin care electronul încărcat negativ preia energie de la radiația incidentă putând fi expulzat din atom, lasă atomul cu o sarcină electrică pozitivă. Dacă atomul face parte dintr-o moleculă, atunci prin smulgerea unui electron, molecula respectivă rămâne încărcată pozitiv. *Procesul prin care un atom neutru sau o moleculă devin încărcate pozitiv se numește ionizare; entitatea rezultată se numește ion pozitiv. Electronul expulzat poate, la rândul său, să ionizeze alți atomi sau molecule. Pentru acest motiv radiațiile alfa, beta, gamma, X și neutronii se mai numesc și radiații ionizante.* Surplusul de energie rezultat se poate localiza la nivelul unor legături chimice ceea ce declanșează o suită de transformări în masa substanțelor iradiate. Moleculele se pot transforma în componente reactive, radicali liberi, ioni sau alte molecule, care la rândul lor vor acționa asupra altor componente.

2.6. Expunerea la surse de radiații. În ultimul timp, documentele internaționale care se referă la radioprotecție [24, 36], folosesc termenul de **expunere** pentru acțiunea prin care radiațiile provoacă transformări în organismul uman, transformări care se numesc **efecte biologice produse de radiații**. Ansamblul efectelor biologice produse de radiații asupra celulelor vii se măsoară cu ajutorul mărimii *echivalentul dozei efectiv (EDE)*, numit în ultimul timp și *efectanță* (Anexa 4). Mărimea denumită *expunere*, definită ca raportul între sarcina electrică produsă prin ionizare și masa în care se produce acea ionizare, tinde a fi numită **doza de expunere**.

Termenul de **iradiere** rămâne pentru instalațiile care produc câmpuri de radiații mari și foarte mari. Instalațiile de iradiere includ instalațiile cu fascicule de radiații pentru radioterapie, instalațiile pentru sterilizarea produselor comerciale și acelea pentru radiografia industrială.

Noiile Norme de Radioprotecție [36] consideră patru moduri de clasificare a **expunerii organismului uman**:

- **expunerea externă și expunerea internă**, după cum sursa care iradiază organismul este în afara sau în interiorul său,

- **expunerea normală și expunerea potențială**. Expunerea normală are loc în condiții de funcționare normală a unei instalații sau surse de radiații iar dereglările care ar apărea în funcționare pot fi ținute sub control. Expunerea potențială ar rezulta dintr-un accident la o sursă de radiații sau ca urmare a unui eveniment sau secvență de evenimente de natură întâmplătoare (probabilistică), incluzând defecțiuni tehnice sau erori de operare.

- **expunerea profesională, medicală și a populației (publică)**.

- expunerea profesională se referă la persoanele care lucrează cu surse de radiații, fie naturale, fie artificiale (inclusiv personalul medical care lucrează cu radiații).

- expunerea medicală se datorește surselor radioactive sau de radiații folosite pentru diagnostic sau tratament, astfel pacientul suferă o expunere medicală.

- expunerea populației din orice tip de sursă de radiații, excluzând expunerea profesională și medicală, precum și sursele de radiații naturale (cu o doză efectivă medie de 2,4 mSv pe an pe individ); în expunerea populației este inclusă și aceea datorată situațiilor de intervenție în cazul unui eveniment sau accident nuclear.

- **expunerea de urgență și expunerea cronică**. Expunerea de urgență este temporară și apare ca urmare a unui accident nuclear care necesită acțiuni imediate de radioprotecție, cu scopul de reducere sau eliminare a expunerii temporare. Expunerea cronică poate fi: o expunere naturală (radonul în încăperi sau în galeriile de mină, unde se extrage minereu uranifer), expunere naturală modificată tehnologic (acumularea sărurilor radioactive într-o instalație de ape de zăcământ), expunere datorată deșeurilor radioactive din "evenimente" vechi, sau ca urmare a unui accident nuclear, după terminarea situației de intervenție. Expunerea cronică impune o acțiune de remediere a situației din punctul de vedere al radioprotecției, cu scopul de reducere a expunerii.

În ceea ce privește protecția organismului față de efectele biologice produse, proiectul Normelor de Radioprotecție internaționale stipulează că expunerea normală este afectată de limitări impuse prin lege. Dozele limită fac obiectul normelor naționale și internaționale de radioprotecție. Astfel, pentru expunerea profesională, doza efectivă (se mai folosește încă și denumirea de echivalent de doză efectiv numit și EDE) este 20 mSv pe an mediată pentru cinci ani consecutivi, aceasta putând atinge

valoarea de 50 mSv într-un singur an. Expunerea unui individ din populație datorată tuturor "situațiilor" cu surse radioactive din zona în care trăiește, nu trebuie să depășească, în medie, o doză efectivă de 1 mSv într-un an. În cazuri speciale se poate admite doza de 5 mSv într-un singur an cu condiția ca în cinci ani consecutivi să nu se depășească media de 1 mSv pe an.

În Normele de Radioprotecție internaționale, se precizează că doza limită stipulată la expunerea normală nu se aplică expunerii medicale care rezultă din proceduri autorizate.

*
* *

Terminologia prezentată aici reprezintă terminologia modernă utilizată în Normele de Radioprotecție internaționale [32], la care trebuie să se ralieze toți specialiștii în radioprotecție. Este bine să menționăm că se mai folosesc încă termenii de expunere (sau iradiere) suplimentară și expunere accidentală.

Capitolul 2

EFECTELE BIOLOGICE ALE RADIAȚIILOR IONIZANTE

2.1. Interacțiunea radiațiilor cu materia vie. Materia vie, caracterizată printr-o mare heterogenitate, este alcătuită din numeroase feluri de molecule organice, o mare cantitate de apă și substanțe anorganice care se află fie dizolvate în apă, fie sub formă de combinații organominerale. Compoziția de bază a materiei vii diferă la plante față de animale, diferă de la o specie la alta, diferă de la o vârstă la alta, chiar și de la un organ la altul. În structura materiei vii, pe elemente, 95% din masa sa este dată de hidrogen, carbon, azot și oxigen; la acestea se mai adaugă fosforul, sulful, clorul, sodiul, magneziul, potasiul și calciul. Alte elemente chimice împreună constituie sub 1% și se găsesc în mod sporadic.

Interacțiunea radiațiilor cu materia, în faza inițială, nu diferă dacă materia este vie sau fără viață și constă în transfer de energie. Deosebirea fundamentală apare datorită comportării diferite a produșilor rezultați din interacțiunea primară, care depinde de tipul și energia radiației cât și de compoziția chimică a materiei. Datorită mării diversități în structura materiei vii, interacțiunea radiațiilor cu aceasta va produce o multitudine de efecte, care de multe ori sunt greu de explicat. Astfel, un flux de radiații X sau gamma va interacționa în alt mod decât un flux de neutroni iar radiațiile gamma acționează diferit asupra țesutului adipos față de țesutul osos.

Referitor la parcursul radiațiilor, radiațiile alfa sunt oprite de stratul superficial al pielii (deci, în contaminarea externă a omului, efectele sunt foarte reduse). Radiațiile beta pot traversa mai mulți centimetri de țesut iar unele radiații gamma și cele cosmice sunt capabile să traverseze chiar blindaje de plumb de mai mulți metri. Neutronii rapizi pot cauza distrugerii grave la nivelul celulei, printre cele mai periculoase fiind ruperea fragmentelor lanțurilor acizilor nucleici. Aceleași efecte grave asupra structurilor celulare pot produce radiațiile alfa în cazul contaminărilor interne.

Efectul radiațiilor asupra materiei se manifestă, mai întâi, prin ionizarea materiei vii (mai ales a apei din structura sa, efect numit și radioliza apei). Radicalii liberi și ionii rezultați prezintă o mare reactivitate chimică care poate duce la modificarea diversilor constituenți celulari, la formarea de peroxizi și a altor compuși

citotoxici. Radiațiile ionizante pot produce și importante distrugerii celulare, mai ales când sunt emise din interiorul organismului (contaminarea internă cu radionuclizi care emit radiații alfa și beta). În iradierile cu neutroni, în afara ionizărilor și distrugerilor subcelulare, poate apărea și radioactivitatea indusă (nuclizii C, Na, K etc. din corp devin radioactivi).

Expunerea (în accepțiune mai veche, iradierea) este acțiunea prin care radiațiile incidente unui corp provoacă transformări în acel corp. Transformările din organismele vii sunt cunoscute sub numele de "efecte biologice la iradiere". Pentru doze de expunere mici, când organismul poate reacționa încă în limite fiziologice normale, se poate considera că radiațiile au un efect pozitiv. În anumite condiții de expunere la radiații, apare o intensificare a reacțiilor prin care se realizează procesele de sinteză, deci o stimularea temporară a metabolismului.

Dacă sursa de radiații este exterioară corpului iradiat se folosește termenul "iradiere externă" iar dacă sursa de radiații este încorporată sau distribuită în masa corpului se folosește termenul de "iradiere internă".

2.2. Efectele biologice ale radiațiilor ionizante. Depășirea limitei normale de funcționare a organismului, datorită unei doze de expunere la radiații, duce la dereglări ale metabolismului, care pot avea ca efect distrugerii de constituenți celulari iar în final, moartea celulelor, țesuturilor sau chiar a organismului respectiv. Efectele biologice pot fi grupate astfel:

- **efecte somatice**, care apar la nivelul celulelor somatice și acționează asupra fiziologiei individului expus, provocând unele distrugerii, care duc, fie la moartea rapidă, fie la reducerea semnificativă a speranței medii de viață. Leziunile somatice apar în timpul vieții individului iradiat. În funcție de momentul când apar, aceste leziuni pot fi imediate sau tardive. **Efectele somatice imediate**, numite și manifestări precoce, apar la câteva zile, câteva săptămâni sau chiar luni după iradiere, fiind expresia efectelor cu prag. O iradiere locală (internă sau externă) se poate manifesta numai prin efecte la nivelul țesutului respectiv, în timp ce o iradiere a întregului corp poate duce la apariția unor efecte generalizate. Efectele imediate sunt, de regulă, nestochastice (nealeatorii), adică se produc la toți indivizii expuși la o doză superioară unei anumite valori, numită doză-prag. Expunerea externă a întregului corp (în cazul omului) la doze de peste 1 Gy, într-un timp relativ scurt, duce la

apariția bolii de iradiere cu trei forme de manifestare (sindroame): gastrointestinală, hematologică și neuropsihică. Pentru dozele apropiate de 1 Gy și dacă se instituie un tratament precoce și corect, bolnavul se poate vindeca. Dozele de peste 5 - 6 Gy duc la decese în 50% din cazuri. Boala de iradiere apare numai în situații speciale, dintre acestea sunt citați supraviețuitorii bombardamentelor de la Hiroshima și Nagasaki, cât și persoane din formațiunile de intervenție în accidentul nuclear de la rectorul nr.4 de la Cernobâl (pompieri și "lichidatori").

Manifestările patologice care apar în expunerile externe locale îmbracă diferite forme, în funcție de doză și regiunea expusă. Astfel, leziunile cutanate se manifestă prin dispariția temporară a pilozității la 4 Gy, până la radiodermite cu necroză la peste 25 Gy. Expunerea la nivelul gonadelor duce la sterilizarea temporară pentru doze de 0,3 Gy la bărbați și 3 Gy la femei, ori definitivă la doze mai mari de 5 -6 Gy.

Efecte somatice precoce sunt și cele care apar ca urmare a expunerii embrionului uman la doze de peste 0,1 Gy în primele 3 luni de sarcină sub forma malformațiilor congenitale, retardare mentală severă, dimensiuni crescute ale cutiei craniene, scăderea scorului de inteligență, convulsii etc.

Efectele somatice tardive apar după o perioadă mai lungă de timp, de ordinul anilor, numită perioadă de latență și se manifestă în principal sub formă de leucemie sau cancer. Aceste efecte sunt de natură stohastică sau aleatorie (întâmplătoare); demonstrarea relației cauză - efect este mult mai dificilă. Probabilitatea producerii unui efect este proporțională cu doza de iradiere. Corelația între doza de iradiere și efectele induse se poate stabili numai în cazul unei populații numeroase de indivizi expuși la radiații. Ca efect biologic fără prag, care se manifestă la diverse doze de expunere, este citat cancerul radioindus; acesta poate apare de la câteva luni până la zeci de ani după expunere. Datele despre cancere radioinduse (Tabelul 2.1) apărute în diverse organe sau țesuturi, provin din studiile epidemiologice efectuate pe persoane expuse profesional, pe pacienții supuși unor iradiei medicale și pe supraviețuitorii bombardamentelor atomice din Japonia.

Tabelul 2.1 Principalele localizări ale cancerului radioindus [34].

Boala	Grupuri luate în studiu	Caracteristici
Leucemia	<ul style="list-style-type: none"> - supraviețuitorii bombardamentelor atomice - populația din insulele Marshall (experiențe nucleare) - pacienți cu iradiere pelviene - pacienți tratați cu raze X pentru spondilită anchilozantă - pacienți care au suferit alte proceduri medicale (diagnostic cu thorotrast) 	<ul style="list-style-type: none"> - perioadă de latență 2 - 10 ani - intervalul expunere - deces, maxim 8 - 13 ani - depinde de vârsta și durata de expunere - perioada de latență nu variază în funcție de doză - creșterea incidenței încetează la cea 30 ani de la expunere - sunt incluse toate formele acute de leucemie și leucemie cronică granulocitară, însă nu a fost nici o semnalare că radiațiile ar induce leucemie limfocitară cronică - nu există o diferență clară funcție de sex
Cancerul tiroidian	<ul style="list-style-type: none"> - supraviețuitorii bombardamentelor atomice - populația din insulele Marshall - iradiere terapeutică (timus) cu surse externe - pacienți tratați cu I-131 	<ul style="list-style-type: none"> - perioada de latență 10-17 ani, la iradierea în copilărie - rata de inducere pe unitatea de doză absorbită pare a fi ceva mai mare la bărbați decât la femei și mai mare la copii decât la adulți - tumorile induse sunt cu celule diferențiate, cu evoluție latentă, complet vindecabile postoperator sau tratament cu radioiod
Cancerul de sân	<ul style="list-style-type: none"> - supraviețuitorii bombardamentelor atomice - expunere în radiodiagnostic - după radioterapie (maste) 	<ul style="list-style-type: none"> - indus cu frecvență mare la adolescente și adulte tinere - perioada de latență 10 ani, dar poate apare și după 30 ani, media fiind 25 - riscul estimat de cancer mai mare pentru cancerele postiradiere medicală - mortalitate mai mare în cele după iradiere medicală
Cancerul pulmonar	<ul style="list-style-type: none"> - supraviețuitorii bombardamentelor atomice - muncitorii expuși la radon - iradierea medicală în spondilita anchilozantă 	<ul style="list-style-type: none"> - latență 10 - 25 ani - evoluție scurtă și fatală - tip anaplastic - incidența (morbiditatea) puțin probabil să difere de mortalitate - apare mai ales peste 35 ani

Tabelul 2.2 Studii epidemiologice efectuate în România [34].

Nr. crt.	Autori	Perioda studiată	Locul	Titlul
1	Institutul de Igienă și Sănătate București	1986-1987	România	Riscul de malformații congenitale asociat expunerii accidentale la doze mici de radiații ionizante
2	Institutul de Igienă și Sănătate București	1986-1987	București	Studiul incidenței malformațiilor congenitale la nou-născuții din Municipiul București în perioada 1 oct 1986 - 31 dec 1987, în relație cu expunerea la radiații nucleare.
3	Inspectoratul de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă Timișoara, Institutul de Sănătate Publică și Cercetări Medicale Timișoara	1980-1985 1986-1989	jud. Timiș	Investigarea malformațiilor congenitale posibil radioinduse în jud. Timiș, ante și post accident de la Cernobâl.
4	Institutul de Sănătate Publică și Cercetări Medicale Cluj	1980-1991	Cluj-Napoca	Calitatea aerului interior și incidența cancerului pulmonar.
5	Institutul de Sănătate Publică și Cercetări Medicale Timișoara	1981-1991	com. Lovrin	Influențe posibile ale dozelor mici de iradiere (fond natural) asupra mortalității prin cancer digestiv în zona de vest a țării.
6	Institutul de Sănătate Publică și Cercetări Medicale Cluj Inspectoratul de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă Tg. Mureș	1987-1992	jud. Cluj jud. Harghita	Morbiditatea prin cancer tiroidian în județele Cluj și Harghita după accidentul de la Cernobâl.
7	Institutul de Igienă și Sănătate Publică București	1981-1985 1987-1991	România	Leucemia la copii și accidentul de la Cernobâl.
8	Spitalul Județean Miercurea Ciuc	1980-1990	jud. Harghita	Analiza comparativă a cauzelor de deces în jud. Harghita pre și post Cernobâl.

- **efectele genetice (ereditare)**, apar în celulele germinale (sexuale) din gonade (ovar și testicul). Cercetările au arătat că aceste celule în perioada înmulțirii sunt foarte sensibile la radiațiile ionizante, ceea ce explică acțiunea mutagenă. Apariția unor mutații letale sau subletale la descendenți se datorează unor efecte imediate ale radiațiilor ca: alterarea cromozomilor (translocatii, apariția de extrafragmente), ruperea unor segmente de cromatină, alterarea chimică a codului genetic, fie prin acțiunea radicalilor liberi asupra bazelor azotate ale acizilor nucleici, fie prin ruperea lanțului acelorași acizi, datorită dezintegrării H-3 sau C-14 în He și, respectiv, în N. Efectele genetice se manifestă ca boli ereditare și apar la descendenții persoanelor expuse la radiații. Anomaliile genetice ereditare pot merge de la modificări inaparente (predispoziție pentru diabet, hipertensiune arterială, psihoze, cancere) până la tulburări de dezvoltare și malformații grave. Studiile epidemiologice populaționale nu au pus în evidență modificări statistic semnificative ale apariției efectelor ereditare în expunerea umană, principalele concluzii în acest sens fiind obținute în studiile experimentale pe animale de laborator.

Carcinogeneza și efectele genetice sunt asociate cu expuneri la doze mici și pe perioade îndelungate de timp, cum este cazul expușilor profesionali, pacienților supuși tratamentelor medicale cu radiații, persoanelor care locuiesc în zone cu radioactivitate naturală crescută și mai ales persoanelor afectate de accidente nucleare.

Specialiștii români au efectuat diverse studii privind efectele radiațiilor asupra sănătății la grupuri din populație expuse la radiații (Tabelul 2.2). Rezultatele obținute nu au condus la concluzii privind relația cauză - efect în expunerea la doze mici de radiații.

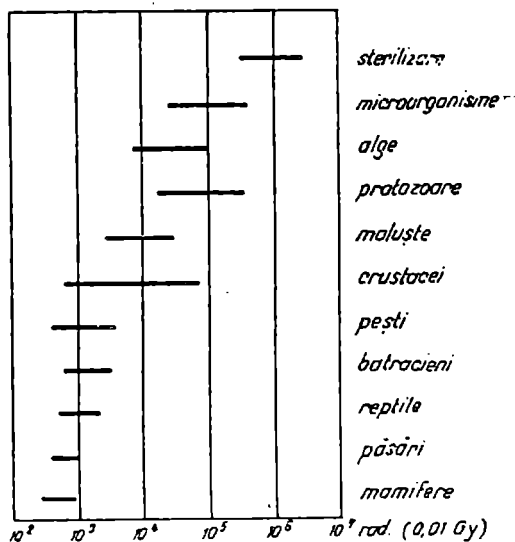
În concluzie, leziunile produse în urma interacțiunii radiațiilor cu materia vie pot duce la moartea celulelor (efecte somatice imediate) cât și la transformări ulterioare care pot apare la individul iradiat (efecte somatice tardive) sau la descendenți (efecte genetice).

Celulele somatice și sexuale, în înmulțirea lor, sunt foarte sensibile la radiații tocmai datorită distrugerilor provocate de radiațiile ionizante asupra cromozomilor. Astfel se explică marea vulnerabilitate a celulelor sexuale și acțiunea sterilizantă rezultată în urma expunerii la radiații ionizante. Sterilitatea poate fi parțială sau totală, reversibilă sau definitivă, în funcție de doză [Tabelul 2.3].

2.3. Doza letală 50% (DL_{50}). Dozele mari de radiații provoacă moartea indivizilor expuși la diverse intervale de timp de la expunere. Pentru evaluarea acestui efect, se utilizează termenul de DL_{50} . Aceasta reprezintă doza teoretică de radiații ionizante care poate produce moartea într-un timp determinat a 50% din indivizii expuși. Iradierea experimentală a numeroaselor specii de plante și animale a scos în evidență o mare variabilitate a sensibilității ființelor vii, respectiv a DL_{50} .

Organismele cele mai rezistente la radiațiile ionizante sunt bacteriile iar cele mai sensibile sunt organismele cu sânge cald (mamifere și păsări) (Figura 2.1).

Fig. 2.1 Toleranța relativă a unor grupe de organisme la radiații (DL_{50})



Astfel, DL_{50} este de ordinul a câteva mii de Gy pentru microorganisme, sute la mii de Gy pentru plante, sute de Gy pentru crustacei și doar câțiva Gy pentru mamifere și păsări.

Expunerea la radiații ionizante duce, în organismele animale expuse la radiații, la o scădere a activității de sinteză a acizilor nucleici și a proteinelor, corelată cu reducerea sau absența elaborării

de anticorpi. Această scădere a imunității organismului iradiat explică sensibilitatea ridicată la radiații a mamiferelor.

2.4. Radiosensibilitatea sau sensibilitatea organismelor la radiațiile ionizante este cu atât mai mare cu cât gradul de evoluție și complexitatea organismului sunt mai mari. Totuși, diferențe mari de radiosensibilitate, uneori greu de explicat, apar în cadrul aceleiași clase de organisme, cum este cazul musculiței de oțet (*Drosophila melanogaster*) cu DL_{50} de cca 850 Gy, față de numai 100 Gy la musca obișnuită (*Musca domestica*).

În cazul omului, DL_{50} pentru 21 zile este de cca 4 Gy în cazul expunerii întregului organism. Alte efecte care apar pentru diverse doze de iradiere totală sunt prezentate în Tabelul 2.3.

Tabelul 2.3 Efectele iradierii totale asupra omului [23].

Doza totală corporală (Gy)	Efecte după expunere
1000	Moarte la câteva minute
100	Moarte la câteva ore
10	Moarte la câteva zile
7	90% mortalitate în săptămânile următoare
2	10% mortalitate în lunile următoare
1	Fără mortalitate, dar creștere semnificativă a cazurilor de cancer. Sterilitate permanentă la femei, 2 la 3 ani sterilitate la bărbați.

Expunerea numai a unei părți a organismului uman la doza de 4 Gy, sau chiar mai mare, nu provoacă moartea individului ci duce la apariția unor efecte locale. Astfel, aceeași doză provoacă înroșirea la nivelul pielii, iar la nivelul gonadelor, sterilitatea. În același timp, dacă doza de 4 Gy este primită de întregul organism, dar nu instantaneu, ci în câteva luni de zile, ar putea să nu producă efecte vizibile imediat, dar care pot apare fie tardiv, fie la descendenți, în funcție de mai mulți factori fiziologici.

Radiosensibilitatea la om depinde de vârstă și sex, iar în același organism diferă în funcție de țesut. Astfel, organismele

tinere și mai ales embrionii sunt mult mai vulnerabili decât adulții. Această radiosensibilitate crescută la organismele tinere este legată de intensitatea activității de înmulțire a celulelor în perioada de creștere. Organismele femele sunt mai sensibile decât cele masculine. La organismele adulte, gonadele, măduva roșie hematoformatoare și o parte din tubul digestiv (mai ales intestinul subțire), având o activitate intensă de diviziune celulară, sunt radiosensibile, în timp ce neuronii, care nu se mai divid la adult, constituie celulele cele mai rezistente la iradiere.

Existența mecanismelor de restaurare (refacere) biologică, care permit repararea dereglărilor somatice cauzate asupra celulelor unde doza este inferioară dozei-prag, nu trebuie să excludă probabilitatea apariției unor efecte chiar cancerigene sau/și mutagene. Dar, majoritatea lucrărilor de specialitate arată că, în domeniul carcinogenezei, acțiunea radiațiilor este sinergică cu cea a altor factori nocivi, ceea ce multiplică riscurile inducerii cancerului, atunci când individul, pe lângă radiații, este supus și altor factori de risc cancerigen din mediul de viață și muncă.

2.5. Doze subletale. Expunerea organismului uman la doze subletale produce următoarele efecte:

- reducerea activității fiziologice normale, caracterizată prin încetinirea creșterii, atenuarea rezistenței la toxine, scăderea capacității de apărare imunitară;
- diminuarea longevității;
- reducerea natalității datorită sterilității;
- alterarea genomului prin inducerea de mutații defavorabile, subletale, care se manifestă în generațiile următoare.

Gravitatea efectelor mutagene apare prin transmiterea la descendenți a unor translocării cromozomiale - efect biologic al radiațiilor ionizante, care poate apare și la doze foarte mici.

Dozele de radiații care pot produce apariția unui minim de mutații într-o generație de indivizi, într-un ecosistem, dacă sunt menținute în permanență, pot conduce la adevărate catastrofe ecologice în generațiile următoare.

2.6. Doze de iradiere acceptate. Populația umană, ca de altfel toată biosfera, a fost și continuă să fie inevitabil expusă la doze mici de radiații ionizante provenind din surse naturale.

Există zone în lume, în India, China, Japonia, Brazilia și în alte țări, unde studiile epidemiologice au evidențiat grupuri mari de oameni care primesc doze de radiație naturală de 3-4 ori sau chiar

mai crescute față de doza medie pe glob [27]. Până în prezent, nu s-a constatat o incidență crescută a cancerului la aceste populații.

Comisia Internațională pentru Protecție Radiologică (CIPR) consideră că "*se poate accepta pentru umanitate o valoare limită de expunere la radiații ionizante corespunzând la dublul dozei medii la care omul este expus în condiții naturale*", ceea ce presupune că specia umană este adaptată la iradierea prezentă în mediul său de viață.

Totuși, riscurile pe care le comportă chiar nivelurile scăzute de radiații nu trebuie să fie neglijate și ele constituie obiectul unor studii aprofundate în ultimul timp.

2.7. Doze de iradiere utilizate pentru conservarea alimentelor.

Iradierea cu doze mari de radiații ionizante (gamma, X, electroni accelerați) a unor alimente are ca efect:

- inhibarea germinăției, la doze de 0,04 - 0,1 kGy;
- distrugerea insectelor, la doze de 1 - 3 kGy sau a florei microbiene, la doze de 1 - 6 kGy;
- sterilizarea (distrugerea totală a germenilor), la doze de 15 - 50 kGy.

Prođușii de ionizare apăruiți în alimente nu sunt toxici pentru organismul uman iar metoda neutilizând neutroni nu apar produși de activare. Astfel că produsele alimentare pe al căror ambalaj apare eticheta cu *aliment iradiat* sau *aliment ionizat* nu sunt periculoase pentru om, ci această inscripție indică o metodă modernă de conservare, care completează metodele clasice prin fierbere, frig, afumare, coacere, tratament chimic etc.

*
* *

Pe aceste considerente, UNSCEAR acordă o deosebită atenție efectelor biologice la doze mici de radiații ionizante, care au o redusă probabilitate de apariție. În acest sens, se apreciază că studiile epidemiologice sunt limitate ca posibilități de interpretare dacă nu se bazează și pe date radiobiologice, efectele dozelor mici trebuind evidențiate în special la nivel molecular și celular. Nu sunt încă obținute rezultate satisfăcătoare nici pentru estimarea cantitativă a modificărilor genetice ereditare, considerându-se necesară extinderea studiilor pe animale. Nici chiar expunerile importante de la Hiroshima și Nagasaki nu au făcut posibile evaluări cantitative ale riscului modificărilor genetice cu un grad de încredere satisfăcător.

Efectul cancerigen este unul din efectele cel mai frecvent evocat când este vorba de radiații ionizante. Azi, majoritatea cancerelor induse de aceste radiații sunt analizate în termeni de "factor de inițiere carcinogenetică" sau "risc competitiv", care descriu supraviețuirea indivizilor dintr-o populație până în momentul în care neoplazia devine posibilă. Transformarea unei celule normale într-o celulă neoplazică nu apare decât atunci când celula canceroasă are condiții favorabile de dezvoltare și când sunt învinse reacțiile de apărare ale organismului uman.

Numeroasele cercetări experimentale realizate, mai ales, pe mamifere și unele plante de cultură, au permis evaluarea efectelor biologice ale radiațiilor ionizante. La acestea trebuie adăugate studiile epidemiologice efectuate pe mari grupuri din populația umană expuse accidental sau profesional (mine uranifere, reactori nucleari, unități nucleare de cercetare etc.) la diferite doze de radiații; în particular trebuie amintite lucrările Comisiei americano-japoneze de studiere a victimelor bombelor atomice de la Hiroshima și Nagasaki. La acestea se adaugă studiile epidemiologice efectuate pe pacienții tratați cu radiații X sau gamma pentru distrugerea unor tumori, cât și pe persoanele supuse la diverse examene de diagnostic cu ajutorul radiațiilor sau radionuclizilor.

Capitolul 3

METABOLISMUL ȘI TRANSFERUL RADIONUCLIZILOR IN BIOSFERĂ

Protecția biosferei față de poluarea cu radionuclizi necesită cunoașterea cât mai bună a:

- surselor de contaminare a mediului, implicit a omului;
- posibilităților de metabolizare și transfer, cel puțin pentru radionuclizii cu importanță biologică pentru om, în mediile acvatic și terestru;
- căilor de expunere a omului la radiații ionizante;
- măsurilor de radioprotecție pentru om și mediu, eventual de refacere ecologică.

Elementele chimice din compoziția materiei vii străbat un proces ciclic de migrație, respectiv trec din mediul abiotic în organismele vii și invers. Alături de O, H, C, N, considerate elemente esențiale, mai pot fi metabolizate și o serie de alte elemente, numite microelemente și oligoelemente, de care organismele pot avea nevoie fiziologică, indiferent de conținutul lor în mediul abiotic. Printre acestea pot fi și o serie de radionuclizi (Cs-134, Cs-137, Sr-89, Sr-90, Ce-141, Ce-144, Ru-103, Ru-106, Ra-226 etc.) care se comportă ca oligoelemente.

Capacitatea materiei vii de a concentra selectiv anumite elemente a apărut în cursul evoluției biosferei ca o etapă care a marcat creșterea rolului acesteia în dinamica elementelor chimice din scoarța terestră.

3.1 Circuitele biogeochimice.

Datorită faptului că materia vie funcționează ca un factor de control al proceselor chimice din scoarța terestră, în funcție de compoziția lor chimică, radionuclizii ajunși în natură din activitățile umane intră în circuite biogeochimice (în cazul organismelor vegetale și animale cu viață relativ scurtă și metabolism intens) sau sunt stocați pentru diverse perioade de timp (trunchiuri de copaci, oase mari de animale rezistente la descompunere etc.). Migrația radionuclizilor este determinată de factori interni (proprietățile elementelor și ale combinațiilor chimice) și externi (concentrație, temperatură, grad de ionizare a apei, capacitatea de schimb ionic a solului etc.).

3.2 Metabolizarea radionuclizilor.

Datorită proprietăților fizico-chimice ale unor radionuclizi, identice sau asemănătoare cu cele ale unor elemente chimice constituente ale materiei vii, aceștia pot fi metabolizați cu ușurință de către organismele vii și apoi fixați în organe sau sisteme de organe o perioadă de timp, mai mare sau mai mică, până sunt eliminați. În timpul cât radionuclizii se află în organismele vii și emit radiații nucleare, aceștia determină apariția unor efecte nocive în structurile fine ale materiei vii.

Se consideră că radionuclizii, odată pătrunși în organism, se comportă astfel:

- metabolizare identică cu elementele chimice cărora le aparțin, cum este cazul H-3, C-14, Na-22, K-40, Fe-59 etc.;
- metabolizare relativ asemănătoare cu cea a unor elemente cu proprietăți chimice apropiate: Rb-87, Cs-134, Cs-137 cu K, Sr-89, Sr-90, Ra-226 cu Ca etc.;
- metabolizare redusă, nespecifică, cu posibilități de eliminare rapidă din organisme vii, cum este cazul Po-210, Th-232, U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Ce-141, Ce-144 etc.

3.3 Factori de concentrare și de transfer.

În urma contaminării radioactive a aerului, apei sau solului, factorii fizici, chimici sau biologici ai acestor componente ale ecosistemelor acvatice sau terestre duc, fie la diluarea și dispersarea radionuclizilor în mediile respective, fie la acumularea (concentrarea) lor în organisme și sol (sediment). Această concentrare poate fi exprimată prin valoarea factorului de concentrare (FC) care reprezintă raportul dintre activitatea specifică a organismelor, respectiv și sedimentului în mediul acvatic, în stare proaspătă (uscată) și activitatea specifică a apei (de obicei, după îndepărtarea impurităților).

Se poate calcula valoarea FC și pentru plantele din ecosistemele terestre, aceasta reprezentând raportul dintre activitatea lor specifică, în stare proaspătă (uscată sau cenușă) și activitatea specifică a solului uscat.

Pentru estimarea transferului radionuclizilor dintr-o verigă a lanțului trofic în alta, se utilizează factorul de transfer sau transiogație (FT), care reprezintă raportul dintre activitatea specifică a organismelor (produselor biologice) dintr-un nivel trofic și

activitatea specifică a organismelor din nivelul trofic precedent (consumatori primari față de producători primari, consumatori secundari față de consumatori primari etc.).

Pentru estimarea transferului radionuclizilor din plante în animale, se mai folosește și termenul de translocație care reprezintă fracțiunea de radionuclid cedată din partea de plantă consumată.

3.4 Transferul radionuclizilor în ecosisteme acvatice și terestre.

Radionuclizii pătrund în organismele vii prin suprafețele biologice cu care vin în contact direct sau odată cu hrana. Cele mai importante căi de pătrundere sunt: absorbția din aer sau apă prin suprafețe biologice (membrana celulelor algale, suprafața rădăcinii, tulpinii, frunzelor, florilor și fructelor la macrofite, tegument la unele organisme animale, branhiile la pești și insecte, plămâni la reptile, păsări și mamifere) și ingestia de hrană și apă contaminate (organisme animale).

În ecosistemele acvatice, radionuclizii sunt preluați direct de plantele submerse iar prin respirație de organismele animale, mai puțin prin tegument. Organismele animale se mai contaminatează și prin ingestie. O serie de organisme animale și vegetale, dacă nu constituie hrana altor organisme, cedează radionuclizii după moarte, care reintră în circuitul materiei prin intermediul organismelor detritofage și descompunătoare. O mică parte din radionuclizi părăsește mediul acvatic prin insectele care eclozează, organismele care constituie hrana unor păsări sau mamifere, cât și unele plante, crustacei, pești etc. preluați de către om - acestea fiind principalele componente ale mediului acvatic care pot transfera radionuclizii omului. Un model schematic de transfer al radionuclizilor în mediul acvatic este prezentat în Figura 3.1. Căile de transfer al radionuclizilor și de expunere a omului datorită contaminării radioactive a ecosistemelor acvatice sunt: apa de băut, ingestia de pește și alte componente dulcicole sau marine, apa de irigație prin care se pot contamina plantele de cultură și iradierea externă dată de radionuclizii din sediment. Pentru mediul marin, se ia în considerație numai consumul de produse marine (pești, crustacei, moluște, alge).

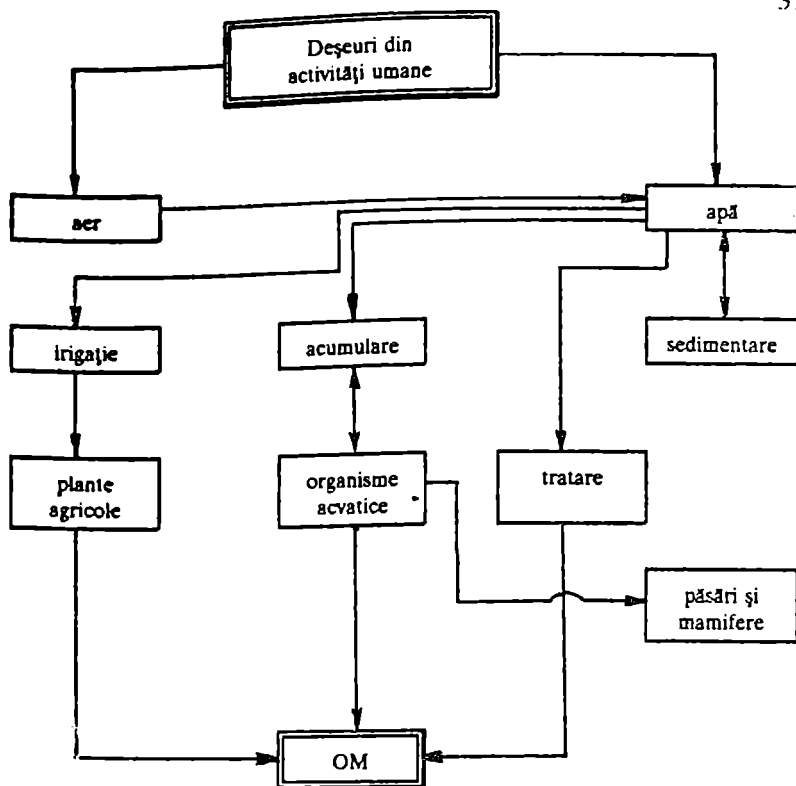


Fig. 3.1 Model schematic pentru transferul radionuclizilor în mediul acvatic

Observând factorii de concentrare prezentați în Tabelul 3.1, din mediul marin, se constată că peștii pot transfera la om Cs-137 iar moluștele realizează același lucru pentru Pu-239.

Concentrarea elementelor chimice, implicit și a unor radionuclizi artificiali, de către organismele acvatice, este foarte diferită (Tabelele 3.1 și 3.2). Astfel, printre elementele chimice mai concentrate, în special de organismele din ecosistemele acvatice, se numără Fe, Mn, Zn și Cs, cu FC de ordinul zecilor și sutelor de mii, în timp ce Sr și I, sunt concentrate mai puțin, cu FC numai de ordinul miilor. Dintre radionuclizii naturali, după datele recomandate de AIEA, prin pești pot ajunge la om cu ușurință Po-210, Pb-210,

Ra-226, Th-232. Fitoplanctonul și zooplanctonul marin prezintă valori ridicate ale FC, mai ales pentru Th-232, Ac-228 și Pb-210; aceiași radionuclizi fiind acumulați și în sedimentele costiere.

Tabelul 3.1. Factori de concentrare ai unor nuclizi pentru componente ale ecosistemelor acvatice și terestre [2].

nuclid componentă	Sr	Ca	Co	Zn	Mn	Ru	Fe	H	I
Ecosisteme acvatice:									
- apă	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
- alge și plante superioare	10-3000	50-25000	2500-6200	140-335000	700-35000	80-2000	2400-200000		60-200
- nevertebrate	1-4000	60-11000	325	150	600-140000	130	125		20-1000
- pești	1-150	640-9500		4-40			10000		25-50
Ecosisteme terestre:									
- plante	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
- nevertebrate	0,1	0,1-0,5	0,5			0,4-1,2		0,6	
- mamifere	0,5-4,5	0,3-7,0	0,3			0,4	0,2-0,8	0,6	0,1-0,5

Tabelul 3.2 FC^a ai unor radionuclizi în ecosisteme acvatice [2].

Radionuclizi	Ecosisteme marine					Ecosisteme dulcicole	
	pești	crustacei	molușt e	sediment	alge	sediment	pești
H-3	1	1	1	0	1	0	1
C-14	5000	5000	5000	100	4000	2000	5000
Sr-90	1	10	10	500	10	2000	30
I-131	10	100	100	100	1000	200	30
Cs-137	50	30	30	500	30	30000	1000
Pu-239	10	100	1000	50000	1000	30000	10
Am-241	10	200	2000	50000	2000	30000	30

^a) FC calculați prin raportarea activității/unitatea de masă umedă a organismelor consumabile (Bq/kg) sau unitatea de masă uscată de sediment la activitatea/unitate de volum de apă filtrată (în Bq/mc).

În ecosistemele terestre, naturale sau create de om (agroecosistemele), radionuclizii sunt preluați de plante, mai ales din aerosoli, depuneri atmosferice și resuspendări de particule fine de sol antrenate de curenți de aer sau de ploaie. Principalele căi de pătrundere a radionuclizilor în plante sunt prin frunze, tulpini (plante anuale și bianuale), flori și chiar fructe. Plantele pot extrage prin rădăcini diverse cantități de radionuclizi solubili în apa liberă din sol, mai ales pe cei de care acestea au nevoie în procesul de creștere. Reținerea radionuclizilor prin rădăcini variază considerabil în funcție de forma chimică, tipul de sol, condiții climatice și specia de plantă. În solurile acide, transferul unor radionuclizi se face mai rapid decât în solurile alcaline datorită capacității de schimb ionic mai ridicată, de aici apare și necesitatea de alcalinizare a unor soluri după accidentele nucleare urmate de contaminări masive, în special cu Cs-137 și Sr-90.

Transferul din sol în plante prin absorbție radiculară este important, mai ales, pentru radionuclizii de viață lungă (Sr-90 și Cs-137). Există și alți radionuclizi de viață lungă, cum este cazul transuranienelor (Pu-239, Pu-240, etc.), care sunt foarte slab absorbiți prin rădăcinile plantelor, ceea ce duce la o slabă contribuție la contaminarea omului prin acest lanț trofic. Principalele procese care contribuie la contaminarea plantelor anuale și bianuale, mai ales a celor cu frunze late (zarzavaturile), sunt depunerile și resuspendările de particule fine de sol contaminate radioactiv. La scurt timp după contaminarea frunzelor prin depuneri, o mare parte din radionuclizii contaminanți poate fi îndepărtată prin spălare sub jet de apă, înainte de a fi consumate. În general, factorii de concentrare pentru radionuclizii cesiului sau stronțului sunt subunitari (Tabelele 3.1, 3.3 și 3.4). Pentru plante, factorii de concentrare variază de la câteva sutimi pentru radionuclizii solubili din sol, la neglijabili în cazul elementelor tranuraniene. Aceleași valori relativ reduse, ale FC pentru Cs-137 și Sr-90, au și organismele animale, care se contaminatează mai ales prin ingestie și pe cale respiratorie. Consumarea de către organismele animale a unor particule mici de sol, simultan cu iarba, contribuie substanțial la contaminarea cu radionuclizi, cu cca 20% în cazul ovinelor și cca 4% pentru bovine.

Tabelul 3.3 Factori de concentrare și translocare pentru anumiți radionuclizi [34].

Element	F.C.				F.T.	
	rădăcinoase	grâu	zarzavaturi	pășune	rădăcinoase	zarzavaturi, grâu
Stronțiu	6.10^{-2}	2.10^{-2}	7.10^{-1}	3.10^{-1}	1.10^{-2}	-
Iod	2.10^{-2}	2.10^{-2}	2.10^{-2}	2.10^{-2}	1.10^{-1}	1.10^{-1}
Cesiu	5.10^{-3}	6.10^{-3}	2.10^{-2}	2.10^{-2}	1.10^{-1}	1.10^{-1}
Plutoniu	1.10^{-3}	1.10^{-6}	1.10^{-4}	1.10^{-4}	-	-
Americiu	1.10^{-3}	1.10^{-5}	1.10^{-3}	1.10^{-3}	-	-

Tabelul 3.4 Valori ale FC la componente terestre, pentru Cs-137 și Sr-90, în perioada 1988 - 1992, în zona de câmpie din sudul României [34].

radionuclid	Cs-137	Sr-90
verigă trofică		
sol - vegetație	0,01 - 0,07	0,03 - 0,11
vegetație - produse de origine animală	0,03 - 2,0	0,03 - 1,5

Radionuclizii ingerați sau inhalați de către organismele animale sunt metabolizați în funcție de proprietățile lor fizico-chimice, apoi sunt fixați în diverse țesuturi sau sunt eliminați, mai ales prin lapte, în cazul organismelor femele în perioada de lactație. Organismele animale - consumatori primari (bovine și ovine) sunt considerate a fi cele mai importante organisme în transferul radionuclizilor artificiali către om, mai ales prin lapte. Printre radionuclizii transferabili ușor către om din organismele animale prin lapte, se situează I-131 la câteva zile de la accident, respectiv Sr-90 și Cs-137 la câteva săptămâni. Procesele de translocare (factorul de

translocăție) - radionuclizii reținuți de organismul animal, inclusiv de către om, din plantele consumate, duc la transferul a cel mult 10% din radioactivitatea prezentă (radionuclizi solubili) în părțile comestibile ale plantei. Un model schematic de transfer al radionuclizilor în ecosisteme terestre este prezentat în Figura 3.2.

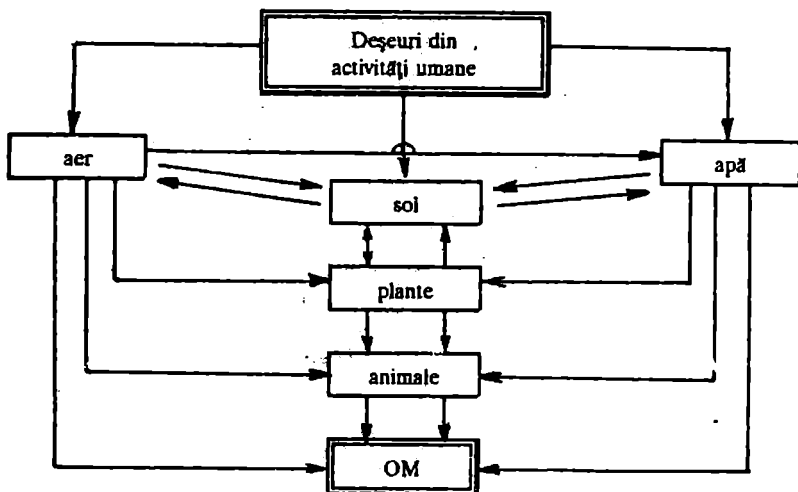


Fig. 3.2 Model schematic pentru transferul radionuclizilor în mediul terestru.

3.5 Modelarea matematică a transferului radionuclizilor din mediu în organismul uman.

Realizarea unor modele matematice pentru transferul radionuclizilor în natură constituie o preocupare a specialiștilor în radioprotecție, luând o dezvoltare deosebită după accidentul nuclear de la Cernobâl. În prezent, există modele de predicție a transferului radionuclizilor în mediu cu diferite grade de complexitate.

Astfel, în România, au fost dezvoltate modele de transfer al radionuclizilor în mai multe institute de cercetări (Institutul de Fizică Atomică București, Institutele de Igienă și Sănătate Publică din București și Timișoara, Institutul de Cercetare și de Inginerie a Mediului, Institutul Național de Meteorologie și Hidrologie etc.).

Un model de transfer al radionuclizilor are o structură modulară pentru diferitele lanțuri trofice de interes și tratează fenomenele de transfer și concentrare (bioacumulare) ale radionuclizilor într-o manieră dinamică, urmărind evoluția radioactivității în diferitele compartimente ale ecosistemelor. Modelele se pot adapta oricărui tip de eveniment nuclear: eliberarea continuă de rutină a radionuclizilor, eliminare accidentală, condiții meteorologice diverse etc. Datele de intrare pot fi modificate pentru a permite reproducerea unor condiții locale (caracteristici pedologice, ale culturilor agricole sau creșterii animalelor etc.).

După accidentul de la Cernobâl, Agenția Internațională pentru Energia Atomică (AIEA) de la Viena a stabilit în 1986, la recomandarea INSAG (International Nuclear Safety Advisory Group) un program privind validarea modelelor de transfer al radionuclizilor în natură pe căi terestre, acvatice și în mediul urban. Programul VAMP (VALIDATION OF MODEL PREDICTION) caută să utilizeze informațiile despre comportarea radionuclizilor în mediul înconjurător obținute în urma măsurărilor de radioactivitate (concentrația radionuclizilor în aer, sol, vegetație, produse alimentare și în organismul uman), precum și estimarea dozei de iradiere în țările afectate de accidentul nuclear de la Cernobâl.

În cadrul programului inițiat de AIEA, pornind de la valorile radioactivității Cs-137 în depuneri, s-a reușit evaluarea concentrației radionuclidului în diverse produse alimentare și în organismul uman, valori care apoi au fost comparate cu cele obținute în laboratoare de specialitate. Modelul experimentat la IFA este necesar să fie verificat de mai multe grupuri de specialiști din domeniul radioprotecției din țara noastră pentru a putea fi utilizat în eventualitatea unui accident nuclear cu contaminare radioactivă a mediului înconjurător, implicit și a omului. Aceste tipuri de modele de predicție, ținând seama de o serie de particularități pedologice, meteorologice, ale culturilor agricole sau de creștere a animalelor, precum și de alimentație a omului, în baza unor valori ale concentrației unor radionuclizi în depunerile totale, pot să evalueze unele valori de concentrație a componentelor lanțurilor trofice, în final și a organismului uman, imediat după accident. Această evaluare permite luarea celor mai potrivite măsuri de radioprotecție într-un timp foarte scurt după evenimentul nuclear.

3.6 Metabolizarea radionuclizilor de către om.

Căile de pătrundere a radionuclizilor în organismul uman sunt:

- respiratorie, prin inhalarea de aerosoli încărcăți radioactiv din atmosfera contaminată;
- digestivă, prin ingestia de apă și alimente contaminate sau prin înghițirea sputei care epurează căile respiratorii contaminate prin inhalare;
- cutanată, prin tegumentul intact sau cel afectat de răni sau arsuri.

Comportarea radionuclizilor pătrunși în căile respiratorii depinde de: zona de depunere, dimensiunea particulelor pe care sunt fixați, durata existenței lor fizice (T_f) și compartimentul tisular. Depunerile nazofaringiene, traheopulmonare și pulmonare sunt asociate și cu mișcări de transport mucociliare spre tractul gastro-intestinal, urmate de absorbția în sânge la nivelul arborelui bronșic sau tractului gastro-intestinal și depunerea în diverse țesuturi a radionuclizilor. În condiții fiziologice normale, în afara granulelor fine care sunt reținute în alveole, o altă parte este exhalată iar altă parte ajunge în faringe, de unde, împreună cu sputa este expectorată sau înghițită. Astfel, o contaminare prin inhalare se poate transforma în contaminare prin ingestie.

În contaminarea pe cale digestivă, absorbția este determinată, în principal, de starea fizico-chimică a radionuclidului contaminant. Astfel, radionuclizii din compușii insolubili sau puțin solubili rămân în intestin o perioadă de timp corespunzătoare tranzitului, după care sunt eliminați prin fecale. Experimental s-a dovedit că și radionuclizii din granule insolubile de dimensiuni între 1 și 5 μ pot trece bariera intestinală. La nivelul tubului digestiv au loc procese de depunere, absorbție și desorbție metabolică, iar în funcție de diferite stări fiziologice, radionuclizii pot staționa de la 6 ore în stomac, până la 22 ore în intestinul gros inferior. Cu cât timpul de staționare în tubul digestiv, a granulelor încărcate radioactiv, este mai mare, cu atât crește mai mult doza de expunere la acest nivel. Radionuclizii din compușii solubili sunt absorbiți prin membrana intestinală și, odată cu sângele, ajung în diverse țesuturi, unde se fixează sau sunt antrenați cu sângele și eliminați, mai ales prin urină. În cazul radionuclizilor Cs-137 și I-131 se consideră că

aproape toată cantitatea din radionuclidul pătruns în organism este reținută, în timp ce pentru Sr-90 numai 30%. Starea fiziologică a tubului digestiv și felul alimentației pot influența semnificativ reținerea radionuclizilor în organismul uman.

Contaminarea prin pielea intactă este destul de redusă și chiar ne semnificativă în comparație cu celelalte două căi de contaminare umană.

Radionuclizii pătrunși în organismul uman, în funcție de modul cum sunt metabolizați [15], sunt împărțiți astfel:

- transferabili (radionuclizi solubili în mediul biologic) și care difuzează în organism, cum este cazul: H-3, C-14, Na-22, Ra-226, Cs-134, Cs-137, Sr-89, Sr-90, I-131, etc.;

- netransferabili, constituiți practic din radionuclizi în combinații insolubile la orice pH, nu difuzează practic în organism și au ca organ critic poarta de intrare, sau difuzează foarte puțin iar organul critic este ficatul, cum este cazul Pu (sub formă de PuO_2) și al transplutonienelor (Am, Cm, Cf);

- uraniu constituie un caz particular. În mediul biologic, U ajunge rapid în ioni de uraniu (UO_2^{2+}) care se comportă ca și Ca, dacă nu precipită la nivelul tubilor renali. Astfel, în funcție de forma chimică în care se află la pătrunderea în organismul uman, organul critic pentru U poate fi sistemul osos sau rinichiul.

3.7 Toxicitatea radionuclizilor.

Toxicitatea unui radionuclid pătruns în organismul uman depinde de:

- forma chimică a radionuclidului (compuși solubili sau insolubili),

- tipul și energia radiațiilor emise,

- timpul de înjumătățire fizic (T_f)*, biologic (T_b)** și efectiv (T_{ef})***.

* T_f = timpul după care numărul de nuclee ale unui radionuclid se reduce la jumătate prin dezintegrare.

** T_b = timpul necesar unui sistem biologic pentru a elimina jumătate din numărul de nuclee (stabile sau radioactive) prin procese metabolice.

*** T_{ef} = timpul necesar pentru a reduce la jumătate numărul de nuclee radioactive (activitatea) prin dezintegrare și prin metabolizare de către sistemul biologic respectiv.

În tabelele 3.5 și 3.6 sunt prezentate sursele de producere și unele caracteristici fizice și biologice ale radionuclizilor naturali și artificiali cu importanță radiobiologică deosebită pentru om. Printre aceștia trebuie să se acorde atenție deosebită următorilor: Ra-226, Ra-228, Pb-210, Po-210, I-131, Cs-134, Cs-137, Sr-89, Sr-90, Pu-239, H-3 și C-14.

Conform Normelor Republicane de Securitate Nucleară, radionuclizii naturali și artificiali - produși de fisiune și de activare sunt împărțiți în patru grupe de toxicitate prezentate în Anexa 6.

O serie de radionuclizi - descendenți ai uraniului sau thoriului, deși cu abundență destul de scăzută, sunt plasați în grupa de radiotoxicitate foarte mare datorită dezintegrării lor rapide și radiațiilor emise (Th-227, Th-228, Th-230 sau U-232, U-233 și U-234). Rb-87, puțin răspândit în natură este trecut în grupa de radiotoxicitate mică. Dintre radionuclizii considerați foarte periculoși pentru om pot fi enumerați Pb-210, Po-210, Ra-226, Ra-228.

Dintre radionuclizii artificiali, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 sunt trecuți în grupa de radiotoxicitate foarte mare în timp ce produșii de fisiune: Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-134 și Cs-137 sunt trecuți în grupa de radiotoxicitate mare. Acești radionuclizi artificiali sunt considerați printre cei mai periculoși pentru om.

Marea majoritate a radionuclizilor prezentați în Anexa 6 sunt produși de fisiune (nuclizii elementelor: Ba, Ce, Cs, Eu, I, La, Ru, Rh, Sr, Y, etc.). O serie de alți radionuclizi sunt produși de activare - aproximativ toate elementele chimice pot fi activate cu ajutorul neutronilor sau particulelor încărcate. Aceștia sunt utilizați în industrie (Ir-192, Co-60, etc.), metrologie (In-115), trasori radioactivi în agricultură (K-41, K-42), medicină (Co-60, Fe-55, Fe-59, P-32, Rb-85, S-35, Sr-85, Tc-99, etc.). Radionuclizii utilizați ca trasori radioactivi în medicină, agricultură, hidrologie, industrie etc., au viață scurtă (T_f de la câteva ore la câteva zile), pentru a pune cât mai puține probleme de evacuare în mediu și implicit a unor doze mici de iradiere pentru populație.

Tabelul 3.5 Surse de producere și caracteristici biologice

Radionuclid	Timp de înjumătățire fizică		Surse
	Ani	Zile	
Hidrogen-3	12,3		interacția radiației cosmice cu H, reprocesarea combustibilului nuclear, reactori de fuziune
Carbon-14	5730		interacția neutronilor din radiația cosmică sau explozii nucleare cu N
Sodiu-22 Sodiu-24	2,6	0,62	interacția neutronilor din radiația cosmică sau explozii nucleare cu Ar și Na
Potasiu-40	$1,3 \cdot 10^9$		component natural al solului și apei
Rubidiu-87	$48 \cdot 10^9$		component natural al solului și apei
Plumb-210	22		căderi radioactive naturale, dezintegrarea U-238, arderea cărbunelui
Poloniu-210		138	căderi radioactive naturale, dezintegrarea U-238, arderea cărbunelui
Radon-222		3,8	existent în atmosferă, concentrații mari în mine din dezintegrarea U-238
Radiu-226	1620		căderi radioactive naturale, dezintegrarea U-238, deșeu în mine uranifere, arderea cărbunelui
Toriu-232	$13,9 \cdot 10^9$		component natural al rocilor (acide), mai puțin în sol și apă
Uranu-235 (0,7%)	$710 \cdot 10^6$		componenți naturali ai rocilor (acide), cantități reduse în sol și apă, contaminare prin explozii nucleare
Uranu-238 (99,3%)	$4,5 \cdot 10^9$		

ale unor radionuclizi naturali [4]

Căi de transfer la om	Organ de referință pentru contaminarea internă	Timp de Injumătățire biologică	
		Ani	Zile
prin apă și hrană, inhalare și absorbție prin piele	întregul organism		12
formare de CO ₂ , transfer prin aer, apă și hrană	întregul organism, plămân, tract gastrointestinal		10 12
puternic concentrați de plante	întregul organism, plămân, tract gastrointestinal		11
concentrat de plante	întregul organism, organe moi (mai ales mușchi)		58
concentrat de plante	ficat, pancreas, întregul organism		60-63 45
vegetație, organisme animale inhalare din fumul țigărilor	întregul organism, rinichi, plămân, tract g.i.	1,1 3,3	
alimente (carne, pește) inhalare din fumul țigărilor	rinichi, splină, plămân, tract gastrointestinal		42- 46
inhalare	plămân, ganglioni limfatici		
ape minerale, slab concentrat de plante, puternic concentrat în alunele braziliene	os, tract gastrointestinal	43,8	
cantități mici în oase	os, plămân, tract gastrointestinal	200	
cantități reduse în vegetație sau grăsimi animale și vegetale	os, rinichi, întregul organism		300 15 100

Tabelul 3.6 Surse de producere și caracteristici biologice

Radionuclid	Timp de înjumătățire fizică		Surse
	Ani	Zile	
Americiu-241	451		dezintegrare din Pu-239
Bariu-140		12,8	produs de fisiune în explozii nucleare și reactori
Carbon-14	5730		interacția neutronilor din radiația cosmică sau explozii nucleare
Ceriu-141 Ceriu-144		32,5 285	produși de fisiune în explozii nucleare și reactori
Cesiu-136 Cesiu-137	2,05 30,5		produși de fisiune în explozii nucleare și reactori, radioterapie
Cobalt-60	5,2		activare cu neutroni a Co stabil, radioterapie
Fier-55	2,7		activare cu neutroni a Fe stabil în explozii nucleare și reactori
Hidrogen-3	12,3		interacția radiației cosmice și neutronilor cu O, N și deuteriu (H-2)
Iod-129 Iod-131	16 mil.	8,01	produși de fisiune în explozii nucleare sau în reactori; deșeuri de la uzinele de reprocesare
Mangan-54		310	activare cu neutroni a Mn stabil în explozii nucleare și reactori
Neptuniu-237	2,14 mil		dezintegrarea Am-241
Plutoniu-238 Plutoniu-239 Plutoniu-240 Plutoniu-241	86,4 24000 6580 13,2		-combustibili pentru sateliți și explozii nucleare. -apar în urma testelor nucleare și ca deșeu la reactori
Stronțiu-89 Stronțiu-90		50,5 27,7	produși de fisiune din explozii și reactori. Radioterapie
Zinc-65		243,7	activare cu neutroni a Zn stabil în explozii nucleare și reactori
Zirconiu-95		65	produs de fisiune în explozii nucleare și reactori

ale unor radionuclizi artificiali [4]

Căi de transfer la om	Organ de referință pentru contaminarea internă	Timp de înjumătățire efectivă	
		Ani	Zile
Însoțește Pu-239	os rinichi	139 63	
slab concentrat de plante	plămân os		12,8 10,7
încorporare în CO ₂ , aer, apă, hrană	corp întreg, țesut adipos		10 12
concentrați în unele plante	os, ficat os, ficat		31; 29 246
plante -> animale -> lapte; plante -> carne	mușchi splină, ficat, corp întreg		138 70-97
puțin în vegetație, în unele lanțuri trofice marine	corp întreg, plămân		9,5 -
plante marine -> pești	plămân, splină corp întreg	2,2-1,0 1,3	
apă și hrană inhalare, absorbție prin piele	corp întreg		12
plante -> animale -> lapte inhalare, absorbție prin piele	tiroidă tiroidă		138 7,6
apă, lanțuri trofice marine	ficat, plămân, tract g.i.		2,3 -
Însoțește Pu-239	os, plămân, tract g.i.	200 -	
inhalare, dietă	os, ficat os, ficat os, ficat os, ficat	63-44 197-82 195-82 12-11	
plante -> animale -> lapte	os os		50,4 17,5
plante marine -> pești	corp întreg ficat		184 66
în unele plante	corp întreg plămân, tract g.i.		55,5

Capitolul 4

RADIOACTIVITATEA NATURALĂ

Radioactivitatea naturală, componentă de bază a mediului înconjurător, este determinată de prezența în sol, aer, apă, vegetație, organisme animale, precum și în om a substanțelor radioactive de origine terestră, existente în mod natural din cele mai vechi timpuri; la acestea se adaugă radiația cosmică extraterestră.

Radioactivitatea naturală prezintă, în ultimele 4 - 5 decenii, modificări semnificative datorită activităților omului. Pe de o parte, aducerea la suprafață a minereurilor radioactive, extracția și utilizarea cărbunelui și a apelor geotermale, precum și a unor minereuri având un conținut radioactiv natural care nu poate fi neglijat, iar pe de altă parte, folosirea pentru construcție a unor materiale neconvenționale, au pus specialiștii în radioprotecție în fața reconsiderării conceptului de radioactivitate naturală.

Pentru evaluarea iradierii naturale suplimentare apărută ca urmare a activităților omului, a fost organizată, de către Societatea Română de Radioprotecție, Conferința Națională cu participare internațională "Modificări ale expunerii la radiația naturală ca urmare a activităților umane - factor de risc pentru sănătate", în perioada 29 septembrie - 1 octombrie 1993, la Băile Felix, județul Bihor. Materialele prezentate în cadrul manifestării științifice amintite au stat la baza întocmirii cărții **Radioactivitatea naturală în România, care încearcă să se adreseze atât specialiștilor din domeniul radioprotecției, cât și opiniei publice, organizațiilor guvernamentale și neguvernamentale, cu implicații în această problematică.**

Omul trăiește într-un mediu complex, fiind continuu sub acțiunea multor agenți fizici cum sunt: lumina, sunetul, radiațiile ionizante. Mediul înconjurător conține surse naturale de radiații, existente de miliarde de ani pe planeta Pământ; acestora, omul le-a adăugat, în ultimii aproape o sută de ani, și pe cele artificiale, create de el.

Pe lângă sursele naturale de radiații, este important de semnalat, încă de la început, că omul modifică prin activitatea economică și socială sursele naturale de radiații, în sensul că el

poate produce acumularea acestora în anumite locuri sau chiar zone relativ întinse. Omul crează, astfel, o radioactivitate naturală suplimentară iar mulțimea surselor naturale de radiații include, prin definiție, și sursele naturale de radiații suplimentare.

Sursele naturale de radiații sunt prezente încă de la formarea Pământului, însoțind apariția și evoluția viețuitoarelor, inclusiv a omului.

Ansamblul surselor naturale de radiații provoacă expunerea organismului, având o contribuție bine cunoscută astăzi și care s-a păstrat în limite destul de restrânse pe toată durata de viață a speciei umane. În timp ce evaluarea expunerii naturale este bine realizată și accesibilă în documente internaționale, aceea a expunerii naturale suplimentare este în curs de evaluare; aici trebuie subliniat faptul că documentele internaționale aduc continuu date noi despre modificările apărute în extinderea și "intensitatea" surselor suplimentare de radiații naturale.

Conform Raportului UNSCEAR din 1993, sursele naturale de expunere se împart în:

- surse aflate în afara organismului uman;
 - de origine extraterestră (radiația cosmică);
 - de origine terestră (radiații emise de radionuclizi din scoarța terestră, din aer, din materiale de construcție, din apă);
- surse existente în interiorul organismului, reprezentate de radionuclizi ajunși în organism prin inhalare, ingerare și prin piele.

4.1 Radiația cosmică. Radiația cosmică primară, prin interacția cu atmosfera, produce o radiație cosmică secundară și un număr important de radionuclizi, care se numesc radionuclizi cosmogeni. Importanți din punctul de vedere al expunerii populației sunt: H-3 (cu o doză efectivă anuală medie de $0,01 \mu\text{Sv}$), Be-7 ($3 \mu\text{Sv}$), C-14 ($12 \mu\text{Sv}$) și Na-22 ($0,2 \mu\text{Sv}$).

Radiația cosmică depinde puțin de latitudine, având la nivelul mării valori apropiate pe întreg Pământul, dar are o dependență importantă de altitudine (crește cu altitudinea, ajungând la 3000 m de aproximativ 3 ori mai mare decât la nivelul mării).

Componentele ionizante ale radiației cosmice nu au fost determinate sistematic pe teritoriul României. Pentru România, estimările făcute pe baza formulelor de calcul date de UNSCEAR,

dau o valoare a expunerii de 31 nGy/h pentru componenta direct ionizantă, care conduce, în aproximația unei ocupanțe de 80%, a unui factor de ecranare pentru clădiri de 0,75 și ținând cont de distribuția populației, la o valoare medie de 250 $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Valoarea medie pentru întreaga lume, estimată de UNSCEAR este de 300 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Componenta neutronică se estimează, la 0,008 neutroni. $\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$, valoare medie obținută pentru latitudinea țării noastre, ceea ce este echivalent cu o expunere de 1,4 nGy/h. Fără a ține cont de ecranarea datorată clădirilor, se obține o valoare medie ponderată a dozei efective anuale de 30 $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Valoarea este mai mică decât media pe întreg Pământul, care este estimată la 55 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Doza efectivă anuală, datorată radiației cosmice, pentru populația țării noastre este estimată la 280 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Datorită înălțimii mari la care se efectuează zborurile cu avionul (mai ales cele transoceanice) de către navigatori și călători, o doză importantă este primită de la radiația cosmică, la fiecare zbor. Debitul dozei estimat de UNSCEAR este cuprins între 9 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ și 40 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, în funcție de altitudinea la care se efectuează zborul. Doza este importantă mai ales pentru personalul de bord, socotindu-se o valoare medie anuală de 2,4 mSv, cu un maxim de 15 mSv, care ar fi primită suplimentar de acest personal.

4.2 Radiația de origine terestră este dată de radionuclizii prezenți în scoarța Pământului, fie de la formare și sunt cunoscuți sub numele de radionuclizi naturali primordiali, fie apăruți din aceștia, numiți radionuclizi secundari.

1. Radionuclizi primordiali:

a. cu abundență mare:

Potasiu (K)-40 care reprezintă cca 0,0118% din K, Uraniu (U)-238, Thorium (Th)-232. La aceștia se adaugă și Uraniu (U)-235, dar în cantitate mult mai redusă (0,7%, față de 99,3% pentru U-238).

b. cu abundență foarte redusă și T_f cuprins între 10^5 și 10^{18} ani (Bi-209):

Lutețiu (Lu)-176, Reniu (Re)-187, Rubidiu (Rb)-87, Samariu (Sm)-147, Lantan (La)-138, Platină (Pt)-190, Indiu (In)-115, Tungsten (Wolfram W)-180, Neodim (Nd)-144, Vanadiu (V)-50, Ceriu (Ce)-142, Bișmut (Bi)-209.

2. Radionuclizi naturali secundari, descendenți ai uraniului și thoriului, cu T_r de la 10^7 s (Pb-212) la 10^9 ani (U-234):

a. seria radioactivă a U-238;

Thoriu (Th)-234, Protactiniu (Pa)-234, Uraniu (U)-234, Thoriu (Th)-230, Radium (Ra)-226, Radon (Rn)-222, Poloniu (Po)-218, Plumb (Pb)-214, Bismut (Bi)-214, Poloniu (Po)-214, Plumb (Pb)-210, Bismut (Bi)-210, Poloniu (Po)-210, Plumb (Pb)-206 stabil.

b. seria radioactivă a U-235;

Thoriu (Th)-231, Protactiniu (Pa)-231, Actiniu (Ac)-227, Thoriu (Th)-227, Radium (Ra)-223, Radon (Rn)-219, Poloniu (Po)-215, Plumb (Pb)-211, Bismut (Bi)-211, Talii (Tl)-207, Plumb (Pb)-207 stabil.

c. seria radioactivă a Th-232;

Radium (Ra)-228, Actiniu (Ac)-228, Thoriu (Th)-228, Radium (Ra)-224, Radon (Thoron, Rn)-220, Poloniu (Po)-216, Plumb (Pb)-212, Bismut (Bi)-212, Talii (Tl)-208, Poloniu (Po)-212, Plumb (Pb)-208 stabil.

3. Radionuclizi cosmogeni cu T_r de la minute (Cl-34) la milioane de ani (Be-10):

Hidrogen (H)-3, Beriliu (Be)-7, Be-10, Carbon (C)-14, Sodiu (Na)-22, Na-24, Magneziu (Mg)-28, Aluminiu (Al)-26, Siliciu (Si)-31, Si-32, Fosfor (P)-32, P-33, Sulf (S)-35, S-38, Clor (Cl)-34, Cl-36, Cl-38, Cl-39, Argon (Ar)-39, Kripton (Kr)-81.

Seria U-238 este compusă din 14 radionuclizi principali. Radionuclizii cu radiotoxicitatea cea mai mare sunt Ra-226 și produșii de dezintegrare de viață scurtă ai Rn-222 (Anexa 6). Datorită perturbărilor pe care le suferă solul de la suprafață precum și datorită difuziei gazului nobil Rn prin sol, cei 14 radionuclizi ai acestei serii nu sunt în echilibru radioactiv. Totuși pentru estimările expunerii externe a populației la radiațiile provenite din sol este suficientă ipoteza echilibrului radioactiv între componenții seriilor naturale.

Seria U-235 are concentrații mult mai mici datorită abundenței naturale reduse a acestui radionuclid. Componenții seriei nu au o contribuție semnificativă la doza colectivă a populației țării noastre.

Seria Th-232 este compusă din 11 radionuclizi. Mai importanți sunt cei doi izotopi ai Ra (224 și 228) și descendenții de

viață scurtă ai Rn-220 (cunoscut și sub numele de thoron).

Radionuclizii naturali sunt răspândiți în toate tipurile de roci și de soluri, precum și în ape. Răspândirea lor nu este uniformă, existând zone de pe Terra cu concentrații mai mari, precum și anumite tipuri de roci în care U și Th se găsesc mai abundent. În țara noastră, aceste zone sunt restrânse la perimetrele în care au loc explorări și exploatări miniere uranifere și la teritoriile limitrofe. Datorită numărului redus al populației care trăiește în aceste zone, influența concentrațiilor mai ridicate de U și Th, asupra dozei efective colective, la nivelul întregii populații a României, este redusă.

4.4 Radioactivitatea naturală a solului este dată de K-40 și de seriile radioactive naturale ale U-238, U-235, Th-232. Conținutul mediu al radionuclizilor naturali, Ra-226 (component al seriei U-238), Ac-228 (din seria Th-232) și al K-40 (Tabelul 4.1) se situează cu 30 - 40% peste media raportată de UNSCEAR, respectiv 370 Bq/kg pentru K-40, radionuclizii din seria U-238 au 25 Bq/kg iar radionuclizii din seria Th-232 au 25 Bq/kg.

Tabelul 4.1 Radioactivitatea naturală a solului în România (Bq/kg) [32].

Radionuclid	Minim	Maxim	Medie
Ra-226	10	90	38
Ac-228	13	65	39
K-40	330	800	540

Cu ajutorul acestor valori s-a estimat iradierea externă gamma datorată radionuclizilor din sol, ținând seama de faptul că omul stă în afara locuinței numai 20% din timpul vieții. Valoarea maximă rezultată este de 0,10 mSv pe an.

Din sol, radionuclizii ajung în apele de suprafață și în apele subterane, precum și în vegetație, pătrunzând în lanțurile trofice și apoi, în om.

Datorită existenței radionuclizilor naturali în materialele de construcție din pereții, tavanul și podeaua încăperilor, omul este expus unei iradiere externe în toată perioada de timp cât stă în

locuință (cca 80%). Acești radionuclizi pot influența doza totală primită de populație pe două căi: prin iradierea directă (externă) și prin iradiere internă dată de emisia radonului și thoronului. Tipurile de materiale permise a se folosi pentru construirea locuințelor, altele decât cele tradiționale, trebuie să fie avizate, din punct de vedere al radioactivității, de organele abilitate ale Ministerului Sănătății. Doza medie datorată expunerii externe din locuințe a fost estimată la 52 nGy/h, careia îi corespunde o doză efectivă anuală de 0,36 mSv, pentru un timp efectiv petrecut în locuință de 80% (factor de ocupanță de 0,80). Suma expunerilor externe gamma, cea din locuință și cea din afara ei, conduce la o doză efectivă de 0,46 mSv pe an.

4.4 Radioactivitatea naturală a aerului este generată de descendenții de viață scurtă ai radioizotopilor Rn-ului (radonul și thoronul) și de radionuclizii proveniți din interacția radiației cosmice cu atmosfera. Sunt puse în evidență corelații ale valorilor măsurate cu fenomenele meteorologice: vânt, presiune, temperatură, precipitații, ceață etc.

Concentrațiile medii și dispersiile valorilor măsurate (minima și maxima) în atmosferă în România sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 Concentrațiile descendenților de viață scurtă ai radonului și thoronului în atmosferă (Bq/m³)[32]

Radionuclid	Minimă	Maximă	Medie
Descendenții radonului	0,8	11,9	5,0
Descendenții thoronului	0,001	0,5	0,25

Concentrația medie a descendenților radonului (socotind o concentrație echivalentă de echilibru) pentru întreg Pământul este estimată de UNSCEAR la 4 Bq/m³, iar cea a descendenților thoronului la 0,2 Bq/m³.

Descendenții de viață scurtă ai radonului și thoronului sunt radionuclizi care se atașează la particulele de praf din atmosferă și pătrund în plămân, ducând la iradierea internă prin inhalare.

Valoarea medie de 0,18 mSv este mai mare decât 0,1 mSv estimată de UNSCEAR pentru întreg Pământul. Datorită prezenței în sol și în materialele de construcție a radionuclizilor din seriile naturale, radonul și thoronul dispersează prin podele și prin ziduri pătrunzând în interiorul încăperilor. Datorită absenței unei ventilații corespunzătoare, aerul din încăperi are, de regulă, concentrații ale acestor radionuclizi mult mai mari decât cel din exterior.

Concentrația medie a radonului, în interior, la noi în țară, a fost apreciată la 45 Bq/m³. S-a estimat o doză anuală internă datorată acestuia la 1,02 mSv. Insumând expunerea internă datorată descendenților radonului și thoronului, în interiorul și în afara locuinței, rezultă o doză efectivă totală de 1,2 mSv pe an. În mediul rural, valoarea estimată pentru țara noastră prin măsurări ale concentrațiilor descendenților este de 1,4 mSv/an.

4.5 Radioactivitatea naturală a apei. Din punctul de vedere al dozei de iradiere externă, radioactivitatea naturală a apei este de importanță redusă. Aceasta afectează doza totală primită de un individ în timpul înbăierii sau prin folosirea apei menajere. Mult mai importantă este doza primită prin folosirea apei pentru băut și pentru prepararea hranei. Radionuclizii naturali determinați sunt aceiași ca și în cazul probelor de sol. Concentrațiile medii evaluate pentru anul 1992 sunt prezentate în Tabelul 4.3.

Nu există estimări medii pentru apele de pe întreg Pământul, dar valorile de mai sus se înscriu în limitele de variație ale concentrațiilor raportate în alte țări.

Tabelul 4.3 Radioactivitatea naturală a apei de suprafață (Bq/l) [32].

Radionuclid	Minimă	Maximă	Medie
Ra-226	0,0020	0,020	0,009
Ac-228	0,0015	0,018	0,008
K-40	0,0250	0,240	0,135

4.6 Radioactivitatea naturală a vegetației. Determinarea radioactivității naturale a vegetației se face în scopul folosirii acestor valori ca parametrii de intrare în modelele de estimare a dozei rezultată prin ingerarea radionuclizilor. Rezultatele măsurărilor din cursul anului 1992 pentru vegetația spontană și pentru boabele de grâu sunt sistematizate în Tabelele 4.4 și 4.5.

Tabelul 4.4 Concentrația radionuclizilor naturali în vegetația spontană (Bq/kg)[32].

Radionuclid	Minimă	Maximă	Medie
Ra-226	1,8	3,7	2,5
Ac-228	1,6	3,5	2,2
K-40	350	640	505

Tabelul 4.5 Concentrația radionuclizilor naturali în boabe de grâu (Bq/kg)[32].

Radionuclid	Minimă	Maximă	Medie
Ra-226	0,2	0,8	0,5
Ac-228	0,2	0,8	0,5
K-40	75	150	112

Nu există estimări medii pentru întreg Pământul, dar valorile de mai sus se înscriu în limitele de variație ale concentrațiilor raportate în alte țări.

4.7 Radioactivitatea naturală a alimentelor. Determinările efectuate în principalele componente ale dietei, precum și în meniurile din zonele cu fond radioactiv moderat din România, sunt prezentate în Tabelul 4.6.

Aceste valori sunt folosite pentru estimarea ingestiei anuale a radionuclizilor naturali din alimente.

Tabelul 4.6 Concentrația unor radionuclizi naturali (Bq/l sau kg) în apă potabilă și alimente [32].

produs și radionuclid	Ra-226	Pb-210	K-40
apă	0,002	0,011	0,15
lactate	0,012	0,038	40,7
carne	0,011	0,017	92,6
legume	0,020	0,021	182
meniu	0,023	0,029	53,2

Ingestia anuală medie de U-238 este de cca 5 Bq, de Ra-226 de cca 15 Bq, de Th-232 de cca 2 Bq și de Ra-228 de cca 15 Bq.

Valorile determinate în România arată o ingestie anuală de radionuclizi naturali comparabilă cu cea prezentată de UNSCEAR-93. Se constată contribuția mare la doza efectivă, prin ingestie, mai ales a Pb-210, Po-210, Ra-226 și Ra-228 iar, prin inhalare, a Pb-210 și Po-210. Doza datorată altor radionuclizi naturali, cei cosmogeni, este mult mai redusă; excepție face C-14, cu o încorporare de cca 20 000 Bq/an. căreia îi corespunde o doză de 12 μ Sv pe an [27].

4.8 Radioactivitatea naturală a omului. Schimbul permanent de substanțe dintre organismul uman și mediu face ca radionuclizii naturali prezenți în unele produse alimentare, apă și aer să fie decelați și în om, ca urmare a inhalării și ingestiei.

Radionuclizii naturali pot fi estimați prin măsurarea lor în țesuturi, completată cu evaluarea în funcție de conținutul lor în alimente sau aer. Limita de detecție destul de ridicată a metodelor directe și conținutul radioactiv intern relativ redus, permit măsurarea cu foarte mare dificultate a radionuclizilor naturali. De aceea, în numeroase studii, realizate mai ales pentru radionuclizii alfa și beta emițători, s-a efectuat măsurarea conținutului radioactiv în țesuturi post-mortem. Evaluarea încărcării umane cu radionuclizi, pentru o perioadă de timp, datorată ingerării și inhalării lor, se face și cu ajutorul coeficienților de retenție, existenți în literatura de specialitate, dacă se cunoaște conținutul radionuclizilor respectivi în produsele consumate și în aer.

Potasiul este sub control homeostatic, deși sunt multe boli care afectează nivelul său din organism. Concentrația de K în organismul uman este mult mai mare față de cea existentă în factorii de mediu (aer, apă, sol), ridicându-se la cca 55 Bq/kg. La un factor de doză de $3 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, se estimează că doza efectivă anuală pentru adulți ajunge la $165 \mu\text{Sv}$.

Dintre ceilalți radionuclizi naturali, se acordă importanță deosebită Ra-226, care are un conținut situat între 1,5 și 15 Bq/întreg organismul, U-nat cu cca 0,1 Bq/kg în organele interne, și Th-nat cu valori ceva mai mici. Cât privește Rn-222 și Rn-220, dizolvați în sânge, limfă și în țesutul adipos, prezintă un conținut de 2 - 3 Bq/întreg organismul.

Pentru conținutul radionuclizilor naturali existenți în organismul uman, doza efectivă este 0,23 mSv, ceea ce reprezintă cca 10% din doza totală dată de radioactivitatea naturală, fără a ține seama de aportul zilnic la iradiere al radonului, thoronului și descendenților. O importanță deosebită trebuie acordată radionuclizilor Pb-210, Po-210, Rn-222, Ra-226, Th-232, U-235 și U-238 datorită caracteristicilor fizice și organelor critice, cu toate că se constată o ingerare zilnică scăzută a acestor radionuclizi.

Dacă se urmărește fracțiunea reținută în organul critic din contaminarea pe cale digestivă, se observă o încorporare redusă a radionuclizilor menționați, cu excepția Ra-226 și Ra-228. Transferul acestor radionuclizi prin diverse lanțuri trofice către om este destul de redus. De altfel și conținutul lor în majoritatea alimentelor analizate este, de asemenea, scăzut.

Calea principală de contaminare a omului rămâne cea respiratorie, unde fracțiunea ajunsă în organele critice se situează între 25 și 40% pentru majoritatea radionuclizilor naturali. Dacă la aceasta adăugăm și metabolizarea relativ redusă a radionuclizilor deja fixați în unele organe (T_b mare), cum este cazul Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-232 și chiar U-238 (Tabelul 3.5), avem oarecum dimensiunile reale ale gravității acestui tip de contaminare.

În cazurile accidentale de contaminare cu uraniu natural, se folosește perfuzia cu bicarbonat de Na 14% (în contaminarea prin inhalare și ingestie) și perfuzia dublată de spălarea pielii (în contaminarea pe cale cutanată); perfuzia se face numai sub control medical. Pentru reducerea contaminării cu Ra-226, se administrează,

per oral, fosfalugel sau alginat de Na, cât mai multe doze, ambele produse, fiind pansamente gastrice, nu sunt toxice (în România se comercializează produsul *nicolen* pe bază de fosfat de aluminiu gel și alginat de Na). Eficacitatea de decontaminare este relativ bună, în ambele cazuri, numai dacă se aplică la scurt timp după contaminare.

O serie de radionuclizi - descendenți ai uraniului sau thoriului, deși cu abundență destul de scăzută, sunt plasați în grupa de radiotoxicitate foarte mare datorită dezintegrării lor rapide (Th-227, Th-228, Th-230 sau U-232, U-233 și U-234). Rb-87, cu toate că este destul de puțin răspândit în natură este pus în grupa de radiotoxicitate mică, în schimb K-40, mult mai răspândit în natură, nu este trecut în nici-o grupă. Datorită constantelor fizice și posibilităților de metabolizare (Tabelul 3.5), deci și de a fi încorporați în organismul uman, o parte dintre radionuclizii descendenți ai uraniului și thoriului sunt foarte periculoși pentru om, așa cum este cazul Pb-210, Po-210, Ra-226, Ra-228. De altfel, acești radionuclizi sunt cu regularitate analizați în diverse produse, mai ales în alimente. O atenție deosebită se acordă, de asemenea, Rn-222 și descendenților săi, datorită activităților ridicate existente în unele locuri de muncă și chiar în locuințe.

*

* * *

Mediul în care trăim este slab radioactiv, deci contaminat puțin cu radionuclizi naturali. Intensitatea expunerii datorată fondului natural de iradiere diferă după zona geografică și particularitățile geologice, unele regiuni din India, Brazilia, Congo, Suedia au un nivel de expunere de cca 10 ori mai ridicat (Tabelul 4.7).

După UNSCEAR [27], doza efectivă se estimează la 2,4 mSv/an, din care 1,1 mSv se datorează radiației cosmice, radiației terestre și radionuclizilor încorporați iar 1,3 mSv se datorează radonului și descendenților săi. Valorile măsurărilor și evaluărilor din România sunt apropiate de cele prezentate de UNSCEAR (Figura 4.1).

Altfel spus, organismul uman este străbătut într-o oră [20] de:
- cca 100.000 neutroni și alte 400.000 particule din radiația cosmică;

- în aerul respirat se află 30.000 atomi radioactivi de radon, poloniu, bismut și plumb care se dezintegrează producând radiații alfa, beta și gamma;

- din alimentele ingerate, cca 15.000.000 atomi de K-40 se dezintegrează producând radiații beta și gamma, alături de cca 7000 atomi de U natural cu producții săi de dezintegrare;

- 200.000.000 radiații gamma din sol sau materiale de construcție.

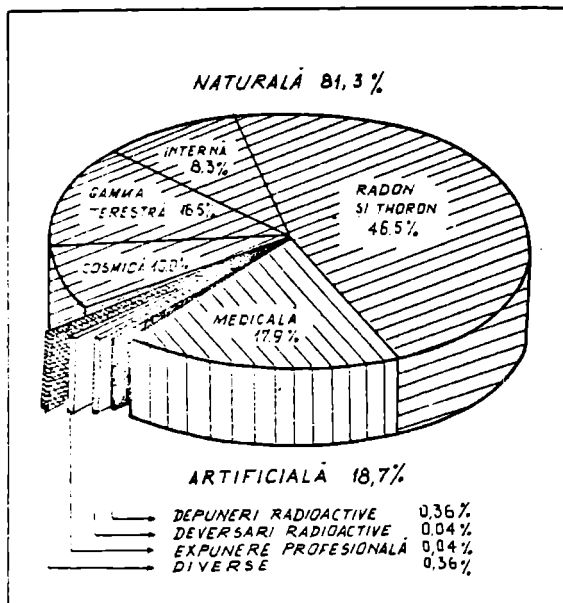
Acasta este un tablou relativ complet al radiațiilor naturale la care este expus organismul uman într-o oră, ceea ce corespunde la o doză de expunere de 0,27 μ Sv/oră iar într-un an la 2,4 mSv.

Tabelul 4.7 Doza efectivă anuală la adulți datorată surselor naturale (mSv). În paranteză este dat factorul de creștere al unei valori locale crescute față de valoarea medie globală [27].

	Valori globale	Valori locale crescute
Radiația cosmică	0,39	2,0 (5)
Radiația gamma terestră	0,46	4,3 (9)
Radionuclizii din organism (cu excepția radonului)	0,23	0,6 (4)
Radonul și producții săi de dezintegrare	1,3	10 (8)
TOTAL (rotunjit)	2,4	

Prin diverse activități ale omului, se pot crea situații în care mediul înconjurător, alimentele sau chiar locuințele să depășească nivelul de contaminare obișnuită cu radionuclizi naturali, ceea ce face ca și expunerea naturală să crească, apărând astfel o expunere suplimentară. Acest tip de expunere a început să fie mai bine cuantificat, deci să i se acorde o atenție deosebită, în special după 1990.

Fig. 4.1 Expunerea populației din România la radiații ionizante.



1. EXPUNEREA NATURALĂ (fondul natural de iradiere) 2,27 mSv

- radiația cosmică..... 0,28 mSv
- radiația gamma terestră..... 0,46 mSv
- internă (radionuclizi din organism)..... 0,23 mSv
- radon și descendenți, thoron și descendenți..... 1,3 mSv
 - în mediul urban..... 1,2 mSv
 - în mediul rural..... 1,4 mSv

2. EXPUNEREA ARTIFICIALĂ LA RADIAȚII IONIZANTE 0,522 mSv

- expunerea medicală..... 0,500 mSv
- expunere din depuneri radioactive
 - teste nucleare..... 0,010 mSv
 - *accidentul nuclear de la Cernobîl*
 - primul an..... 1,300 mSv
 - 1987 0,320 mSv
 - 1988 0,120 mSv
 - 1989 0,025 mSv
 - 1990 0,020 mSv
 - 1991 0,015 mSv
- expunere din deversări radioactive..... 0,001 mSv
- expunerea profesională..... 0,001 mSv
- expunere datorată diverselor surse..... 0,010 mSv

DOZA TOTALĂ (Expunerea naturală și Expunerea artificială) ≈ 2,8 mSv

DOZA TOTALĂ PENTRU INTERVALUL 26.04.86 - 26.04.87..... 4,1 mSv

DOZA MAXIMĂ ADMISĂ PENTRU POPULAȚIE..... 5,0 mSv

4.9 Modificări ale radioactivității naturale.

Diverse activități umane pot determina modificări ale concentrației unor radionuclizi naturali și, ca urmare, pot conduce la creșterea expunerii populației prin surse naturale. Toate aceste activități intră în categoria de "activități umane tehnologice care pot crește expunerea naturală a populației". Unele din aceste activități pot aduce, din profunzime la suprafața pământului, materiale având un conținut radioactiv mai ridicat decât media concentrațiilor de la suprafață, cum ar fi mineritul radioactiv, exploatarea petrolifere și geo-termale; altele, prin procesul tehnologic, pot produce concentrări ale substanțelor radioactive în produse, subproduse sau deșeuri, în această categorie intrând centralele termice pe bază de cărbune, combinatele de îngrășăminte chimice fosfatice etc.

S-a considerat că, pentru toate aceste activități, riscul datorat radiațiilor este de regulă mai mic, comparativ cu cel datorat substanțelor chimice. De aceea, radiația naturală suplimentară nu a fost în mod sistematic controlată.

Experiența din ultimii 20 de ani a arătat însă că o serie de activități umane pot modifica semnificativ expunerea populației datorată surselor naturale și că impactul lor asupra sănătății populației nu este neglijabil. De aceea, s-a și pus, recent, problema normării expunerii suplimentare, care se adaugă celei naturale. Este unanim acceptat faptul că organismul uman s-a adaptat, de-a lungul secolelor, la un anumit nivel de expunere naturală și că orice modificare a acestei expunerii naturale trebuie controlată.

În continuare sunt analizate sumar ramurile industriale care provoacă creșterea expunerii naturale suplimentare.

Arderea cărbunelui pentru producerea de energie (centrale termo-electrice). Cărbunele, ca orice material obținut din mediul înconjurător, conține cantități discrete de radionuclizi primordiali, existenți în mod natural, cum sunt K-40, U-238, Th-232 și produșii lor de dezintegrare. Prin ardere, aceștia trec în zgură, în cenușă ușoară (zburătoare) și în gazele fierbinți din fum. Astfel, substanțele radioactive aduse din adâncul pământului odată cu cărbunele sunt împrăștiate pe suprafețe întinse. Determinările de radioactivitate naturală au stabilit că de la cca 20 Bq U-238/kg cărbune se ajunge la 200 Bq/kg cenușă, realizându-se o concentrare de 5 - 10 ori mai mare. Depunerea acestei cenuși pe sol, la diverse

distanțe de termocentrală, conduce la creșterea radioactivității "naturale" atât în mediu cât și în lanțurile trofice. Există posibilitatea ca mare parte din aceste cenuși să fie reținută de filtre speciale, până la 99% în centralele ultramoderne, dar cu un preț de cost foarte ridicat. Centralele termo-electrice pe cărbune pot fi grupate în două categorii: centrale vechi, care eliberează în mediu cca 10% din cenușile zburătoare și centrale moderne, echipate cu filtre perfecționate, care eliberează numai 0,5 - 1% din cenușă. Centralele termice din țara noastră sunt dotate cu filtre destul de vechi, fiind considerate centrale învechite. Alături de cenușa rezultată, o atenție deosebită trebuie acordată și haldelor de zgură, din care precipitațiile antrenează elemente radioactive în apele de suprafață și freatiche.

Utilizarea cenușilor de la centralele termo-electrice la fabricarea cimentului și betonului, a amestecului pentru asfalt și ca amendament sau fertilizator în agricultură, constituie alte căi de expunere suplimentară a omului sau contaminare a mediului cu radionuclizi naturali. Doza de expunere în locuințele din beton cu astfel de cenușă (0,07% mSv/an) este de cel puțin două ori mai crescută față de cea din locuințele din lemn (0,03 mSv/an).

Arderea petrolului în centrale termice duce la eliminarea unor cantități reduse de radionuclizi (pentru 1 GW.an se elimină cca 200 MBq U-238, 300 MBq Ra-226, 150 MBq Th-232 și 1 GBq K-40), valori similare cu cele date de o centrală pe cărbune care dispune de mijloace foarte eficiente pentru reținerea cenușilor. În cazul gazului metan, emisiile la coș sunt dominate de radon (cca 2 TBq pentru 1 GW.an). Concentrația radonului din jurul unei centrale pe gaz metan nu diferă totuși semnificativ de cea a fondului natural.

Utilizarea combustibilului nuclear în centrale electrice duce la contaminarea mediului în diversele operații de prelucrare și de preparare așa cum sunt: extracția și prelucrarea minereului uranifer, conversia în combustibil nuclear, fabricarea de elemente combustibile, producția de energie electrică, stocarea combustibilului uzat, reprocesarea materialelor fisionabile reconvertibile, depozitarea și evacuarea deșeurilor radioactive. Mai ales în primele etape, unde se lucrează cu concentrații de 1000 - 10.000 de ori mai mari decât cele din sol, sunt eliberați o serie de radionuclizi naturali precum: U-238, U-235, Ra-226, Rn-222. Expunerea suplimentară a populației la

radiații naturale în zonele de extracție sau prelucrare a combustibilului nuclear este de numai $0,5 \mu\text{Sv/an}$

Extracția minereurilor neuranifere duce la acumularea masivă a gazelor radioactive (radon și thoron) în mine, galerii și tuneluri. Aceste gaze radioactive afectează numai personalul care lucrează în subteran. Cu toate acestea, minele neuranifere nu sunt considerate obiective nucleare, chiar dacă doza de expunere se situează între 1 și 10 mSv/an.

Utilizarea rocilor fosfatice pentru producția îngrășămintelor chimice face ca deșeurile rezultate să fie de cca 30 ori mai contaminate cu radionuclizi naturali. Roca fosfatică de origine sedimentară, vulcanică sau biogenă conține Th-232 și K-40 în aceeași concentrație ca și solul normal, în timp ce concentrația în U-238 ajunge la 1500 Bq/kg. Căile de creștere a concentrației în radionuclizi naturali la noi în țară sunt: folosirea îngrășămintelor fosfatice și mai ales a subproduselor și a deșeurilor rezultate; în România nu există exploatarea de roci fosfatice. Îngrășămintele fosfatice adăugate solurilor agricole măresc concentrația în radionuclizi naturali (în special a U-238 și Ra-226). Dacă nu se pune problema iradierii externe a lucrătorilor agricoli (cca 1% dintr-un an), în schimb nu s-a abordat încă aspectul creșterii conținutului în radionuclizi naturali a produselor agricole de pe terenurile unde au fost folosite anumite îngrășăminte fosfatice. Studiile preliminare stabilesc doza de expunere suplimentară datorată utilizării îngrășămintelor fosfatice la $0,1 \text{ mSv/an}$. O serie de subproduse ale industriei de fosfați este utilizată în industria de detergenți, la fabricile de celuloză și hârtie, în industria de medicamente, pentru dedurizarea apei, în fluidizarea noroaielor de foraj, ca aditivi alimentari în industria cărnii și laptelui, la fabricarea proteinelor sintetice, ca amestec de nutrețuri combinate etc. Principalul subproduș cu implicații deosebite în expunerea suplimentară a populației îl constituie deșeul numit fosfogips (60% din roca fosfatică) care se caracterizează printr-un conținut în Ra-226 de cca 10 - 15 ori mai ridicat decât în sol. Depozitarea fosfogipsului în halde ridică probleme datorate dispersiei radiului în componentele mediului înconjurător. Datorită prețului de cost scăzut cât și resurselor de gips natural, fosfogipsul a început să fie utilizat ca material de construcție. Din cauza concentrației mari de Ra-226 și mai ales a

Rn-222 (10 - 15 ori mai mult decât în materialele de construcție tradiționale), Ministerul Sănătății a interzis folosirea fosfogipsului în construcția de locuințe; totuși poate fi utilizat pentru construcția halelor și depozitelor.

Apele de zăcământ din zonele petrolifere, în procesul de extracție a țițeiului, aduc din adâncime radionuclizi naturali (în special Ra-226, până la 60 Bq/l). Dacă acestea nu sunt reinjectate ci sunt deversate în apele de suprafață sau terenuri agricole, se contaminează mediul cu radionuclizi naturali. Nu există încă date suficiente asupra nivelului de contaminare a mediului sau a expunerii personalului care lucrează la sondele de extracție.

Apele geotermale, caracterizate printr-o concentrație crescută a Ra-226 (în țara noastră s-au pus în evidență ape geotermale cu 2,5 Bq/l), se folosesc pentru încălzirea locuințelor, ca apă menajeră, la unele procedee semindustriale de topire a inului și cănepei și mai ales pentru tratament medical, în stațiuni balneoclimaterice. Probleme deosebite se pun pentru personalul medical ocupat profesional care este expus la doze cuprinse între 0,02 și 2,2 mSv/an.

Radonul în locuințe apare din materialul de construcție, din sol, prin podea, cât și din gazul metan utilizat la încălzire sau gătit. Datorită faptului că omul staționează cca 80% din timp în interiorul clădirilor (locuințe, birouri, săli de spectacole, de sport etc.) este protejat de radiația cosmică și cea terestră (din sol), dar este supus acțiunii radonului din încăperi. Raportul UNSCEAR-93 prezintă valori medii de 1,3 mSv/an pentru expunerea la radon și producții săi de dezintegrare din încăperi (Tabelul 4.7), iar valoarea maximă în unele zone ale globului poate să fie de 8 - 10 ori mai mare. Expunerea suplimentară datorată radonului merită o atenție mai mare din punctul de vedere al reglementărilor privind radioprotecția populației, atenția specialiștilor fiind îndreptată spre acest domeniu abia după 1990.

În majoritatea încăperilor în care s-au utilizat materiale de construcție bogate în radionuclizi naturali, dar mai ales în galeriile minelor, se găsește în concentrație mare radionuclidul Rn-222. Acesta se găsește în concentrație mică și în aerul atmosferic, în apă etc. Datorită faptului că omul desfășoară activități în încăperi cca 80% din viață, rezultă că acest radionuclid, existent mai ales în

încăperile sau locurile puțin aerisite, poate influența în mod decisiv starea sa de sănătate. Radonul, cu toate că este gaz nobil, pătrunde în organismul uman mai ales prin inhalare, dar și prin apă și alimente. Fiind solubil în fluidele și grăsimile organismului, este un potențial factor de risc pentru om. S-au semnalat diverse boli, mai ales la mineri (carcinoame pulmonare epidermoide și microcelulare), datorită inhalării de gaz sau a unor particule fine de praf sau aerosoli contaminate cu produși de dezintegrare ai Rn-222.

În cadrul fondului natural de iradiere, radonul aduce o pondere destul de ridicată (peste 50%) la doza de expunere pentru populația luată în ansamblu.

Activitățile umane prezentate mai sus duc la creșterea radioactivității naturale, ceea ce presupune o expunere suplimentară a populației peste fondul natural de iradiere. În cazul personalului care lucrează în minele uranifere și neuranifere, la sondele de extracție sau a celui de la prelucrarea rocilor fosfatice, iradierea naturală suplimentară constituie expunere profesională.

După cum s-au prezentat unele cazuri de creștere a radioactivității naturale datorată intervenției omului, există contribuții care ating și depășesc doza efectivă individuală de 1 mSv/an, dar valoarea care tinde să fie utilizată ca limită admisă pentru un individ din populație este de 1 mSv pe an. Pentru radioprotecție se impune stabilirea "nivelului de intervenție", care poate fi obiectiv stabilit și care reprezintă valoarea limită a efectanței, peste care se impun măsuri de reducere a cauzelor care produc expunerea suplimentară a individului din populație. Astfel, luând un singur caz, radonul dintr-o hală, atelier sau locuință, nu trebuie să depășească o doză de 1 mSv/an, altfel se impun măsuri de aerisire suplimentară. Dar cum individul din populație este expus și la alte surse de iradiere naturală suplimentară, valoarea dozei pentru o anumită sursă trebuie să fie mult mai mică. În timp ce nivelul de intervenție pentru radonul din încăperi ar putea fi de 0,1 mSv/an în Munții Apuseni (zonă cu exploatare de minereuri radioactive și neradioactive, deci cu expunere naturală suplimentară mai ridicată), în Delta Dunării, pentru același radon din locuință ar putea fi admisă o valoare a dozei efective de până la 0,5 mSv/an pe individ din populație.

Pentru o evaluare corectă a expunerii naturale suplimentare și a reglementării nivelurilor de intervenție sunt necesare studii privind inventarierea surselor de iradiere naturală suplimentară date de tehnologiile utilizate de către om.

Expunerea produsă de radionuclizii naturali din exterior sau încorporați, deși se caracterizează printr-un debit mic al dozei, datorită timpului îndelungat de expunere și radiațiilor alfa emise (în cazul celor încorporați), poate duce la realizarea unor doze de iradiere mari și deci la apariția unor leziuni grave, ireversibile. Tulburările clinice, de cele mai multe ori nu sunt evidente timp îndelungat de la iradiere, din cauza debitului mic, dar efectele nocive se acumulează, dacă organismul nu reușește refacerea rapidă a leziunilor respective. În cazul contaminărilor cu U-235 și U-238, leziunile produse la nivelul rinichilor, datorită mai ales toxicității chimice, pot degenera în nefrite. Printre leziunile produse de o serie de radionuclizi naturali, în cazul unor contaminări masive, cele mai des întâlnite sunt la nivelul plămânilor (fibroza pulmonară) și al oaselor (osteoporoza).

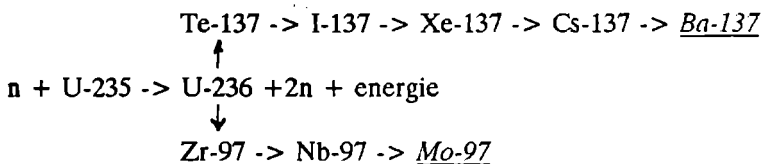
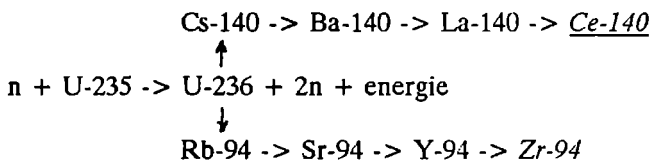
De aici apare necesitatea, controlului medical periodic al personalului expus profesional, cu luarea măsurilor necesare în caz de contaminare internă, pe lângă respectarea normelor de radioprotecție în locurile unde există posibilitatea contaminării cu radionuclizi naturali. Cunoscând că îndepărtarea radionuclizilor deja fixați în diverse organe (decorporare) are o eficacitate destul de redusă, este necesar să se asigure condițiile prevăzute de legislația în vigoare pentru a reduce cât mai mult posibil riscul de contaminare internă cu radionuclizi naturali.

Capitolul 5

RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ

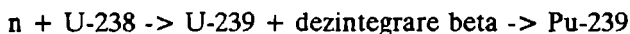
Cunoașterea de către om a fenomenelor legate de radioactivitate a început încă de la sfârșitul secolului trecut, dar cucerirea și deci stăpânirea înfricoșătoarelor forțe din structura atomică a materiei a fost realizată abia în ajunul celui de al doilea război mondial. Descoperirea fisiunii a dus destul de rapid la îndeplinirea a ceea ce și-au propus oamenii de știință: arma nucleară, motorul pentru propulsie și mai apoi centrala electrică. Se pare că niciodată o descoperire nu a avut așa multe implicații și consecințe asupra omenirii.

Fisiunea nucleară. Fenomenul fisiunii nucleare a fost descoperit în 1939, la Berlin, de către Otto Hahn, Lise Meitner și Fritz Strassmann și constă în faptul că una din particulele fundamentale ale materiei - neutronul, poate provoca scindarea (ruperea) unui atom (uraniu, thoriu, Pu-239) în substanțe radioactive. În urma fisiunii mai rezultă neutroni (numiți și neutroni secundari) și energie. În masa uraniului, prin fisiune, se pot forma mai mult de 250 radionuclizi de fisiune prin dezintegrări succesive, dintre care 90 rezultă direct din fisiune. Acești radionuclizi constituie o puternică sursă radioactivă. Dezintegrarea radioactivă a produșilor de fisiune continuă până când nucleele nou formate ajung în stare stabilă. Sunt prezentate mai jos două posibilități de fisiune a U-235 [3].



Marea majoritate a nucleelor grele de uraniu sau thoriu absorb neutronii, mai ales pe cei cu energii joase, dând reacții de fisiune.

Există și probabilitatea ca nucleele fisionabile ale elementelor grele amintite să absoarbă neutroni fără să fisioneze. Cele două elemente, prin dezintegrare beta, se transformă în Pu-239, respectiv U-233, care sunt elemente ușor fisionabile. Deci neutronii nu se pierd iar procesul devine util prin apariția altor elemente fisionabile, după cum se vede în exemplul de mai jos:



Elementele U-233, U-235, Pu-239, Pu-241 se numesc fisionabile sau fisile iar U-238 și Th-232 se numesc materiale fertile.

Fuziunea nucleară. Fenomenul prin care nucleele atomice ale elementelor foarte ușoare sunt unite (condensate) pentru a produce nucleu de elemente mai grele cu degajarea unei cantități impresionante de energie = fuziunea nucleară; a fost pusă în evidență teoretic, încă din deceniul al treilea al secolului nostru. Aceasta este reacția care are loc în stele și constituie sursa energiei soarelui. Până în prezent, energia rezultată din fuziunea nucleară a fost utilizată numai în testele cu arme termonucleare (bombe cu hidrogen). În fază de proiect și experimentare se află reactorul nuclear pe bază de fuziune nucleară.

Activarea elementelor chimice. În cursul ambelor reacții nucleare apar o mulțime de produse de activare - radionuclizi care se formează în urma interacțiunii neutronilor cu elemente stabile. Radionuclizii de activare apar fie în reactorul nuclear în cadrul diferitelor componente (conducte, apa din circuitul primar, tecile combustibilului etc.), fie în mediul înconjurător, în cazul testelor nucleare. Printre radionuclizii foarte des întâlniți ca produs de activare este Na-24 (cu $T_{1/2} = 15$ ore), care este ușor evidențiat la animalele de experiență, în urma iradierii cu neutroni; în funcție de activitatea Na-24 decelată, se poate calcula indirect doza de neutroni primită de organismul iradiat.

Radionuclizi cu importanță biologică pentru materia vie (în special pentru om), care rezultă în urma reacțiilor de fisiune, fuziune

sau activare sunt: Am-241, Ba-140, C-14, Ce-141, Ce-144, Cs-134, Cs-137, Co-60, Fe-55, Fe-59, H-3, Mn-54, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Sr-89, Sr-90, Zn-65, Zr-95 etc. (Tabelul 3.5 și 3.6).

5.1 Energetica nucleară. Paralel cu perfecționările și experimentările armamentului nuclear, energia nucleară a început să fie folosită din ce în ce mai mult și în folosul omului. Se pare că, în prezent, nu există domeniu de activitate în care să nu fie utilizate surse radioactive, ceea ce face ca energia nucleară să aducă nenumărate beneficii omului. Criza de combustibili fosili a favorizat dezvoltarea energeticii nucleare prin accelerarea programelor de construcție a centralelor nucleare electrice. Randamentul în reactorul nuclear energetic (cca 34%) este mult mai mare, comparativ cu arderea într-o termocentrală cu combustibili fosili.

Încă de la sfârșitul celui de al doilea război mondial, când s-a pus problema utilizării energiei rezultate în urma fisionării atomilor de uraniu și în scopuri pașnice, s-a considerat că sunt necesare:

- un reactor, în care reacția controlată de fisiune în lanț să genereze căldură;

- un agent de răcire (lichid sau gaz), pentru extragerea și transferul căldurii către o masă de apă, care prin fierbere se transformă în abur;

- un sistem clasic, cu abur, care acționează, fie o turbină pentru producerea de curent electric, fie un ax motor pentru propulsie.

Calea utilizării energiei rezultate prin fisiune nucleară a luat astfel două direcții separate, dar foarte apropiate: cea a propulsiei navale, mai ales pentru submarine, care necesită autonomie mare de deplasare și cea a producției de electricitate. Aceste două aplicații ale fisiunii nucleare au atins etape industriale în țările dezvoltate economic.

De la descoperirea fisiunii nucleare în 1939, au trecut numai 15 ani până la punerea în funcțiune a primei centrale electrice de putere mică, de numai 15 MW în fosta URSS. În ultimele trei decade, energetica nucleară s-a dezvoltat foarte rapid, ajungând ca o parte însemnată de energie electrică să fie obținută în centrale nucleare.

5.1.1 Reactorii nucleari (reactoarele nucleare) sunt denumiți așa, deoarece depind în funcționare de reacția dintre neutroni și nucleele atomice ale combustibilului. Pentru clasificarea reactorilor

nucleari, sunt mai multe criterii, în funcție de tipul neutronilor utilizați, scop, moderator, natura combustibilului etc.

a. după energia neutronilor care participă la realizarea fisiunii în lanț a combustibilului nuclear, există: reactori termici care, utilizează neutroni cu energie joasă (termici) și reactori rapizi, care utilizează neutroni cu energie înaltă (rapizi).

b. după scop: reactori energetici, de cercetare, de încercări de materiale, pentru propulsia navelor maritime sau cosmice etc. În reactorii de cercetare și încercare materiale, fluxul de neutroni se utilizează pentru cercetări de fizică, biologie etc. sau pentru studiul comportării la iradiere a materialelor folosite în câmp de radiații.

c. după tipul de moderator: cu apă obișnuită, cu apă grea, cu grafit sau cu beriliu.

d. după agentul de răcire: cu apă obișnuită, cu apă grea, cu gaz, cu metal lichid etc.

e. după felul și natura combustibilului: cu uraniu îmbogățit, cu uraniu natural, cu uraniu sau plutoniu; metalic, oxid, înglobat în material ceramic etc.

f. după modul în care se produc noile materiale fisionabile: convertor sau reproducător.

Combustibilul cel mai folosit până în prezent este uraniul. În natură, uraniul are doi izotopi principali: U-238 cu 99,3% și U-235 cu numai 0,7%, ultimul fiind ușor fisionabil, mai ales la interacțiunea cu neutronii de energie joasă. Un alt element utilizabil pentru a obține energie prin fisiune este Th-232, care, în urma interacțiunii cu neutronii rapizi, trece în U-233 (inexistent în natură). U-233 este ușor fisionabil și poate fi amestecat cu U-235 sau Pu-239. Până acum, nu s-a pus problema utilizării Th-232, datorită rezervelor mari de uraniu.

5.1.2 Etapele obținerii combustibilului nuclear:

- elementul chimic uraniu, care stă la baza energiei nucleare, se găsește în rocile scoarței pământului sub formă de zăcăminte exploatabile (0,1 - 0,3%), în cantități mici sub 4 g pe tonă de sol (4 ppb) se găsește aproximativ în toată scoarța pământului;

- se îndepărtează sterilul, iar într-o etapă următoare, uraniul este pulverizat, filtrat, calcinat, tratat chimic astfel că, dintr-o tonă de minereu se obțin cca 2 kg oxid de uraniu (U_3O_8);

- oxidul de uraniu se trece sub formă gazoasă de hexafluorură

de uraniu (UF_6) (se utilizează fluorul deoarece are un singur izotop) prin instalații de difuzie gazoasă, unde se îmbogățește în U-235. Uraniul se mai poate îmbogăți în U-235 și prin ultracentrifugare și prin separare electromagnetice. Concentrația optimă de U-235, în combustibilul nuclear, depinde de tipul reactorului: pentru reactorii energetici, cu neutroni termici, concentrația optimă este de 1 - 5%; în reactorii de cercetare, unde se cere un flux intens de neutroni, se utilizează 10 - 90%, iar în reactorii de propulsie maritimă sau cosmică, se utilizează peste 90%.

- hexafluorura de uraniu îmbogățită în U-235 este trecută în dioxid de uraniu (UO_2), sub formă de pulbere, care este apoi pastilată (sinterizată) cu diametru de cca 10 mm și înălțime de 10 mm. Fiecare pastilă înmagazinează energia echivalentă a 1 tonă de cărbune sau a 480 l petrol brut.

Din ultimele estimări, se consideră că 1 MW poate fi obținut prin arderea a: 333 kg cărbune sau 250 l petrol sau 6 g de uraniu natural (Tabelul 5.1).

Tabelul 5.1 Randamentul de ardere a unor combustibili [26].

combustibil	cantitate	energie	energie	cantitate
cărbune	500 g	1,5 kWh	1 MWh	333 kg
petrol	500 g	2 kWh	1 MWh	250 l
uraniu natural	500 g	82 MWh	1 MWh	0,006 kg

Pastilele se introduc într-un tub, din material special (de obicei aliaj cu zirconiu), care formează un element combustibil al reactorului.

- nucleul de uraniu, sub acțiunea unui neutron mai ales cu energie joasă (termic), fisiunează în elemente mai ușoare (produse de fisiune), cu degajare de căldură și 2-3 neutroni care acționează asupra altor nuclee de uraniu. Energia eliberată este dată de diferența dintre energiile ce asigură coeziune particulelor nucleare (energia de legătură), înainte și după reacție. Energia neutronilor rezultați în reacția de fisiune este redusă cu ajutorul unui moderator. Astfel, o parte dintre aceștia ciocnesc alți atomi de U-235, au loc noi

reacții de fisiune, se eliberează alți neutroni, au loc alte reacții de fisiune cu apariția altor neutroni ș.a.m.d., producându-se reacția de fisiune în lanț, autoîntreținută și staționară. În reactorul nuclear, reacția de fisiune în lanț este controlată, în timp ce, la explozia unei arme nucleare, reacția de fisiune nu este controlată și se desfășoară în fracțiuni de secundă.

- pentru o funcționare normală a unui reactor, periodic (aproape anual), se înlocuiește un sfert din elementele combustibile, parte care constituie combustibilul nuclear uzat.

- combustibilul uzat este retransformat în uzine specializate unde prin diverse procese chimice, se separă, pe de o parte, uraniul și plutoniul, iar pe de altă parte, produsele de fisiune,

- uraniul și plutoniul rezultați sunt readuși la uzina de combustibil nuclear, pentru a fi utilizați din nou, iar produsele de fisiune sunt tratate ca deșeuri radioactive.

Dacă neutroni termici produc fisiunea, mai ales a U-235, în schimb, neutronii rapizi, care pătrund într-un atom de U-238, pot produce fisiunea acestuia sau U-238 trece în U-239, care, prin dezintegrări succesive, trece în Pu-239, de asemenea ușor fisionabil.

5.1.3 Moderatorul transformă neutronii rapizi în neutroni termici. Neutronii de fisiune, având energie mare, se pot pierde, pot fi capturați de materialul fertil (cu abundență foarte mare) sau sunt termalizați (încetiniți) cu ajutorul unor materiale, cum sunt apa ușoară, apa grea, grafitul, beriliul etc., care se mai numesc și moderatori. Dintre aceștia, se pare că apa grea este cel mai bun moderator pentru că încetinește în mare măsură neutronii și îi absoarbe puțin. Totuși, prețul de cost al unei fabrici de apă grea este destul de ridicat.

Pentru ca reacția de fisiune în lanț să se desfășoare în condiții bune, în afara termalizării neutronilor, este necesară îmbogățirea materialului combustibil cu U-235, respectiv creșterea la peste 2% a acestui izotop al uraniului. Această operație se realizează în uzine de îmbogățire cu U-235.

Când concentrația nucleelor fisionabile de U-235 și Pu-239 este mare, se utilizează neutronii rapizi direct într-un reactor rapid fără a mai fi utilizat moderatorul (mai ales grafitul). Un reactor rapid încărcat cu Pu-239 și U-238 produce energie prin fisionarea Pu-239, dar în același timp U-238 captează neutroni și se produce Pu-239.

Astfel, un reactor rapid poate produce mai mult plutoniu decât consumă, acest reactor se mai numește reproducător sau supragenerator.

Reactorul rapid, fără moderator, poate folosi U-235 îmbogățit și produce Pu-239 din U-238, dar majoritatea U-238 rămâne ca deșeu. În general, reactorii rapizi utilizează Pu-239 pentru fisiune, în același timp convertind U-238 în Pu-239.

Folosirea combinată a reactorilor termici și rapizi poate produce de cca 100 ori mai multă energie, decât dacă s-ar utiliza energia numai din reactorii termici. Cantitatea de Pu-239 care rezultă în reactorii nucleari, un radionuclid foarte periculos, este mult mai mică, ceea ce reduce costurile de stocare cât și măsurile pentru protecția mediului.

În prezent, energetica nucleară, cu toate accidentele și incidentele inerente oricărui tip de utilizare de sursă de energie, a ajuns la maturitatea tehnologică. Se pare că reprezintă singura alternativă industrială de luat în considerare după anul 2000, pentru a înlocui combustibilii clasici, utilizabili ca fertilizatori, surse de medicamente, materiale plastice etc.

În final, într-un reactor nuclear în funcțiune există:

- uraniu natural (U-238),
- uraniu îmbogățit (U-235), care scade cantitativ prin funcționarea reactorului,
- plutoniu (Pu-239) realizat prin captura neutronilor de către U-238,
- produse de fisune puternic radioactive,
- produse de activare,
- produse de dezintegrare ale Pu-239 (americium, curiu).

Cantitatea acestor radionuclizi depinde de gradul de fisionare ("ardere") a combustibilului nuclear (în funcție de timpul de funcționare sau de schimbare a combustibilului).

La începutul energeticii nucleare, s-au dezvoltat reactorii energetici termici, aceștia formând prima generație a energeticii nucleare. În prezent s-a trecut deja la a doua generație în care se utilizează reactori rapizi.

Până în prezent, s-au impus următoarele tipuri de reactori nucleari energetici:

a. reactorul nuclear cu combustibil - uraniu natural, moderator - grafitul iar agentul de răcire - gaz (bioxidul de carbon), cunoscut sub denumirea de GCR (Gas-Cooled Reactor), cu două variante îmbunătățite: cu uraniu îmbogățit, învelit în oțel inoxidabil, AGR (Advanced Gas-cooled Reactor) și cu uraniu cu grad mai mare de îmbogățire și învelit în grafit, iar ca agent de răcire se utilizează heliul la temperatură ridicată HTGR (High Temperature Gas-cooled Reactor).

b. reactorul nuclear cu combustibil - uraniu natural, moderator și agent de răcire - apa grea, denumit HWR (Heavy Water Reactor) cu varianta îmbunătățită PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor).

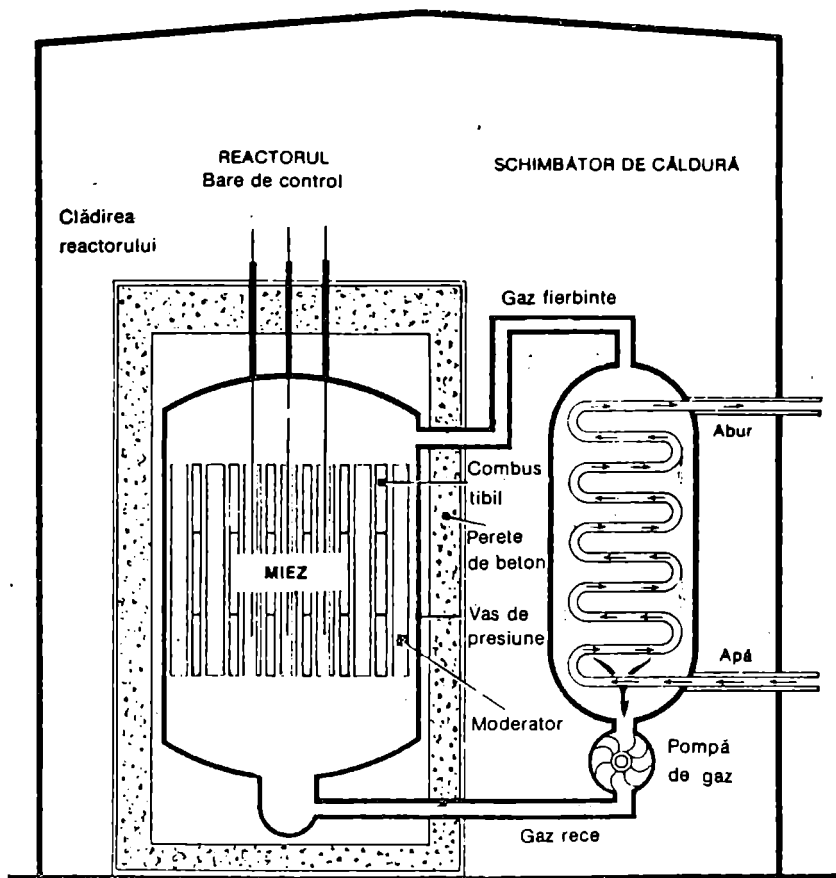
c. reactorul nuclear cu combustibil - uraniu îmbogățit, moderator și agent de răcire - apa obișnuită, denumit LWR (Light Water Reactor) cu două variante: cu apă sub presiune, aburul producându-se într-un circuit secundar PWR (Pressurized Water Reactor) și cu apă în fierbere, aburul este produs direct în reactor BWR (Boiling Water Reactor).

d. reactorul nuclear cu combustibil - uraniu îmbogățit, moderator - grafitul iar agent de răcire apa, reactori construiți în special în fosta URSS, inclusiv cei de la Cernobâl.

5.1.4 Miezul unui reactor nuclear conține peste o sută de tone de combustibil și este introdus într-un vas sub presiune. Miezul reactorului se află într-o incintă blindată (mantaua reactorului) înconjurată cu ziduri de 1-2 m din beton armat, pentru a obține o protecție cât mai mare împotriva radiațiilor gamma și a neutronilor.

Dacă combustibilul nuclear proaspăt este ușor radioactiv și se poate manipula fără ecranare, după punerea în funcțiune, activitatea crește de milioane de ori, până la cca 10^{20} Bq, creștere datorată apariției produselor de fisiune. Aceasta explică necesitatea luării unor măsuri de protecție deosebite, legate de ecranare și de calitatea materialelor care alcătuiesc diferite incinte, circuite etc. Se consideră că sistemul de protecție al unei centrale nucleare electrice depășește costul propriu-zis al centralei.

Fig. 5.1 Schema generală a unui reactor nuclear [20].



Puterea termică a unui reactor de cca 1000 MW este echivalentă cu puterea disipată a 1.000.000 de radiatoare electrice cu câte o bară de 1 kW. Dacă nu se iau măsuri speciale pentru extragerea căldurii apărute în miezul reactorului, tecile combustibilului, precum și combustibilul, se pot topi și pot elibera radioactivitatea în clădirea reactorului sau în mediu (cazul accidentelor nucleare). Este necesar totodată, ca reactorul să fie controlat, astfel încât rata de producere a energiei termice să nu depășească capacitatea sistemului de răcire (preluare a căldurii), iar reactorul să poată fi închis rapid, în eventualitatea unui accident incipient (situația reactorilor de la Kozlodui din 20 - 22 noiembrie 1994, când au fost închiși).

Chiar dacă se oprește un reactor din funcționare, produsele de fisiune apărute în combustibilul nuclear continuă să genereze căldură prin dezintegrare radioactivă. Ceea ce reprezintă cca 7% din puterea unui reactor. Această putere se reduce rapid, prin dezintegrarea, în special, a radionuclizilor de viață scurtă, dar este nevoie în continuare de răcire, pentru a împiedica topirea elementelor combustibile.

5.2 CNE Cernavodă. În cazul CNE Cernavodă, tipul de reactor se numește CANDU (CANada Deuterium Uranium), ceea ce reprezintă: sistem de reactor canadian, moderator este apa grea, iar combustibilul utilizat este uraniul natural și face parte din tipul de reactori HWR. Miezul reactorului (zona activă) se află într-un rezervor cilindric așezat orizontal și numit Calandria. Rezervorul Calandria este prevăzut cu 380 locașuri (canale) în care sunt amplasate 380 tuburi cu fasciculele combustibil. Pastilele de combustibil nuclear (bioxid de uraniu) cu diametru de cca 10 mm, în număr de 30, introduse într-o teacă de zircaloy sudată la capete, alcătuiesc un creion combustibil; 37 asemenea creioane formează un fascicul de combustibil, în greutate de 25 kg, iar 12 fascicule se introduc într-un tub din cele 380 canale. Astfel, în rezervorul Calandria intră $25 \text{ kg} \times 12 \times 380 = 114 \text{ t}$ combustibil nuclear.

Apa grea este utilizată ca moderator, reflector și agent de răcire. În natură se găsesc concomitent H (hidrogen ușor), D (deuteriu sau H greu) și T (tritiu sau H supragreu). Raportul D/H are valoarea de $1,5 \cdot 10^{-4}$ (la un atom de D se găsesc cca 15 400 atomi de H). Apa grea, în stare pură, se obține prin separare din apa obișnuită sau prin separarea D de hidrogenul obținut prin

descompunerea apei, pe baza diferenței dintre proprietățile fizice și chimice ale moleculelor izotopice. Se utilizează procedee bazate pe schimb izotopic (sistemele $H_2O - H_2S$, $H_2O - H_2$, $NH_3 - H_2$), distilare fracționată și electroliza apei. În instalațiile bazate pe sistemul $H_2O - H_2S$, se obține un concentrat cu 15% D_2O ; urmează concentrarea prin evaporare în instalații de electroliză și se obține, în final, apă grea cu puritatea de 99,8%.

Moderatorul - apa grea, înconjoară tuburile cu combustibil. Aceeași apă îndeplinește și funcția de agent de răcire și de transfer către generatorii de abur cu apă obișnuită, pentru căldura generată de reacția de fisiune. După cedarea căldurii, apa grea răcită este recirculată în reactor. Aburul, rezultat în generatorul de aburi cu apă obișnuită, este transportat la turbina care rotește generatorul pentru producerea energiei electrice. Astfel, circuitul primar, cu apă grea, este separat de circuitul secundar, destinat producerii energiei electrice.

Pe măsură ce reactorul funcționează, deci la anumiți timpi, se schimbă fasciculele de combustibil nuclear mai puțin "arse", din exteriorul miezului, cu cele mai "arse", din partea centrală a miezului, sau cele "arse" cu altele proaspete. Operația de scoatere a fasciculului de combustibil uzat și realimentarea cu cel nou se face concomitent, în timpul funcționării reactorului, cu ajutorul a două mașini de încărcare-descărcare așezate la cele două capete ale miezului reactorului. Realimentarea, cât și majoritatea operațiilor de rutină din centrală sunt controlate cu ajutorul calculatorului.

Nivelul de putere al reactorului, cât și oprirea se realizează cu ajutorul unui sistem de siguranță, constituit din bare de protecție verticale, din cadmiu (pentru control) și orizontale (pentru oprire).

Printre datele tehnice ale primului reactor nuclear al CNE Cernavodă [26], merită a fi amintite:

- semnarea contractului AECL Canada - ROMENERGO, 1979,
- prima criticitate, 1996,
- putere electrică brută, 700 MWe
- putere electrică netă, 630 MWe
- putere termică, 2180 MWt
- tipul reactorului, HWR (PHWR) - CANDU
- răcire și moderare, D_2O
- număr bucle de răcire, 2

- debit vehiculat 7700 kg/s
- temperatura agentului de răcire - intrare 266°C
- ieșire 310°C
- masa de bioxid de uraniu, 95,76 t UO_2
- număr pastile/creion, 30
- număr creioane de combustibil, 37
- număr canale combustibil, 380
- pompe circuit primar, 4 cu un debit pe pompă de 1925 kg/s
- generatori de abur, 4
- temperatura aburului la ieșire, 260°C
- generator electric cu puterea de 800 MVA.

Securitatea nucleară a CNE Cernavodă se realizează prin ansamblul de măsuri tehnice și organizatorice, destinate să asigure funcționarea instalațiilor nucleare, să prevină și să limiteze deteriorarea echipamentelor și să ofere protecție personalului care lucrează în centrală, populației, mediului înconjurător și bunurilor materiale împotriva iradierii și contaminării radioactive.

Sistemul CANDU este prevăzut cu o serie de bariere fizice de protecție împotriva iradierii, cât și împotriva răspândirii unor deșeuri radioactive. Astfel, acest tip de reactor are 4 bariere de protecție fizică și o zonă de excludere de activități umane:

- pastila de bioxid de uraniu reține cea mai mare parte din produsele de fisiune (99%) în stare solidă,
- teaca elementului combustibil reține produsele de fisiune volatile și gaze nobile care difuzează din pastila de combustibil,
- circuitul primar de transport pentru căldura rezultată în miezul reactorului reține produsele de fisiune care ar putea scăpa prin deteriorarea tecilor care conțin combustibilul nuclear,
- anvelopa reține produsele de fisiune în cazul avarierii reactorului și a circuitului primar pentru apa grea,
- zona din jurul centralei cu raza de cca 1 km constituie "zona de excludere", unde nu sunt permise activități umane permanente, altele decât cele legate de centrală, și care asigură diluția atmosferică a oricăror eliberări de radionuclizi, evitându-se astfel expunerea artificială a populației la radiații. Totuși, în condiții de funcționare normală a sistemului CANDU, printre radionuclizii eliminați prin efluenți, lichizi sau gazoși, se află și tritium ($T_1 = 12,3$ ani), în cantități care nu pot fi neglijate (Tabelul 5.2). Activitatea

eliminată, cca $75 \cdot 10^{10}$ Bq/MWe.an, este, de departe, mult mai ridicată, comparativ cu celelalte tipuri de reactori în funcțiune. Tritiul apare în reactorul cu apă grea, mai ales, prin activarea neutronică a deuteriului. Nivelul de eliminare normalizată a tritiului se situează între 10^{11} Bq/MWe, în primul an de exploatare și $7 \cdot 10^{11}$ Bq/MWe, din anul al doilea de exploatare. Se consideră că deșeurile de tritiu eliminate de reactorii HWR sunt cu cel puțin un ordin de mărime mai mari, comparativ cu celelalte tipuri de reactori.

Tritiul este reținut în organismul uman astfel: 100% din cel pătruns pe cale pulmonară, 50% pe cale cutanată (piele intactă) și 100% pe cale digestivă (mai ales prin apa contaminată). Apa tritiată absorbită se repartizează rapid în tot organismul, prin intermediul circulației sanguine. Timpul de înjumătățire biologică are trei componente, cu: 10 zile, o lună și un an. H-3 face parte din grupa de radiotoxicitate mică datorită energiei beta destul de mici (18 keV), astfel că limita anuală de incorporare (LAI) și limita derivată de concentrație în aer (LDCA), pentru apa tritiată, sunt destul de ridicate ($3 \cdot 10^9$ Bq, respectiv $8 \cdot 10^5$ Bq). Cu toate acestea, efectele H-3 fixat la nivelul componentelor celulare, mai ales la nivelul acizilor nucleici, nu trebuie să fie neglijat.

Tabelul 5.2 Evaluări ale producției și deșeurilor eliminate de tritiu (10^{10} Bq/MWe.an) prin efluenți pentru diferite tipuri de reactori [16].

Sursa	PWR		BWR		HWR		GCR	
	Producție Efluenți		Producție Efluenți		Producție Efluenți		Producție Efluenți	
FISIUNE	75	<0,7	75	<0,7	55	<0,6	75	<0,7
ACTIVARE								
-deuteriu	0,004	0,004	0,04	0,04	2000	75		
-litiu	0,07	0,07					2	0,4
-bor	2,6	2,6	30	0				
TOTAL (rotunjit)	78	3	105	0,5	2055	75	77	1

5.3 Energetica nucleară pe plan mondial. În prezent, cca 17% din energia electrică în lume se datorează utilizării energiei nucleare

Principalele state producătoare și exportatoare de centrale nucleare electrice sunt: SUA, fosta URSS, Franța, Anglia, Canada și Germania. Printre țările cu cei mai mulți reactori nucleari energetici în funcțiune [37, 40], amintim:

SUA	109
Franța	57
Japonia	48
Marea Britanie	35
Rusia	29
Germania	21
Canada	22
Ucraina	15
Suedia	12

În anul 1995 erau în funcțiune 430 reactori nucleari energetici iar 55 în construcție, marea majoritate fiind reprezentată de tipul PWR, urmată de BWR și PHWR.

În Franța și Lituania (1 reactor), peste 75% din energia electrică este de origine nucleară.

Canada a exportat reactori CANDU în Argentina, India, Pakistan și bineînțeles în România.

Bulgaria are 6 reactori nucleari electrice de tip PWR, dintre care primii 4 neanvelopați, de câte 440 MW fiecare și 2 anvelopați, de câte 1000 MW, de proveniență rusească. Cei 6 reactori dau cca 40% din energia electrică a Bulgariei.

5.4 Beneficiu - risc în energetica nucleară. Obținerea energiei electrice - element de bază al progresului societății omenești - are un impact complex asupra mediului înconjurător, în funcție de sursa utilizată. Majoritatea sistemelor de producere a energiei electrice prezintă potențiale de accidente grave, cu implicații asupra omului și asupra mediului (Tabelul 5.3).

Tabelul 5.3 Impactul unor surse de energie asupra mediului [35].

Sursa de energie	Impacturi principale
Cărbune	<ul style="list-style-type: none"> - contaminarea apelor subterane - afectarea terenurilor, modificarea utilizării solului și pe termen lung distrugerea ecosistemelor; - emisii de SO₂, NO_x, pulveri cu incidență lor asupra calității aerului; - efect bazic al metalelor grele din zgură și cenușă; - schimbări de climă la scară planetară datorită emisiilor de CO₂; - acidifierea lacurilor, afectarea florei și faunei datorită depunerilor acide.
Petrol și gaze	<ul style="list-style-type: none"> - poluarea mărilor și coastelor din deversări; - modificarea solului, deteriorarea pădurilor, acidifierea lacurilor datorită emisiilor oxizilor de S și N; - contaminarea apelor subterane; - emisii de gaze cu efect de seră și cu impact asupra schimbărilor de climă la scară planetară.
Hidro	<ul style="list-style-type: none"> - distrugerea terenurilor, modificarea sedimentelor; - distrugerea ecosistemelor și afectarea diverselor specii; - deplasări de populații umane;
Nucleară	<ul style="list-style-type: none"> - poluarea apelor de suprafață și a celor subterane (la extracție); - modificarea utilizării terenurilor și afectarea ecosistemelor în cazul depozitării deșeurilor; - contaminarea potențială a uscatului și a mărilor prin radionuclizi în situații normale de funcționare și mai ales în accidente; - poluare termică.
Surse reînnoibile	<ul style="list-style-type: none"> - contaminarea aerului și apelor; - modificări ale utilizării terenurilor și ecosistemelor; - zgomot datorită funcționării turbinelor eoliene;

Accidentele pot apare datorită unor deficiențe tehnice sau organizatorice, unor erori umane sau unor fenomene naturale (Tabelul 5.4).

Tabelul 5.4 Posibilitatea apariției unor accidente pentru diferite surse de energie [35].

Sursa de energie	Accidente
Cărbune	- explozii sau incendii, prăbușirea bolților sau pereților în mine; - accidente în termocentrale;
Petrol și gaze	- accidente la foraje (mai ales marine); - incendii sau explozii la instalații de forare și de tratare, la transport, la depozitare;
Nucleară	- explozii sau incendii în mine; - pierderi de apă de răcire, topirea miezului reactorului (accidente nucleare); - accidente pe timpul transportării deșeurilor radioactive;
Hidro	- ruperea barajelor;
Geotermală	- erupția puțurilor cu degajare de gaze toxice;
Heliotermică	- degajare de fluide de lucru toxice.

Studiile de risc, după diverși autori, au pus în evidență faptul că probabilitatea apariției unui accident grav este ceva mai redusă în cazul CNE, față de celelalte surse de producere a energiei electrice.

Intr-o situație prezentată de AIEA, pentru perioada 1959 - 1986, înainte de accidentul de la Cernobâl, realizată pe baza valorii indicelui *număr de decese* raportat la energia produsă, apare următoarea ierarhie [35]:

- ruperi de baraje hidroenergetice:	1,41
- catastrofe miniere:	0,34
- incendii și explozii la gaze naturale:	0,17
- accidente la transportul petrolului:	0,08
- accidente nucleare (fără Cernobâl):	0,03
- incendii la rafinării:	0,02

Dintre sistemele de producere a energiei electrice, centralele termoelectrice pe bază de combustibili clasici (mai ales cărbune și păcură) afectează toți factorii de mediu prin pulberile degajate, dar mai ales atmosfera datorită emisiilor de SO_2 , NO_x și CO_2 . Aceste pulberi și gaze pot fi transportate la distanțe mari (chiar sute la mii de km) provocând efecte regionale și globale prin degradarea suprafețelor ocupate de vegetație (perturbarea metabolismului), acidifierea solurilor și apelor etc.

După ultimele cercetări, contribuția majoră la efectul de seră este dată de emisiile de CO_2 (55%), urmate de metan (15%), compuși cloro-fluoro-carbon (17%), compuși hidrogeno-cloro-fluoro-carbon (7%) și compuși de azot (6%). Sectorul energetic, mai ales termocentralele clasice cu combustibili fosili, participă cu o pondere de cca 57% la producerea efectului de seră. Chiar dacă și centralele clasice românești sunt în curs de re tehnologizare vor rezulta încă importante cantități de noxe, alături de cele radioactive (radionuclizi naturali).

Energetica nucleară, după unele opinii, poate fi considerată o alternativă ecologică a energiei clasice, care, coroborată cu acțiuni eficiente de conservare a energiei și cu o politică rațională de împădurire, poate contribui la reducerea efectelor locale, regionale și globale de impact al energiei în general asupra mediului și omului.

5.5 Surse principale de contaminare a mediului.

5.5.1 Testele nucleare. Principala sursă de contaminare radioactivă a mediului a fost efectuarea numeroaselor teste cu diverse tipuri de arme nucleare (atomice, cu H sau termonucleare și cu neutroni), în diverse locuri: aer, apă, subteran. Era exploziilor nucleare a fost inaugurată de SUA în ziua de 16 iulie 1945 în deșertul Alamogordo (New Mexico), primul test având o putere de cca 19 kt. Au urmat cele două explozii nucleare de la Hiroshima și Nagasaki din Japonia, de la 6 și respectiv 9 august 1945 care au adus numeroase victime omenești (efectele lor nu au dispărut în totalitate nici azi) și distrugerii materiale.

Explozia unei arme nucleare eliberează în natură o gamă largă de produse de fisiune și de activare, precum și material nefisionat, care sunt transportate în straturile înalte ale atmosferei. O parte din radionuclizi revine în păturile inferioare ale atmosferei și, de aici, mult mai rapid, pe pământ, în decursul a câteva săptămâni de la explozie, iar altă parte rămâne în depozitul stratosferic ce înconjoară planeta. Radionuclizii sunt purtați de curenți eolieni și antrenați treptat spre sol, mai ales prin precipitații, în decurs de luni și ani, sub formă de căderi (depuneri) radioactive numite și *fall-out*.

În următorii 30 - 40 ani au avut loc peste 1000 teste nucleare (cu o putere totală de cca 370.000 kt) efectuate de SUA, fosta URSS, Anglia, Franța și China. Anul în care au avut loc cele mai multe teste nucleare a fost 1962. Prezența produșilor de fisiune, în special a celor de viață lungă (Sr-90 și Cs-137) a scăzut destul de mult după 1963. Inventarul Sr-90 în stratosferă (în urma experiențelor nucleare efectuate în aer) se ridică în 1964 la cca $5 \cdot 10^{17}$ Bq. În urma experiențelor efectuate de URSS și SUA, emisfera nordică era de cca 3 ori mai contaminată decât cea sudică. Pe pământ s-au depus și cca 3 tone de Pu-239.

O.N.U. a urmărit permanent să frâneze cursa înarmărilor, constituind un for pentru tratativele privind dezarmarea nucleară și a promovat studii despre efectele nocive ale armelor nucleare, chimice și biologice. Ca rezultat al activității complexe din acest domeniu, s-au luat câteva măsuri prin tratatele încheiate: Tratatul din 1963 (Moscova) privind interzicerea experiențelor cu arme nucleare în atmosferă, în spațiul extraatmosferic și sub apă; Tratatul privind spațiul extratmosferic din 1966 care exclude armele nucleare din acest spațiu și interzice revendicările de suveranitate națională în cosmos; Tratatul de neproliferare a armelor nucleare din 1968 care obligă puterile semnatare să nu transfere arme altor state. Cu toate aceste tratate, Franța și China nefiind semnatare ale tratatului din 1963, au continuat efectuarea de teste nucleare atmosferice. În ceea ce privește testele nucleare subterane, acestea au continuat, inclusiv de către India, asemenea teste fiind contaminante local.

Radionuclizii, din depunerile radioactive, pot fi inhalați sau ingerați odată cu hrana (pătrunzând cu ușurință în toate lanțurile trofice acvatice sau terestre), ceea ce a dus la realizarea unei doze de iradiere de cca $80 \mu\text{Sv/an}$, în perioada anilor cu cele mai multe teste

nucleare și a scăzut, în prezent, de peste 8 - 10 ori.

5.4.2 Reactorii nucleari. În condiții de funcționare normală, un reactor nuclear energetic, de cercetare, de propulsie etc., deversează în mediu cantități reduse de radionuclizi: în aer (gaze nobile; Xe-133, Kr-85, alături de I-131) și în apă Sr-90, Cs-137 și eventual H-3 (în cazul reactorilor CANDU). Uzinele de reprocessare (tratate) a combustibilului nuclear uzat, unde se separă produsele de fisiune și se recuperează atât Pu-239 cât și U-238 și U-235, sunt de asemenea contaminante ale mediului înconjurător. Se are în vedere radioactivitatea mare cu care se lucrează, cât și faptul că o serie de radionuclizi rezultați sunt foarte volatili (I-131) și scapă cu ușurință controlului omului. O altă sursă de contaminare o constituie și deșeurile rezultate de la aceste uzine, care se depun în containere speciale și apoi se depozitează în locuri special amenajate. Sunt multe state (Anglia, URSS) care au deversat cantități impresionante de deșeuri radioactive în mări sau oceane.

5.5.3 Unitățile nucleare din cercetare, medicină și alte domenii cu activități nucleare poluează destul de puțin mediul înconjurător, mai ales apele de suprafață, având în vedere că acestea, încă de la intrare în funcțiune, sunt prevăzute cu bazine de decantare a materialelor radioactive.

5.6 Deșeurile radioactive sunt substanțe radioactive, neutilizabile, provenite din activități nucleare, cu concentrații radioactive mai mari decât limitele permise pentru eliminare în mediul înconjurător. Având în vedere că sunt materiale radioactive, aceste deșeuri trebuie gestionate, manevrate și tratate cu toate măsurile de securitate nucleară, radioprotecție și administrative specifice.

Deșeurile radioactive pot proveni de la obiective sau unități nucleare autorizate pentru a desfășura activități nucleare, precum: centrale nucleare electrice, reactori de cercetare, exploatarea miniere, spitale, universități etc., din aplicații ale radiațiilor, în condiții de exploatare normală sau accidente. Materialele radioactive naturale, roci, ape de zăcămint sau de suprafață și altele, care nu provin din activități autorizate, nu intră în categoria deșeurilor radioactive.

Cantitățile de deșeuri radioactive, estimate teoretic și experimental ca activitate, masă și volum sunt cu ordine de mărime mai mari ca cele ale materialelor radioactive utile, de care au fost

separate. Astfel, la exploatarea unui reactor nuclear cu combustibilul format din uraniu natural, încărcat inițial cu cca $3 \cdot 10^{10}$ Bq apar, prin fisiune, după numai un an de la exploatare, peste 10^{16} Bq ai diversilor radionuclizi din combustibilul ars.

Deșeurile radioactive constituie 90% din totalul materialelor radioactive utilizate în domeniul nuclear; în consecință, o mare parte din costurile de exploatare, precauții și măsuri de radioprotecție sunt destinate confinării (înglobării), ecranării, colectării, tratării, transportului și depozitării deșeurilor radioactive.

Clasificarea deșeurilor radioactive [12] se face în funcție de conținutul radioactiv și debitul expunerii, starea de agregare și modul de tratare. Astfel, deșeurile radioactive pot fi împărțite în:

- deșeuri radioactive de joasă activitate, sunt cele care au activitatea specifică cuprinsă între conținutul maxim admis și 10^7 Bq/m³, debitul expunerii în ambalaje de transfer nu depășește 2 mGy/h. Colectarea, transportul și tratarea se execută fără utilaje ecranate. Aceste deșeuri sunt constituite din hârtie, îmbrăcăminte, echipament de laborator etc., utilizate în locurile unde se manipulează materiale radioactive.

- deșeuri radioactive de activitate medie, au activitate specifică cuprinsă între 10^7 Bq/m³ și 10^{14} Bq/m³, iar debitul expunerii în ambalaje depășește 2 mGy/h. Colectarea, transportul și tratarea se face cu mijloace de lucru ecranate, telecomandate sau în incinte cu acces limitat de timp. Deșeurile din această categorie sunt constituite din rășini schimbătoare de ioni sau alte materiale, folosite pentru reținerea gazelor și lichidelor înainte de a fi deversate în mediu, măturile care se acumulează în bazinele de "răcire", unde se stochează combustibilul nuclear uzat, cu radioactivitate foarte mare, înainte de reprocesare.

- deșeurile radioactive cu activitate înaltă, au activitate specifică mai mare de 10^{14} Bq/m³ și emisia de radiații produce încălzirea lor, ceea ce necesită condiții speciale de colectare, transport și tratare. Sunt constituite din deșeurile rezultate după reprocesarea combustibilului nuclear ars, fiind formate din radionuclizii de fisiune, activare și din actinide.

În funcție de starea lor de agregare, deșeurile radioactive se clasifică în solide (combustibile, necombustibile, speciale), lichide (diluabile, precipitabile, evaporabile, speciale) și gazoase (diluabile, filtrabile, speciale).

În țara noastră, deșeurile radioactive, de joasă și medie

activitate, de la unitățile nucleare din medicina nucleară, cercetare, gamma defectoscopie etc., sunt colectate, transportate și tratate de către Stația de Tratare a Deșeurilor Radioactive din Institutul de Fizică Atomică București, iar containerele speciale sunt stocate în depozitul de deșeuri radioactive de la Băița din Munții Apuseni.

Dacă deșeurile cu activitate mică nu pun prea multe probleme utilizatorilor de reactori nucleari (acestea fiind cu ușurință încapsulate și depozitate), în schimb deșeurile cu activitate medie (încorporate în materiale inerte ca beton, bitum sau rășini) pun probleme de stocare temporară în mare sau subteran. Deșeurile cu activitate mare pun probleme deosebite datorită energiei ridicate degajate. Acestea sunt înglobate prin vitrifiere în blocuri (containere) de sticlă, care sunt stocate pentru mai multe decenii, pentru a permite răcirea lor înaintea stocării permanente în locuri controlate continuu, pentru a putea interveni dacă apar scurgeri în pânza de apă freatică. Stocarea permanentă a deșeurilor radioactive se recomandă a se realiza în soluri argiloase (argila are o capacitate mare de adsorbție a radionuclizilor iar viteza de penetrare a apelor subterane prin argilă este foarte mică). Îngroparea containerelor conținând deșeuri cu activitate ridicată se poate face în mine dezafectate sau în cavități subterane special construite, în prealabil fiind efectuate diverse studii geologice și seismologice. În toate cazurile de stocare, după ce deșeurile au fost încapsulate și izolate, există totuși o serie de procese fizice, care sunt luate în calcul și care ar putea duce la scurgeri de radionuclizi și, de aici, deșeurile să ajungă, prin transfer, la om. Astfel, în cazul stocării unor deșeuri cu activitate ridicată, este aproape sigur că, după o foarte lungă perioadă de timp (milioane de ani pentru stocarea în adâncime), radionuclizii vor fi aduși la suprafață de apele subterane. Apare necesitatea obținerii unei imagini complete a riscurilor potențiale a stocării deșeurilor radioactive de orice activitate, prin luarea în calcul a întregului spectru de mecanisme potențiale de contaminare a mediului, să fie cunoscute probabilitățile de apariție ca și consecințele într-o astfel de situație. În prezent, riscurile pentru populație, în ceea ce privește stocarea deșeurilor cu radioactivitate mică, chiar și a celor cu radioactivitate medie, sunt reduse. În toate țările, care au dezvoltat programe nucleare, se desfășoară încă cercetări asupra metodelor posibile de lichidare a deșeurilor cu activitate mare. În afară de stocarea în diverse formațiuni geologice, se mai are în vedere și amplasarea sub fundul adânc al oceanelor (sub 5.000 m, în special

în Oceanul Atlantic - studii efectuate de Marea Britanie).

5.7 Supravegherea contaminării radioactive a factorilor de mediu, alimentelor și omului în România.

Supravegherea și controlul contaminării radioactive a factorilor de mediu, alimentelor și omului se realizează:

- dinamic, prin urmărirea migrării în mediu și în lanțurile trofice a noxei radioactive, utilizând, mai ales, diverși bioindicatori de poluare radioactivă;

- static, prin determinări ale conținutului radioactiv din probe de mediu, apă potabilă și alimente, recoltate din puncte fixe;

- informațional, prin corelarea valorilor transmise de diverse unități specializate, participante la programul de supraveghere.

Identificarea și determinarea noxei radioactive se face prin măsurări globale (mai ales pentru radionuclizii emițători de radiații alfa și beta), măsurări spectrometrice (pentru radionuclizii emițători de radiații gamma), analize radiochimice (pentru Sr-90) etc. Pentru o evaluare cât mai corectă a conținutului radioactiv al unei probe, se utilizează metode de lucru unanim acceptate de laboratoarele de specialitate. În acest sens, au fost publicate metodologiile de lucru de către specialiștii din Ministerul Sănătății, Institutul de Fizică Atomică și din Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului sau au fost realizate intercomparări naționale și internaționale asupra metodelor de măsurare pentru anumiți radionuclizi.

Metodele de determinare a conținutului radioactiv al factorilor de mediu, apei potabile și alimentelor, precum și a contaminării omului sunt prezentate în Anexa 2.

În România, activitatea de supraveghere a nivelului de contaminare radioactivă a factorilor de mediu, alimentelor și omului [7] se realizează încă din anii '60 în mod organizat de către:

- Rețeaua Națională de Supraveghere a Radioactivității Mediului (47 laboratoare de monitorizare, răspândite pe tot teritoriul țării astfel: în fiecare județ câte un laborator, două laboratoare speciale în zonele de influență ale CNE Cernavodă și respectiv Koziodui (Bulgaria) la Bechet, două laboratoare de altitudine (Babele și Toaca), unul în Delta Dunării și un laborator central de referință - Laboratorul de Radioactivitate a Mediului în București) care aparține Ministerului Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului;

- Rețeaua Laboratoarelor de Igienă Radiațiilor (21 laboratoare, dintre care 4 aparțin Institutelor de Igienă și Sănătate Publică București, Iași, Cluj și Timișoara, iar celelalte aparțin unor

Inspectorate de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă județene) subordonate Ministerului Sănătății;

- Laboratoare departamentale de specialitate din: Institutul de Fizică Atomică București-Măgurele, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, Institutul de Cercetări pentru Metale Rare (Departamentul Minelor și Geologiei), Institutul Român de Cercetări Marine Constanța, Ministerul Apărării Naționale, Ministerul Industriei Alimentare, Ministerul Agriculturii etc.

În anul 1978 a fost organizată Expediția științifică a țărilor CAER interesate pentru studiul radioactivității fluviului Dunărea, la care au participat URSS, Bulgaria, Ungaria, Cehoslovacia și România ca țară organizatoare. Expediția a stabilit nivelul de contaminare radioactivă a apei, sedimentului și hidrobionților - nivel față de care s-au raportat ulterior toate cercetările privind supravegherea radioactivității fluviului Dunărea [8].

Capitolul 6

ACCIDENTE NUCLEARE

6.1 Generalități. Surse majore de contaminare radioactivă a mediului, implicit a omului, care s-au dovedit a fi destul de grave, sunt date de:

- defectarea uneia sau mai multor componente ale reactorului nuclear, ale instalației în care se produc sau se separă diverși radionuclizi;

- revenirea pe sol și deci scăparea de sub control a unor sateliți purtători de mici reactori nucleari;

- testele nucleare;

- pierderi de surse puternice de radiații etc.

După descoperirea fisiunii nucleare din 1939 în Germania, în anul 1942 Enrico Fermi reușește punerea în funcțiune a primului reactor nuclear (faimosul "Chicago Pile Nr.1") în SUA. Se demonstrează astfel posibilitatea practică de stăpânire a unei surse majore de energie, nemaîntâlnită în istoria omenirii. Din păcate, această utilizare are loc în timpul unui război mondial, ceea ce face ca aplicația propriu-zisă de stăpânire a reacției de fisiune, să fie utilizată mai întâi în scop militar. Președintele SUA, în urma celebrei scrisori a marelui fizician Albert Einstein, aprobă programul și fondurile necesare pentru fabricarea noii și teribilei bombe atomice, necesară opririi celui de al doilea război mondial. A urmat primul test nuclear din iulie 1945 în deșertul Alamogordo din New Mexico și cele două atacuri cu arme nucleare din luna august a aceluiași an asupra orașelor Hiroshima și Nagasaki.

În reactorii nucleari se produc cele mai însemnate cantități de radionuclizi artificiali, atât prin activare cât și prin fisiune. Din punct de vedere al puterii, dar și al impactului cu mediul înconjurător, reactorii se împart în reactori nucleari experimentali (de cercetare) - reactori cu putere mică (până la zeci de MW) și reactori energetici (cu putere medie sau mare) de sute sau mii de MW. Influența primilor asupra mediului, atât la funcționare normală cât și la avarie, este mică. Reactorii energetici au, în funcționare normală, influență mică asupra mediului. În Marea Britanie, țară cu o industrie nucleară (civilă și militară) dezvoltată, deversările din instalațiile nucleare au o contribuție de 0,1% din doza totală (naturală - 87% și artificială - 13%, în care expunerea medicală a

populației reprezintă 11,5%). În caz de accident grav, reactorii pot avea, însă, influențe nefaste asupra mediului și populației.

În funcție de influența posibilă asupra mediului în caz de accident, reactorii energetici se împart în reactori cu anvelopă și fără anvelopă. Anvelopa este o construcție din beton armat, având pereți cu grosimea de 1 - 2 m, care constituie ultima barieră împotriva răspândirii radionuclizilor, în caz de accident; importanța anvelopei este subliniată de două accidente grave, care au avut loc în ultimii 15 ani. Primul, la un reactor anvelopat american, s-a soldat cu topirea zonei active, dar cu influență minimă asupra mediului și omului (Three Mile Island - SUA, martie 1979) iar al doilea la un reactor neanvelopat sovietic (Cernobâl - fosta URSS, aprilie 1986), dar cu influență catastrofală asupra mediului și populației umane. Influența celui de al doilea asupra mediului a fost mărită și de tipul moderatorului folosit (grafit - material care arde, în caz de accident).

Radionuclizii artificiali ajung în mediu, fie în mod intenționat (prin deversări din diverse instalații nucleare sau prin explozii nucleare atmosferice, mai puțin prin cele subterane sau subacvatice), fie accidental (în urma unor defecțiuni la instalațiile nucleare). Principalele accidente și activități cu influență asupra mediului, care au avut loc în 50 ani de când se poate spune că s-a inaugurat "era nucleară" sunt:

- iulie 1945, la New-Mexico - SUA, prima explozie nucleară;
- 6 și 9 august 1945, Hiroshima și Nagasaki - Japonia, atacuri cu arme nucleare (prima cu U-235, a doua cu Pu-239), cca 35 kt;

- 1948 - 1951, la Celiabinsk-65 - URSS, la instalațiile de producere a plutoniului au fost deversați 10^{17} Bq (2,7 milioane Ci) în pârâul Teka;

- decembrie 1952, la Chalk River - Canada, accident la un reactor soldat cu deversarea în apa de răcire a $3,7 \cdot 10^{14}$ Bq (10 000 Ci);

- octombrie 1957, la Windscale - Marea Britanie, accident la un reactor având ca moderator grafitul, soldat cu incendiu și emisii atmosferice de radionuclizi;

- decembrie 1957, la Kistim - URSS, la instalațiile de producere a plutoniului are loc o explozie a unui tanc cu deșeuri, urmată de împrăștierea în mediu a $7 \cdot 10^{17}$ Bq (20 milioane Ci);

- 1954 - 1963, în poligoanele de testare a armelor nucleare din URSS, SUA și din oceanul Pacific, program intens de explozii nucleare atmosferice (aproximativ 1000 teste);

- 1960 - 1990, în oceanele Atlantic, Pacific și în mările Barent și Kara, sunt aruncate deșeuri radioactive (lichide, solide, reactori nucleari cu sau fără combustibil etc.), cca $1,3 \cdot 10^{17}$ Bq (3,5 mil. Ci);

- 1965 - 1985. la Sellafield - Marea Britanie, la uzinele de reprocesare sunt deversate anual în Marea Irlandei, cca $3,7 \cdot 10^{15}$ Bq (100 000 Ci) de Cs-137;

- ianuarie 1976, la Palomares - Spania, un avion B-52 cu încărcătură nucleară suferă o ciocnire, rezultând împrăștierea în mediu a plutoniului de la două bombe cu hidrogen;

- 1976 - Canada, satelitul Cosmos 954 aparținând URSS, cu un reactor nuclear, cade și contaminează peste 100 000 km²;

- martie 1979. Three Miles Island - SUA, accident la un reactor nuclear energetic anvelopat:

- octombrie 1980. Lop Nor - China, ultima explozie nucleară atmosferică din emisfera nordică:

- aprilie 1986, Cernobâl - URSS, accident la reactorul nr.4, neanvelopat, moderat cu grafit și soldat cu explozie și incendiu, care au dus la împrăștierea în mediu a peste $3,7 \cdot 10^{17}$ Bq (10 mil. Ci) de radionuclizi ai Cs, Sr, I și ai altor elemente:

- septembrie 1987. Goiania - Brazilia, se pierde o sursă de Cs-137 pentru radioterapie: se contaminează masiv mai multe persoane, dintre care 3 au murit în câteva săptămâni.

- martie 1992. St. Petersburg - Rusia, accident la o centrală nucleară electrică.

- aprilie 1993. Tomsk - Rusia, explozia unui tanc cu deșeuri radioactive la o uzină de reprocesare a combustibilului nuclear ars.

Deși această listă poate părea mare, având în vedere numărul mare de reactori nucleari în funcțiune (în 1995 existau 430 reactori cu o putere instalată de 337 820 MWe), precum și faptul că este un domeniu industrial și militar relativ tânăr (deci cu necesități mari de testare), se consideră că influențele asupra mediului sunt încă puțin semnificative.

Asupra țării noastre au avut influențe testele nucleare atmosferice (depușurile radioactive din anii '60 fiind de mii de Bq/m².zi) și accidentul de la Cernobâl.

6.2 Accidentul de la Cernobâl. Având în vedere contaminarea radioactivă a mediului din țara noastră, precum și impactul asupra opiniei publice din România a accidentului de la Cernobâl, considerăm că nu ar fi lipsită de interes o scurtă prezentare a evenimentului din dimineața de 26 aprilie 1986 de la reactorul numărul 4 al centralei nucleare electrice ucrainiene [18].

Reactorii de la Cernobâl sunt cu uraniu slab îmbogățit (și

deci mare producător de plutoniu - material cu importanță strategică), având ca moderator o prismă de grafit și ca agent de răcire apa. Acești reactori sunt în întregime de construcție sovietică și au trecut prin toate fazele de proiectare și construcție tipice pentru un reactor de putere (reactor de putere zero, reactor experimental de zeci de MW, reactor energetic de sute de MW), așa încât personalul de exploatare cunoștea foarte bine acest tip de reactor și se considera că nu este posibil nici un fel de accident. Această convingere a dus la neglijarea grosolană, de către personalul de exploatare, a tuturor regulilor stabilite pentru funcționarea lui. Una din cele mai importante reguli, din punct de vedere a siguranței în exploatare, era interzicerea funcționării reactorului la o putere de sub 90% din puterea nominală (lucru necesar pentru acest tip de reactor, datorită coeficientului de reactivitate pozitiv, în caz de funcționare anormală). Neținând cont de aceste norme în exploatare și dorind să facă un experiment pentru verificarea funcționării turbinei în regim inerțial, personalul de exploatare a coborât puterea reactorului la 10% din puterea instalată (experimentul se desfășura în noaptea de 25 spre 26 aprilie). La aproximativ ora 1⁰⁰, datorită coeficientului de reactivitate pozitiv, reactorul a suferit o "excursie de putere" - o creștere rapidă a puterii de până la sute de mii de MW în numai 2 secunde. Aceasta a dus la creșterea mare a temperaturii zonei active și la imposibilitatea opririi reactorului (deși operatorul a dat drumul barelor pentru oprirea în caz de avarie - locașele de coborâre se deformată, datorită temperaturii ridicate). Au urmat, la interval de câteva secunde, două explozii succesive, explozii care au aruncat placa de beton de 1000 t aflată deasupra reactorului, cu rol de protecție, precum și cantități mari de combustibil nuclear încărcat cu radionuclizi de fisiune și moderator arzând, în curtea centralei. Primele victime au fost pompierii care au stins aceste focare de incendii. Moderatorul de grafit a luat foc și a ars cca două săptămâni, cu toate eforturile masive făcute de pompieri pentru stingere. În cursul exploziilor inițiale, precum și a îndelungatului incendiu, produși de fisiune, produși de activare, precum și părți ale combustibilului nuclear au ajuns în atmosferă și s-au depus nu numai în jurul centralei, ci în toată emisfera nordică. Desigur, cele mai afectate au fost regiunile din Ucraina, Belarus și Rusia. Poziția imediat următoare, în privința contaminării, o ocupă țările nordice (Norvegia, Suedia, Finlanda), deoarece direcția de deplasare a maselor de aer deasupra Europei, a fost în primele zile ale accidentului, spre nord și spre nord-vest. În zilele de 29, 30 aprilie și 1 mai 1986, direcția deplasării maselor de aer s-a schimbat

(predominând deplasările spre sud), fapt ce a dus la contaminarea atmosferei din țara noastră. Datorită precipitațiilor (în principal) și fenomenelor naturale de depunere uscată, radionuclizii din atmosferă au ajuns pe sol, intrând în celelalte componente ale mediului (apă, sol, biosferă).

Dacă se iau în discuție numai trei din accidentele menționate mai înainte, Windscale, Three Mile Island și Cernobâl, este bine să reamintim că la al doilea, contaminarea mediului a fost destul de redusă, datorită existenței celei de a treia bariere fizice de protecție - anvelopa (primele două fiind constituite din teaca combustibilului nuclear și din circuitul primar de răcire). Anvelopa reactorului (sistemul de anvelopare) cuprinde clădirea concepută să reziste și să asigure un grad ridicat de etanșeitate în cazul degajării accidentale a unei cantități mari de deșeuri radioactive.

La reactorul nr.2 de la CNE Three Mile Island, după datele prezentate de specialiștii americani, sistemul de anvelopare a reținut majoritatea emanațiilor radioactive, în exterior scăpând o cantitate redusă de gaze radioactive (Kr-85, Xe-133 și I-131) (Tabelul 6.1).

Comparând activitatea celor trei radionuclizi - produși de fisiune eliminați, în special la ultimele două centrale nucleare, apare evident rolul sistemului de anvelopare.

La 4 zile după accidentul din 26 aprilie 1986 de la Cernobâl, curenții eolieni au favorizat deplasarea unor mase de aer contaminat și deasupra țării noastre, ceea ce a făcut să crească radioactivitatea, în special a unor produși de fisiune, în aer, depuneri, vegetația spontană și cultivată, apoi și în organismele animale și deci în produsele obținute de la acestea (mai ales lapte).

Analizând global contaminarea mediului în România, produsă de acest accident, s-a constatat că unele zone ale țării au fost mai afectate decât altele. Cele mai mici valori s-au înregistrat în Câmpia de vest: un nivel de contaminare asemănător a fost raportat pentru estul Ungariei. Valori mari de contaminare s-au înregistrat în zonele muntoase și în podișul Transilvaniei, datorită coincidenței trecerii norului radioactiv cu prezența precipitațiilor în zonele respective. Cele mai mari valori ale radioactivității depunerilor atmosferice nu au depășit totuși 80 kBq/m^2 de Cs-137, ceea ce situează nivelul de contaminare din România sub cel înregistrat în unele zone din

Ucraina și Belarus, cu peste 200 kBq/m² sau din Suedia, cu peste 100 kBq/m². Aceste valori se referă, mai ales la radionuclidul Cs-137 din depunerile radioactive - considerat cel mai bun indicator pentru evaluarea globală a contaminării radioactive, după accident.

Tabelul 6.1 Situația comparativă a radionuclizilor eliminați în trei accidente nucleare; între paranteze este trecută fracțiunea eliberată în natură [17].

Locul	Anul	Anvelopă	GBq		
			I-131	Cs-137	Xe-133
Windscale	1957	Nu	7.10 ⁵ (0,4)	4.10 ⁴ (0,2)	10 ⁷ (1)
TMI - 2	1979	Da	700 (3.10 ⁻⁷)	0 (0)	4.10 ⁸ (0,08)
Cernobâl - 4	1986	Nu	10 ⁸ (0,2)	10 ⁷ (0,13)	10 ⁹ (1)

Prin spectrometrie gamma au fost decelați 21 radionuclizi, dintre care s-a dat o atenție deosebită următorilor: Te-132, I-131, Cs-134, Cs-137, Ru-103, Ce-141, Ce-144, Nb-95, Zr-95. La aceștia s-au adăugat Sr-89 și Sr-90, evidențiați numai prin analize radiochimice (separare chimică și apoi măsurare prin radiațiile beta emise). Dintre radionuclizii amintiți, Te-132 ($T_f = 3,25$ zile) și I-131 ($T_f = 8,1$ zile), au deținut cea mai mare pondere (75 - 85%). Datorită T_f relativ mic, aceștia au dispărut practic prin dezintegrare, după o lună, respectiv după cca două luni.

Comparativ cu anul 1985, an cu valori destul de reduse pentru radionuclizii artificiali din mediu datorati contaminării produse de testele nucleare, depunerile radioactive au fost în medie cu peste 3 ordine de mărime mai mari în anul 1986. A urmat o scădere rapidă în primele luni după accident, apoi scăderea a fost treptată, ajungând în 1993 cu mai puțin de un ordin de mărime peste media anului 1985.

Măsurările de radionuclizi din aerosolii atmosferici, depuneri, apa de suprafață, sol și vegetația spontană, efectuate cu multă acuratețe de specialiștii rețelei de supraveghere a Ministerului Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, au evidențiat ca zone cu concentrații scăzute: Timișoara - Oradea - Satu Mare, iar cu valorile cele mai ridicate localitățile: Parâng, Fundata, Babele, Ceahlău,

Tg. Mureș, Gheorghieni, Iași, Tulcea, Buzău, Sf.Gheorghe, precum și zona sudică a țării (București - Pitești - Tg. Jiu - Turnu Severin).

6.2.1 Contaminarea radioactivă a factorilor de mediu, alimentelor și omului post-Cernobâl.

Masa de aer contaminat (nor radioactiv) s-a deplasat de-a lungul unei traiectorii NE-SV și în același timp s-a dispersat, datorită turbulenței atmosferice, rezultând o creștere a dimensiunilor norului de-a lungul traiectoriei. S-a estimat o lărgime a norului cuprinsă între 90 și 180 km la intrarea în țară și între 180 și 240 km la ieșirea din țară. Repartiția verticală a concentrației poluanților la distanțe de peste 1000 km de o sursă se consideră uniformă între 0 și 1000 km înălțime.

Rezultatele măsurărilor arată că toate regiunile au fost afectate de norul radioactiv. Cele mai mici concentrații s-au înregistrat în Câmpia de Vest iar cele mai mari la stațiunile montane.

În aerosolii atmosferici, încă din ziua de 1 mai 1986, s-au atins valori destul de ridicate ale activității unor radionuclizi; peste 100 Bq/m² pentru I-131 și cca 60 Bq/m³ pentru Cs-137, în Ceahlău-Toaca. Aceste valori mari nu s-au menținut decât în primele zile ale lunii mai, astfel că spre sfârșitul lunii mai și începutul lunii iunie 1986 au scăzut de cca 1000 ori. Valorile de contaminare a aerosolilor au scăzut cu 5 ordine de mărime la începutul anului 1987, la cca 0.2 mBq/m³ la Tulcea. În anul 1993, valorile de contaminare cu Cs-137 a aerosolilor au scăzut foarte mult, ajungând la nivelul celor determinate în anul 1985. Se poate considera că în timpul accidentului nuclear de la Cernobâl nu a fost contaminată atmosfera înaltă, iar contaminarea aerosolilor decelată după luna mai 1986 este urmarea proceselor de antrenare și resuspensie a radionuclizilor odată cu particulele fine din sol.

Analizând global poluarea produsă de accidentul de la Cernobâl, se constată că unele zone au fost mai afectate decât altele. Cele mai mici valori s-au înregistrat în Câmpia de Vest, în bun acord cu măsurările raportate pentru estul Ungariei. Cele mai mari valori de contaminare a depunerilor s-au înregistrat în zonele muntoase și podișul Transilvaniei. Cele mai mari valori nu au depășit 80 kBq/m² Cs-137, situându-se sub cele înregistrate în zone din Ucraina, Belarus (peste 250 kBq/m²) sau Suedia (peste 100 kBq/m²).

În depunerile atmosferice au fost identificați aproximativ aceași radionuclizi: Mn-54, Zr-95, Nb-95, Mo-99, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Sb-125, Te-129m, I-131, Te-132, Cs-134, Cs-136, Cs-137, Ba-140, La-140, Ce-141, Ce-144, Pr-144, Nd-147, Eu-154, Eu-155, Np-239. Cele mai mari valori ale depunerilor radioactive s-au

înregistrat la Târgu Mureș, Ceahlău-Toaca, Sibiu, Parâng, Drobeta Turnu-Severin.

După accidentul de la Cernobâi, se constată o distribuție neomogenă la scara teritoriului României a poluanților radioactivi (Cs-134, Cs-137 etc.). Astfel, zona Câmpiei de vest (Timișoara - Oradea - Satu Mare) a fost (și continuă să fie) cea mai puțin poluată din punct de vedere al radioactivității artificiale.

Depunerile din anul 1986 au fost cu peste 3 ordine de mărime mai mari, comparativ cu perioada pre Cernobâl. În anii următori se constată o scădere a depunerii de Cs-137, ajungându-se pentru media anului 1993 cu mai puțin de un ordin de mărime mai mare decât în 1985. S-a estimat o depunere totală de Cs-137 datorată accidentului de la Cernobâl de 0,8 PBq pe teritoriul țării noastre, dar această estimare se bazează pe un număr relativ mic de stații de colectare a depunerilor și precipitațiilor atmosferice. De aceea, informațiile oferite de analiza probelor de sol, recoltate din mai multe puncte indică o valoare mai mare a depunerii totale de Cs-137 pe suprafața țării noastre.

În stratul de sol nelucrat sunt regăsiți majoritatea (90%) din radionuclizii decelați în factorii de mediu. Îndepărtarea radionuclizilor din stratul superficial de sol se face, în principal, prin migrare în straturile de adâncime, resuspensie în atmosferă sau transfer în vegetație. Distribuția concentrației radionuclizilor cu adâncimea este rezultatul proceselor fizico-chimice ce au loc în sistemul apă-sol. Determinarea radionuclidului Cs-137 în solul nelucrat a evidențiat valori medii de 400 Bq/kg de sol uscat în anul 1986 iar din 1990 a scăzut puțin sub 150 Bq/kg - valoare care se menține și în prezent. Timpul de ședere (remanență) a Cs-137 în sol este mult mai mare decât în atmosferă. Valori mari ale concentrației Cs-137 în sol s-au înregistrat la Ceahlău-Toaca, Târgu Mureș, Gheorghieni și Parâng. Contaminarea solului este extrem de neuniformă, fiind cuprinsă între 7 și 2050 Bq/kg uscat. Raportat la unitatea de suprafață, rezultă existența unor zone restrânse în care s-au depus până la 80 kBq/m² de Cs-137. Media concentrației Cs-137 pre-Cernobâl (anul 1985) din sol (0-30 cm adâncime) a fost estimată la cca 7 Bq/kg uscat. Într-o estimare făcută de specialiștii Laboratorului de Radioactivitate a Mediului din Ministerul Mediului, rezultă o valoare de cca 2.4 PBq (6.4% din totalul emis în mediu) de

Cs-137 depuși pe suprafața României, ca urmare a accidentului de la Cernobâl.

Ecosistemele acvatice au fost contaminate cu radionuclizi artificiali atât prin depunerea directă din mai 1986, cât și prin spălare din bazinele râurilor și fluviului Dunărea. Aceiași radionuclizi identificați în probele de aerosoli și depuneri au fost măsurați și în probele de apă. Datorită proceselor de transport specifice mediului acvatic, maximum concentrațiilor din apă s-a înregistrat cu 2-3 zile mai târziu decât în atmosferă. În anul 1986, concentrația Cs-137 în apa de suprafață a fost de cca 1000 de ori mai mare, comparativ cu perioada pre-Cernobâl și s-a datorat depunerii directe a radionuclidului pe suprafața apei. Evoluția post-Cernobâl este asemănătoare cu cea observată în probele de depuneri și aerosoli.

Concentrația medie a Cs-137 în apa de suprafață a fost de cca 50 mBq/l în anul 1986 și a scăzut sub 10 mBq încă din 1987. Valori mult mai ridicate ale concentrației Cs-137 au fost evidențiate în apa mării, cu valori medii de 250 mBq/l în anul 1986 și cu valori sub 75 mBq/l din 1987 dar care se mențin și în prezent la 10 - 20 mBq/l.

Concentrațiile Cs-137 în sediment au fost cuprinse între 3 și 2000 Bq/kg uscat, maxima înregistrându-se în sedimentul fin din lacul de acumulare Porțile de Fier. Sedimentul marin a avut valori cuprinse între 3 și 350 Bq/kg uscat. Maximele s-au măsurat în probe de sediment fin recoltate din Marea Neagră, din zona gurilor Dunării.

Organismele acvatice, recoltate din zona Deltei Dunării și din Marea Neagră au prezentat valori ale concentrației de Cs-137, în probe de moluște (din Marea Neagră), situate între 0,7 și 4,4 Bq/kg substanță proaspătă. În probele de pește marin, concentrația Cs-137 nu a depășit 50 Bq/kg substanță proaspătă.

În vegetația spontană au fost măsurate cantități importante de radionuclizi de fisiune și de activare proaspeți, mai ales în luna mai 1986. Datorită scăderii radioactivității depunerilor, vegetația s-a contaminat ulterior numai pe cale radiculară, fapt ce a condus la scăderea rapidă a concentrației diversilor radionuclizi în plante, ajungând în câțiva ani la situația existentă înainte de Cernobâl.

În cazul Cs-137, valorile din anul 1986 sunt de cca 1000 de ori mai mari decât cele din 1985. Domeniul de valori înregistrate la măsurările probelor de vegetație (mai ales iarbă) este cuprins între 30 și 12 000 Bq/kg uscat, pentru vegetația spontană și respectiv 2 la 500 Bq/kg, pentru boabe de grâu, indicând o variabilitate mare a valorilor măsurate. Scăderea din anii 1987-1993 este comparabilă cu

cea observată în probele de aerosoli, depuneri și apă.

În alimente, datorită nivelurilor de conținut radioactiv foarte reduse, de cele mai multe ori sub limitele de detecție ale aparaturii de măsurare, determinările efectuate înainte de 1986 sunt reduse și nu permit o evaluare riguroasă a situației pe țară. După accident, primele determinări au fost efectuate, încă din noaptea de 29 spre 30 aprilie 1986, asupra radioactivității apei potabile. S-a urmărit, în principal, conținutul radioactiv al I-131. Astfel, în municipiul București, de la niveluri nedetectabile la început, conținutul radioactiv în apa potabilă a depășit 17 Bq/l în ziua 1 mai 1986 și a atins un maxim de 29 Bq/l la 4 mai, după care a scăzut brusc în următoarele zile. Media pe țară, la I-131, a atins un maxim de 21 Bq/l la data de 3 mai, cu variații de la 23 Bq/l în municipiul București, la 3,7 Bq/l în zona județului Timiș.

La calculul dozelor, contribuția radioactivității apei potabile a fost nesemnificativă și ea s-a referit numai la iodul din primele zile ale lunii mai 1986. De altfel, chiar și radioactivitatea beta-globală a apei potabile, deja, începând cu luna octombrie 1986 s-a situat la valorile decelate înainte de accident, respectiv sub 0,2 Bq/l.

Laptele de consum, de la mării furnizori, a fost al doilea principal parametru urmărit. Conținutul în I-131 a atins un maxim de 1370 Bq/l, înainte de 10 mai 1986, urmat de un al doilea (mai redus), la aproximativ o săptămână. Desigur, au fost semnalate și valori izolate foarte mari, de regulă în laptele de oaie, atingând chiar 10 000 Bq/l. De semnalat că în intervalul 10 - 31 mai 1986, Ministerul Sănătății a introdus unele restricții atât în utilizarea laptelui, cât și a derivatelor de lapte. Conținutul maxim în I-131, aproximativ 3700 Bq/l, a fost realizat în decada 10 - 20 mai 1986, cu variații foarte mari de la un produs la altul. Cele mai mari valori au fost determinate în brânza burduf și în cașul de oaie, iar cele mai mici în unt.

Conținutul I-131 în legume, în aceeași perioadă, a fost de la 20 Bq/kg în fasolea verde, la 740 Bq/kg în spanac și în salata verde spălată (în produsele nespălate, valorile au fost de cca 3 ori mai mari).

Fructele au prezentat valori, în general, mai mici decât legumele, chiar și pentru căpșunile apărute după 20 mai 1986. Maximele de I-131 s-au situat în fructele de pădure (zmeură, afine).

Incorporarea de I-131 de către populația României, în perioada analizată, este cel mai bine reprezentată de conținutul radioactiv al meniurilor. În Tabelul 6.2 sunt prezentate valorile minime și maxime ale I-131 în meniu și tiroida omului, pe baza determinărilor realizate de Clinica de Radiobiologie Fundeni.

Tabelul 6.2 Valori ale I-131 în meniu și tiroidă, în zona limitrofă municipiului București [34].

Perioada	Meniu (Bq)	Concentrația în tiroidă (Bq)
1 - 5 mai	1 - 240	0 - 126
6 - 10 mai	240 - 580	217 - 606
11 - 15 mai	580 - 1110	778 - 1469
16 - 20 mai	440 - 940	1626 - 1919
21 - 25 mai	290 - 425	1670 - 1849
26 - 31 mai	120 - 270	1336 - 1609
1 - 10 iunie	41 - 118	1088 - 1257
11 - 20 iunie	28 - 39	817 - 1058
21 - 30 iunie	12 - 27	579 - 793
1 - 20 iulie	3 - 12	289 - 579

Pe măsura dispariției I-131 (prin dezintegrare), din iunie 1986, determinările au fost direcționate pentru măsurarea conținutului radioactiv în Cs-137 și Cs-134, ulterior și a Sr-90 (mai ales din 1987).

Conținutului Cs-137 și Cs-134 în laptele de vacă s-a situat la cca 40 Bq/l, iar în telemea, până la 100 Bq/kg, fiind mult mai ridicat, aproape de 500 Bq/kg în telemea de oaie. S-a constatat, apoi, o scădere puternică a radioactivității, în toate produsele, în semestrul I/87, comparativ cu semestrul II/86. În carne și derivate, valorile medii ale conținutului radionuclizilor Cs-134 și Cs-137 se situează sub 80 Bq/kg (Tabelul 6.3), aceleași valori reduse au fost determinate și în legume și fructe (Tabelul 6.4).

Tabelul 6.3 Conținutul Cs-134 și Cs-137 în carne și derivate (Bq/kg), în perioada iunie 1986 - iunie 1987 [34].

Produs	Cs-134			Cs-137		
	medie	min.	max.	medie	min.	max.
Carne porc	35	4	256	68	2	512
Carne vită	44	2	419	82	4	727
Carne ovine	25	3	198	60	7	228
Carne pasăre	11	5	83	26	6	223
Derivate din carne	24	3	115	61	8	513

Tabelul 6.4. Conținutul de Cs-134 și Cs-137 în legume și fructe (Bq/kg), în perioada iunie 1986 - iunie 1987 [34].

Produs	Cs-134			Cs-137		
	medie	min.	max.	medie	min.	max.
Cartofi	2	0,8	3	5	2	8
Legume verzi	19	-	-	33	-	-
Fructe	41	1,3	237	85	7	411

Conținutul Cs-137 și Sr-90 în alimente a scăzut foarte mult în anii următori accidentului (Tabelul 6.5 și 6.6).

Tabelul 6.5 Conținutul radioactiv de Cs-137 (Bq/l sau kg) în alimente, în perioada 1987 - 1991 [34].

Produsul	1987	1988	1989	1990	1991
Apă potabilă	0,05	0,009	0,002	0,007	0,001
Lapte	27,92	5,13	1,59	1,21	1,03
Derivate lapte	61,98	16,61	6,56	5,07	5,56
Carne	47,50	39,25	1,31	4,84	1,29
Derivate carne	23,19	19,15	-	-	-
Produse din cereale	42,16	12,15	2,51	1,41	1,01
Legume, zarzavaturi	45,15	13,66	4,11	2,73	2,61
Fructe	46,43	23,39	6,19	2,92	1,89
Mălai	27,15	4,88	0,78	1,85	1,80
MENIU	23,69	4,49	1,31	1,50	1,50

Tabelul 6.6 Conținutul radioactiv de Sr-90 (Bq/l sau kg) în alimente, în perioada 1987 - 1991 [34].

Produsul	1987	1988	1989	1990	1991
Apă potabilă	0,035	0,010	0,001	0,007	0,003
Lapte	0,439	0,338	0,143	0,195	0,335
Derivate lapte	0,749	0,763	0,366	0,221	0,192
Carne	0,465	0,250	0,234	0,244	0,100
Derivate carne	0,623	-	-	-	-
Produse din cereale	0,697	0,758	0,262	0,270	0,250
Legume, zarzavaturi	0,976	0,981	0,208	0,089	0,245
Fructe	-	0,509	0,235	0,710	-
Mălai	-	0,350	-	0,127	0,219
MENIU	2,304	0,230	0,209	0,189	0,424

În sinteză, dintre radionuclizii evidențiați, I-131 a prezentat cea mai mare activitate (cca 80%), urmat de Te-132 și Cs-137, Cs-134, Sr-89 și Sr-90, ușor metabolizabili de către organismele vegetale și animale. Dacă în primele 10 - 20 zile ale lunii mai s-a măsurat cu mare ușurință I-131, datorită radioactivității sale ridicate, mii de Bq/l sau kg de probă analizată, odată cu scăderea sa prin dezintegrare fizică, s-a putut acorda atenția cuvenită radionuclizilor cesiului și stronțului (aparatura dozimetrică, la momentul respectiv, nu era de performanțe ridicate și cu greu se puteau decela și alți radionuclizi gamma emițători cu detectorii de scintilație). Contaminarea alimentelor cu I-131 s-a menținut numai în lunile mai-iulie. În timp ce contaminarea cu Cs-137, Cs-134 și Sr-90 a fost prezentă, la valori din ce în ce mai scăzute, din 1987. Scăderea activității Cs-137 și Sr-90 în aer, apă și vegetație (metabolizarea acestor radionuclizi din sol este foarte redusă), a dus la reducerea nivelului de contaminare a organismelor animale, cu unul la două ordine de mărime. Astfel, radioactivitatea alimentelor, atât în produsele vegetale, cât și în cele de origine animală, a început să scadă rapid din 1987. S-a mai observat o ușoară creștere a activității Cs-137, Cs-134 și Sr-90 în produsele alimentare de origine animală, în iarna 1986-1987, ca urmare a folosirii furajelor (lucernă și fân) puternic contaminate, din prima coasă. Furajele din coasa a doua, alături de alte plante utilizate

în hrănirea animalelor domestice, au prezentat un nivel de contaminare mult mai redus (zeci de Bq/kg uscat). Din 1987, vegetația fiind din ce în ce mai puțin contaminată radioactiv, produsele de origine animală au prezentat, de asemenea, o contaminare mai redusă. După 1990, contaminarea organismelor vegetale și animale cu Cs-137 și Sr-90, a scăzut aproape la valorile existente înainte de accident, cu toate că nivelul de contaminare a solului cu radionuclizii respectivi se menține, încă, la valori apropiate de cele din anul accidentului.

În concluzie, radionuclizii măsurați au prezentat următoarea evoluție:

- **I-131.** Niveluri ridicate de contaminare cu I-131 au prezentat legumele frunzoase (spanac), laptele de vacă și mai ales cel de oaie (chiar 10 000 Bq/l). După unele calcule, omul a consumat zilnic, în sudul țării, mai ales în luna mai, până la 1000 Bq.

- **Cs-137.** În produsele alimentare, conținutul Cs-137 a devenit maxim abia în luna iunie, atingând valori de până la 500 Bq în produsele lactate. Nivelul de contaminare în carne și derivate a fost mai redus.

- **Sr-90.** Nivelul de contaminare al produselor alimentare cu Sr-90 a fost cu cel puțin un ordin de mărime mai scăzut, comparativ cu Cs-137.

Valorile concentrației radioactive a apei potabile și alimentelor din România sunt comparabile cu cele raportate în UNSCEAR 1988 de către țările din Europa centrală.

Contaminarea internă umană cu I-131 la nivelul tiroidei a prezentat o medie de 900 Bq, cu valori maxime de până la 1850 Bq, pentru populația din sudul țării. Pentru un grup de excursioniști români care au vizitat orașul Kiev în perioada 30 aprilie - 2 mai 1986 și s-au întors apoi cu trenul, s-a obținut o încărcare medie a tiroidei de 2416 Bq. În această perioadă de timp, s-a observat o variație mare a mediei zilnice, datorate atât variabilității individuale cât și selecției de grup.

Evaluarea încorporării Cs-137 în organismul întreg [34], pentru toate instalațiile folosite, a relevat medii ale loturilor studiate în intervale lunare sau chiar anuale astfel:

1986	1000...2000 Bq
1987	2000...3500 Bq

1988	800...1700 Bq
1989	500...1100 Bq
1990	300...500 Bq

Distribuția pe sexe și grupe de vârstă, a Cs-137, obținută pentru lotul măsurat la Bechet în 1988, a relevat valori mult mai mari (aproape duble) pentru bărbații din grupa de vârstă 30 - 50 ani, față de femeile din aceeași grupă de vârstă.

Valorile contaminării radioactive interne umane cu I-131, Cs-137, Cs-134 și Sr-90, evaluate pe cale indirectă, pe baza determinării activității radionuclizilor în hrana consumată, sunt prezentate în tabelul 6.2 și respectiv 6.7.

Tabelul 6.7 Evaluarea pe cale indirectă a concentrației Cs-137, Cs-134 și Sr-90 (numai în schelet), consecutiv ingerării de alimente contaminate (Bq/organism) [34].

Anul	Cs-137	Cs-134	Sr-90
1986	1535 - 20383	686 - 8703	30 - 100
1987	2335 - 12774	727 - 4894	18 - 57
1988	415 - 673	94 - 153	13 - 38
1989	106 - 198	18 - 33	12 - 34
1990	82 - 150	10 - 18	11 - 32
1991	60 - 119	5 - 10	10 - 30
1992	19 - 38	1 - 3	9 - 28
1993	9 - 17	-	9 - 28
1994	2 - 6	-	8 - 25

Pe baza determinărilor de radioactivitate a alimentelor sau a meniului, se poate considera că, în anul 1986, omul a consumat în medie, zilnic, între 100 și 500 Bq de I-131 (numai în lunile mai și iunie), cca 50 Bq Cs-137 și sub 2 Bq Sr-90. În organismul uman, evaluările directe sau indirecte, au evidențiat valori ale I-131 de mii de Bq în tiroidă - numai în lunile mai și iunie. Aceste valori sunt cu două-trei ordine de mărime mai mici în comparație cu doza pe care o primește omul în cazul unei iodocaptări, 750 kBq. Cs-137 s-a menținut între 1000 și 3500 și cu maxime de peste 10000 Bq în 1986 și 1987, după care a scăzut continuu, astfel că, în 1990, nu a mai putut fi decelat prin măsurări directe. Sr-90, prin evaluări indirecte, se consideră că s-a acumulat mai greu, dar se găsește și în prezent în sistemul osos. Dacă, inițial, Sr-90 era în organismul uman cu două ordine de mărime mai redus decât Cs-137, deci până la câteva sute de Bq, după 1989, a prezentat un nivel de contaminare mai ridicat decât Cs-137.

6.2.2 Măsuri de protecție. Principalele măsuri de protecție, recomandate de Ministerul Sănătății, s-au luat începând cu data de 2 mai și au constat în:

- controlul permanent al radioactivității artificiale a alimentelor și factorilor de mediu, realizat de cele 21 laboratoare de igiena radiațiilor, 39 stații de radioactivitate a mediului (existente atunci) și o serie de alte laboratoare specializate;

- interzicerea manifestărilor sportive din data de 2 mai;
- administrarea de iod stabil (KI) la copii, începând cu 3 mai;
- recomandarea de nu staționa în locuri deschise;
- spălarea abundentă a legumelor, zarzavaturilor și fructelor,

înainte de a fi consumate;

- restricții limitate impuse pentru consumarea unor produse lactate contaminate puternic cu I-131.

Dintre aspectele negative, semnalate în perioada imediat următoare accidentului, merită a fi amintite;

- administrarea de KI trebuia începută chiar după data de 1 mai, contaminarea masivă cu I-131 fiind deja stabilită încă din noaptea de 30 aprilie. Având în vedere că a fost de fapt o contaminare cronică a populației, pe cale inhalatorie, timp de cca 10 zile, administrarea iodului stabil a avut, totuși, un efect benefic: acesta fiind de 40-50% și nu de peste 90%, dacă s-ar fi dat încă din 30 mai.

- informarea tardivă și incompletă a populației asupra accidentului propriu-zis și a posibilelor efecte.

interdicție de a se publica lucrări de specialitate, în primul an după accident, ceea ce a făcut, ca în lucrările de sinteză internaționale, să apară foarte puține date referitoare la nivelul de contaminare din România.

6.2.3 Evaluarea dozei de iradiere post Cernobâl. Prezența I-131 în aer și în unele alimente a făcut ca doza de expunere echivalentă să fie mai ridicată pentru lunile mai (1,45 mSv), iunie (0,24 mSv) și iulie (0,09 mSv). Pentru anul 1986, se consideră că majoritatea populației țării noastre a primit o doză de expunere suplimentară de 1,30 -1,95 mSv (prima valoare se referă la populația urbană, care se presupune că a respectat o serie restricții în consumul de produse lactate, iar a doua se referă la populația rurală). După alți autori, prin recalcularea dozelor la mai mulți ani după accident, se consideră că populația țării noastre a primit cca 1 mSv pe un an de la accident, din care 0,82 mSv, pentru contaminarea internă și 0,18 mSv, datorită iradierii externe.

Valori relativ asemănătoare [18] au fost publicate și de către OMS și AIEA pentru o serie de țări din Europa:

- Finlanda	0,44 mSv	- Polonia	0,95 mSv
- Germania	0,5 - 1,1 mSv	- Elveția	1,3 mSv
- Italia	0,61 mSv		

6.2.4 Efecte asupra sănătății în urma expunerii suplimentare post-Cernobâl. Un studiu din 1989, al IISP București, a stabilit că incidența malformațiilor congenitale la copiii născuți în perioada 1 octombrie 1986 - 31 decembrie 1987 nu prezintă modificări semnificative față de grupul martor (1985) luat în studiu. Incidența diferitelor tipuri de malformații congenitale înregistrate în aceleleași perioade, de asemenea, nu variază semnificativ. Populația municipiului București, unde s-a efectuat studiul respectiv, a fost expusă în primul an după accident la o doză mai mică de 1 mSv, doză la care nu pot fi decelate efecte somatice, după datele din literatură. În 1994 a fost început un studiu privind mortalitatea prin leucemie la copiii de la 0 la 14 ani, înainte și post Cernobâl, cu următoarele prime concluzii: mortalitatea prin leucemie a crescut după 1986 la copii numai în județele Brăila, Botoșani, Olt și Satu-Marc; modelele de mortalitate analizate nu susțin ipoteza unei induceri radiogenice a leucemiei în trei din aceste județe (Brăila, Olt și Satu-Marc); sunt necesare studii analitice de incidență, pentru

stabilirea unei eventuale legături cauzale între leucemia la copii și contaminarea post-Cernobâl, numai în județul Botoșani.

Fără a nega posibilitatea creșterii incidenței în timp a unor afecțiuni maligne în țara noastră, trebuie subliniat că în teritoriile imediat învecinate cu CNE Cernobâl, efectele asupra sănătății populației sunt deja considerabile și unele studii recente au evidențiat această afirmație. Urmărirea incidenței cancerului tiroidian la copii în Belarus [34], în perioada 1986 - 1993, a arătat o creștere semnificativă, astfel: 2 cazuri în 1986, 2 cazuri în 1987, 3 cazuri în 1988, 6 cazuri în 1989, 31 cazuri în 1990, 55 cazuri în 1991, 67 cazuri în 1992. Mai mult de 50% din aceste cazuri au fost depistate în districtul Gomel, unde s-au primit și cele mai mari doze de expunere (OMS, 1993).

Există și la noi în țară preocupări privind studiul cancerului tiroidian la copii, dar observațiile de până acum nu arată o creștere semnificativă a incidenței acestui tip de cancer. Produsele alimentare și apa potabilă au fost analizate mai ales de rețeaua de supraveghere a Ministerului Sănătății, care a acordat o atenție deosebită radionuclizilor I-131, Cs-134, Cs-137 și Sr-90.

6.3. Accidentul de la Goiânia (Brazilia). În septembrie 1987, în orașul Goiânia din Brazilia, a avut loc un accident radiologic sever, clasificat imediat după cel de la Cernobâl, ca efect asupra omului, când a fost deschisă o sursă de Cs-137 cu activitatea de 5.10^{13} Bq. Sursa respectivă, utilizată pentru terapie, dar apoi abandonată în magazia unui spital, a atras interesul unor tineri, care, după deschidere, au constatat fenomenul de luminiscentă la praful de CsCl. Au fost contaminate puternic peste 250 persoane, dornice să admire luminiscenta prafului de cesiu radioactiv, dintre care, 4 persoane au făcut boală de iradiere și au decedat în prima lună după accident. Au fost luate măsuri pentru tratamentul afecțiunilor apărute și la alte persoane, precum și de decontaminare a zonei și de izolare a sursei.

6.4. Sistemul de evaluare a evenimentelor în CNE. În prezent, pentru evaluarea evenimentelor care apar în CNE, se utilizează sistemul de măsurare INES (International Nuclear Events Scale) (Tabelul 8.1), inițiat în 1990. Structurată pe 7 niveluri (anomalie la accident major), scara INES își propune să realizeze o comunicare adecvată între operatorii CNE și mass-media în cazul prezentării unor evenimente apărute în timpul exploatarei. Din 1990, au fost raportate 384 evenimente în 28 țări, majoritatea fiind anomalii și incidente.

PROTECȚIA CONTRA RADIAȚIILOR ȘI RADIONUCLIZILOR

După modul de iradiere a organismului uman, sursele de expunere se pot împărți în:

- surse externe, care produc iradierea din afara organismului,
- surse interne, date de radionuclizii care pot pătrunde în organism împreună cu aerul, apa sau alimentele cât și prin piele, și care se fixează la nivelul diverselor organe sau sisteme de organe, unde emit radiații și exercită iradierea celulelor vii.

Dacă se face referire la expunerea externă, într-o accepțiune restrânsă, reducerea efectelor nocive ale radiațiilor ionizante asupra materiei vii se realizează prin metode de radioprotecție, în timp ce reducerea concentrației radionuclizilor din organism se face prin metode de decontaminare.

Radioprotecția reprezintă totalitatea metodelor și mijloacelor de reducere a efectelor nocive ale radiațiilor ionizante, fie că sursa de iradiere se află în afara organismului (sursă externă), fie că este deja în organism (sursă internă).

După mijloacele pe care le utilizează, protecția împotriva efectelor nocive produse de radiațiile ionizante aflate în afara organismului, se poate grupa astfel:

- protecția fizică - se realizează prin mijloace de reducere a dozei de expunere, cum sunt: mărirea distanței, ecranarea, reducerea timpului de expunere și măsurile de organizare a lucrului cu surse de radiații în unitatea nucleară,

- protecția chimică - utilizează substanțe care administrate înainte sau după iradiere, duc la scăderea efectului nociv al radiațiilor,

- protecția biochimică - se realizează cu ajutorul unor preparate sau macromolecule biologice, care, administrate imediat după iradiere, reduc efectele nocive și ajută la refacerea celulară,

- protecția biologică - utilizează celule viabile, care se pot administra după iradiere și au ca principal efect restaurarea funcției hematopoetice.

În ceea ce privește contaminarea organismului uman cu diferiți radionuclizi, este mult mai ușor și cu un efect crescut, de a acționa printr-un control riguros asupra nivelului de contaminare a factorilor de mediu cu care omul vine în contact direct sau a

alimentelor pe care le consumă. Dacă totuși există riscul contaminării umane, atunci se poate interveni asupra radionuclizilor respectivi la poarta de intrare sau chiar la nivelul lichidelor interne, înainte ca aceștia să se fixeze, pentru reducerea nivelului de contaminare radioactivă prin metode de decontaminare, de decorporare sau prin diluție izotopică.

Metodele de protecție împotriva efectelor nocive ale radiațiilor ionizante, amintite mai sus, se referă mai ales la situațiile de iradiere cu surse aflate în afara organismului, în timp ce metodele de reducere a contaminării radioactive se referă la situațiile când radionuclizii se află în factori de mediu și alimente și pot contamina organismul uman.

7.1 Protecția fizică, cuprinde ansamblul de măsuri și mijloace capabile să reducă doza de expunere la o valoare cât mai redusă (de obicei sub doza maximă admisă pentru personalul expus profesional).

În numeroase situații de lucru cu surse radioactive, un mijloc de protecție eficace și totodată economic îl constituie distanța față de surse. Se cunoaște că radiațiile electromagnetice (radiațiile X și gamma) își reduc intensitatea în conformitate cu legea pătratului distanței dintre sursă și obiectul sau subiectul iradiat. Astfel, prin dublarea distanței dintre sursă și subiectul iradiat, doza primită se reduce la $1/4$ iar prin triplarea distanței doza se reduce la $1/9$. Protecția împotriva radiațiilor penetrante se poate realiza prin utilizarea unor instrumente simple (pensă, clește etc.) sau mai ales a diferitelor sisteme de telemanipulare (mâini mecanice), când se lucrează cu surse de mare activitate.

Scurtarea la minim a timpului de lucru cu surse radioactive duce la reducerea dozei de expunere. Pentru ca lucrul cu sursa de iradiere să se desfășoare în condiții bune și foarte rapid, este necesar ca activitatea cu sursa de iradiere să fie minuțios pregătită fără sursă. Întrucât doza de expunere reprezintă produsul dintre debitul dozei și timpul de expunere, reducerea dozei se poate realiza și prin diminuarea timpului de lucru cu sursă radioactivă. Timpul de lucru în unitățile nucleare, conform legislației în vigoare, este de 30 ore pe săptămână.

Un mijloc uzual și eficace de reducere a expunerii persoanelor care lucrează cu surse radioactive este ecranarea care duce la absorbția radiațiilor neutilizabile. Pentru ca ecranarea să fie cât mai eficace, trebuie să se țină seama de procesele interacției

radiațiilor cu materia, astfel ca radiațiile să cedeze materialului utilizat ca ecran energia în cantitate cât mai mare. Pentru radiațiile X și gamma, ca materiale atenuante se folosesc cele care au în componență elemente chimice cu număr atomic (Z) mare. De aceea, pentru ecranarea surselor de radiații X și gamma se utilizează cel mai frecvent plumbul. În cazul neutronilor se folosește parafina, apa, borul etc. Materialele care absorb cel mai puternic radiațiile beta (electronii) sunt acelea cu un procent mare de hidrogen, cum sunt: apa, bachelita sau plasticele de tipul lucitei, polietilenei sau plexiglasului. Se mai poate utiliza de asemenea și aluminiul. Parcursul radiațiilor beta este deci mult mai mic în aceste tipuri de materiale comparativ cu materialele care conțin elemente cu Z mare. La ecranarea radiațiilor beta trebuie ținut cont de faptul că prin interacțiunea acestor radiații (în special a celor cu energie de peste 1 MeV) cu elemente cu Z mare apare radiația de frânare (de natură electromagnetică). De cele mai multe ori, pentru ecranarea radiațiilor beta, se utilizează containere cu un strat de aluminiu dublat de un al doilea perete de plumb. Pentru atenuare, se folosește noțiunea de strat de înjumătățire, prin care se înțelege grosimea din materialul de atenuare care reduce la jumătate radiația incidentă.

Pentru lucrul cu surse deschise de radiații (soluții sau pulberi), se utilizează adesea ecrane speciale din plastic cu plumb, în spatele cărora se pot face diluții succesive ale radionuclizilor, fie cu mâini mecanice pentru activități mari ale radionuclizilor, fie cu mâinile protejate de mănuși din cauciuc subțire pentru evitarea contaminării radioactive.

Cele trei mijloace fizice de reducere a expunerii la radiații, distanța, timpul și ecranarea se pot combina în mod convenabil pentru a realiza o radioprotecție cu prețuri de cost scăzute.

Pe lângă mijloacele enumerate de protecție fizică, protecția împotriva radiațiilor ionizante mai necesită și respectarea unor cerințe de ordin legislativ, care limitează dreptul de lucru cu surse radioactive numai pentru persoanele cu calificarea necesară. La acestea se adugă anumite condiții de amplasare, construcție și instalare a surselor radioactive în cadrul unității nucleare.

7.2 Protecția chimică. Pe baza studiilor privind fenomenul de radioliză a apei și rolul radicalilor liberi, care apar în interacțiunea radiațiilor cu materia vie, s-a demonstrat capacitatea unor substanțe chimice de a diminua efectul nociv al radiațiilor. Din experiențele efectuate *in vitro* cu diferite substanțe chimice s-a

observat că cele care conțin sulf, prezintă o capacitate de protecție pentru sistemele biologice, în timp ce componentele biologice (mai ales enzimele), care conțin gruparea tiol, prezintă o radiosensibilitate mărită. Inactivarea enzimelor, sub acțiunea radiațiilor ionizante, se datorește oxidării grupărilor sulfhidrice, (-SH) în grupări disulfurice (-S-S-). Se consideră că în aceste zone, la nivelul macromoleculilor biologice, se pot localiza așa numitele leziuni chimice, care duc la o serie de dereglări metabolice. Se pare că substanțele radioprotectoare ecranează aceste zone sensibile, prin preluarea directă a energiei radiațiilor sau prin inactivarea radicalilor liberi, rezultați din radioliza apei. Experimental s-a demonstrat, totuși, că nu toate substanțele care conțin grupări sulfhidrice au proprietăți radioprotectoare.

Substanțele cu acțiune radioprotectoare chimică se pot împărți în trei grupe:

- compuși care conțin sulf; cisteina, glutationul, cisteamina, cistamina, gammafos etc.

- compuși cu acțiune farmacologică; inhibitori enzimatici specifici (oxidul de carbon, cianura de Na, malononitril) și hormoni (estradiol benzoat, ACTH - hormon corticotrop din hipofiză sau corticosuprarenală), stimulatori sau depresori ai sistemului nervos central (reserpina, clorpromazina, amfetamina, serotonina).

- metaboliți normali (fructoza, acidul piruvic, acidul formic acidul caprilic) și alte substanțe inerte (propilenglicol).

Toate substanțele enumerate, cu excepția hormonilor, și-au dovedit eficacitatea radioprotectoare numai în cazul administrării înaintea expunerii animalelor la radiații.

Un termen des utilizat, pentru estimarea efectului de protecție chimică, este factorul de reducere a dozei (FRD), care reprezintă raportul dintre dozele care produc aceeași mortalitate la lotul protejat și la cel neprotejat, iradiat în aceleași condiții. La animale de experiență, cel mai bun FRD a fost 2, iar după unii autori s-a ajuns chiar până la 4. Datorită toxicității relativ ridicate a substanțelor radioprotectoare, administrarea lor în doze eficiente la om nu este posibilă. Pentru creșterea eficacității radioprotectoare, s-a încercat administrarea concomitentă a mai multor radioprotectori cu mecanisme de acțiune diferite. Printre altele, s-a utilizat asocierea cistaminei (cu grupări SH) cu amino-etil-izotiouroni (AET) care scade tensiunea intracelulară a oxigenului.

Ca efecte semnalate după administrarea de radioprotectori

chimici la animalele de experiență expuse la diverse doze de radiații, pot fi amintite: împiedicarea scăderii accentuate a numărului de leucocite și a neutrofilelor din sânge, a celulelor mieloide din măduva roșie, reducerea perioadei de sterilitate la masculii iradiazți, scăderea semnificativă a leziunilor cromozomiale. Chiar dacă radioprotectorii chimici sunt relativ toxici pentru organismul viu, eficacitatea lor bună este condiționată de administrarea acestora cu puțin timp înainte de expunerea la radiații.

7.3 Protecția biochimică. Având în vedere că cele mai frecvente probleme sunt cu expunerile accidentale (neprevăzute) la radiații, s-au căutat remedii cu efecte terapeutice. S-a încercat utilizarea extractelor tisulare, omogenatelor de organe, plasmă sau sânge integral, cu unele rezultate, dar fără a constitui mijloace sigure de tratament. S-a observat, totuși, că efectul terapeutic al acestor produse este proporțional cu conținutul în acizi nucleici. Efectul radioprotector al extractelor respective se reduce, până la dispariție, dacă au fost tratate cu ADN-ază.

7.4 Protecția biologică cu celule viabile, numită și citoprotecție, s-a dovedit a fi cea mai eficace, dintre mijloacele de protecție utilizate până în prezent. Radioprotecția biologică are avantajul că are un efect bun, mai ales după expunerea organismului la radiații, prezentând un caracter terapeutic de mare importanță. Apar, totuși, dificultăți de utilizare, legate de troficitatea și viabilitatea celulară, de raporturi imunogenice între primitor și celulele administrate (imunocompatibilitate) etc. În tratamentul bolii de iradiere - evidențiazabilă ușor la doze mari de expunere la radiații a organismului uman, eficacitatea cea mai ridicată a prezentat-o măduva autologă. Rezultate, relativ bune, s-au obținut la doze subletale. Pentru măduva heterologă, cu cât deosebirea antigenică între grefă și gazdă este mai mare, cu atât evoluția clinică este mai gravă. Cât privește perioada optimă de administrare a celulelor medulare, în urma intervenției asupra persoanelor supraexpuse în timpul accidentului de la Cernobâl, s-a stabilit că aceasta este recomandabil să se facă în cel mai scurt timp de la expunere. Pentru tratarea sindromului gastrointestinal, în cazul bolii de iradiere, este bine să se evite infecțiile prin administrarea de antibiotice cu spectru larg de acțiune, completată cu corectarea balanței de fluide și electroliți, prin administrarea de soluții perfuzabile de aminoacizi.

7.5 Decontaminarea radioactivă. Contaminarea radioactivă reprezintă depunerea accidentală a radionuclizilor pe tegument (contaminare externă) sau pătrunderea radionuclizilor în organism prin inhalare, ingestie sau prin piele (contaminare internă).

7.5.1 Decontaminarea pielii sau a plăgilor ușoare se poate face prin spălarea cu apă și săpun sau detergent obișnuit, respectiv detergent cationic, până când controlul dozimetric arată valori care se încadrează în limitele fondului natural de iradiere. Aceleași spălări, dar cu apă și ser fiziologic, este necesar să fie realizate și la nivelul gurii, nasului și eventual al ochilor. Cu cât cantitatea de radionuclid de la aceste porți de intrare este mai mică, cu atât va pătrunde mai puțin radionuclid în organism.

7.5.2 Eliminarea naturală. Radionuclizii pătrunși în organism, în marea majoritate a cazurilor, sunt eliminați din organismul uman în mod caracteristic, iar această eliminare se poate modela matematic. Căile de eliminare a radionuclizilor sunt: renală (prin urină), digestivă (fecale și salivă), pulmonară (aer expirat și secreții nazale) și tegumentară (transpirație). Eliminarea naturală depinde de numeroși factori biologici (vârstă, sex, organe sau sisteme de fixare etc.) și chimici (proprietăți chimice ale radionuclidului respectiv). Astfel, un radionuclid fixat în masa musculară, cum este cazul Cs-137, va fi eliminat mult mai rapid ($T_b = 50$ la 150 zile), față de Sr-90, care se fixează în sistemul osos (T_b de cca 7000 zile).

7.5.3 Eliminarea artificială, se poate realiza prin administrarea de medicamente și diverse substanțe chimice cu toxicitate redusă, care, influențând metabolismul unor elemente chimice, deci și al radionuclizilor respectivi, pot duce la o eliminare mai rapidă a lor din organism. Eliminarea provocată (artificială) a radionuclizilor din organismul uman se face, fie pentru scăderea rapidă a contaminării radioactive și deci reducerea expunerii la radiații a omului, fie pentru evidențierea unor niveluri de contaminare umană greu de decelat prin metodele obișnuite.

În decontaminarea radioactivă umană sunt necesare două strategii generale de tratament:

- reducerea absorbției și depunerii radionuclizilor în organism,

- sporirea eliminării radionuclizilor deja fixați.

Administrarea unor substanțe decontaminante digestive, în special când radionuclizii se mai află în tractul gastro-intestinal, duce la formarea unor combinații stabile și insolubile prin adsorbție sau

schimb ionic, urmată de eliminarea lor, mai ales prin fecale. Astfel acționează alginatul de sodiu și fosfatul de aluminiu ($AlPO_4$) sub formă de gel împotriva radionuclizilor Sr-89, Sr-90, Ra-226, Ra-228, Fe-55, Fe-59 și ferocianura ferică (Albastru de Prusia) împotriva contaminării cu radionuclizii Cs-134 și Cs-137. Eficacitatea de reducere a contaminării radioactive interne este relativ ridicată, până la 85% (chiar până la 95% în cazul Cs-137), dacă unul din produsele amintite este administrat în foarte scurt timp după contaminare (de la câteva minute la maxim 3 ore) și scade sub 50%, dacă produsul este administrat de la 3 la 8-10 ore de la contaminare. Administrarea produselor respective, la peste 24 ore de la contaminare, scade eficacitatea de decontaminare la mai puțin de 25%. Se mai pot utiliza sulfatul de magneziu și hidroxidul de aluminiu pentru reducerea absorbției intestinale a radionuclizilor din grupa alcalino-pământoaselor.

Tabelul 7.1 Substanțe utilizate în tratamentul contaminării radioactive umane [19, 22].

Nuclid	Radiație	Organ, sistem critic	Cale de contaminare	Tratament
Americiu	α, γ	os	I/R	DTPA
Californiu	α, γ, n	os	I/R	DTPA
Ceriu	β, γ	TGI, plămâni	I/TGI	DTPA
Cesiu	β, γ	corp întreg	I/P/TGI	Albastru de Prusia*
Curiu	α, γ, n	os	I/TGI	DTPA
Iod	β, γ	tiroidă	I/P/TGI	KI ^{***}
Plutoniu	α, γ	os	I/R	DTPA
Poloniu	α	plămâni	I	Dimercaprol
Stronțiu	β	os	I/TGI	$AlPO_4$
Tritiu	β	corp întreg	I/P/TGI	H ₂ O
Uraniu	α, γ	os	I/P/R	Bicarbonat de sodiu

I = inhalare, TGI = absorbție gastrointestinală,
P = absorbție cutanată, R = absorbție prin răni

*) În România, se utilizează produsul numit RADIGRAN (un amestec de alginat de sodiu, $AlPO_4$, Albastru de Prusia și alte ingrediente).

**) Se poate utiliza și percloratul de potasiu ($KClO_4$) pentru persoanele care fac alergie la iod.

Pentru cazuri speciale de accidente nucleare, s-a realizat în țara noastră produsul **radigran**, care reprezintă o mixtură de alginat de sodiu, fosfat de aluminiu, ferrocianură ferică și diverse ingrediente aromatice, sub formă de granule, ambalat în plicuri din staniol sau în cutiuțe din plastic (cca 20 g), care se administrează per oral înainte sau imediat după contaminarea cu produși de fisiune. În funcție de necesități, doza se poate repeta de trei ori pe zi, timp de o săptămână, fără efecte adverse.

Administrarea altor substanțe de tipul EDTA (etilen-diamino-tetra-acetic) sau săruri de zinc (cu toxicitate relativ redusă) sau de calciu ale acidului dietilen-triamino-penta-acetic (DTPA) acționează asupra radionuclizilor din grupa transuraniilor (Pu-239, Pu-240 etc.), actinidelor, lantanidelor și a ceriului radioactiv. Sărurile de DTPA, mai ales, acționează asupra radionuclizilor în mișcare, din lichidele interne (cu eficacitate relativ bună, 30 - 50%), dar și asupra radionuclizilor amintiți, deja fixați la nivelul unor organe sau sisteme de organe, însă cu randament destul de scăzut (sub 25%). Sărurile de DTPA, fixând radionuclizii în compuși stabili, se mai numesc și agenți chelatori, iar pentru faptul că îndepărtează radionuclizii, chiar și din organe, se mai numesc și substanțe decorporatoare. Având în vedere relativa toxicitate a sărurilor DTPA, durata tratamentului pentru a obține un efect decelabil și datorită faptului că, pentru a realiza un randament bun, acestea se administrează sub formă de soluții perfuzabile, dar numai sub control medical. Pentru îndepărtarea transuraniilor din aparatul respirator, se administrează DTPA-Zn sau Ca sub formă de aerosoli.

În cazul contaminării accidentale cu uraniu natural, se folosește perfuzia cu bicarbonat de sodiu 14% (în contaminarea prin inhalare și/sau ingestie) și perfuzia dublată de spălarea pielii (în contaminarea pe cale cutanată); perfuzia se face numai sub control medical.

Fixarea radionuclizilor în organele de elecție poate fi redusă și prin saturarea sângelui și a altor lichide interne cu compuși stabili ai unui anumit radionuclid, cât timp radionuclidul respectiv nu s-a fixat într-un anumit organ sau sistem de organe. Efectul care stă la baza acestei terapii este "diluția izotopică". Astfel, se administrează iod stabil, cca 100 mg la adult (mai ales sub formă de iodură de potasiu) pentru reducerea I-131. Efectul maxim (90%) de reducere a fixării I-131 în tiroidă se obține dacă KI se administrează înainte sau la scurt timp după o contaminare unică. În contaminarea cronică

(cazul persoanelor care lucrează la Centrele de Producție a Radionuclizilor sau în Laboratoarele de Medicină Nucleară), KI se poate administra și în timpul lucrului cu I-131. În cazul unor contaminări cu H-3, pentru reducerea fixării acestui radionuclid în organismul uman, se recomandă consumarea unor cantități mari de apă (cca 6 l/zi).

Metodele și mijloacele de reducere a contaminării radioactive interne, utilizate cât mai rapid, dacă este posibil chiar înainte de a intra într-o zonă puternic contaminată radioactiv (cazul personalului de intervenție în accident nuclear) pot reduce substanțial nivelul de contaminare radioactivă umană, implicit și doza de expunere la radiațiile emise de radionuclizii contaminanți. În cazul contaminărilor radioactive interne tardive posibilitatea mobilizării și eliminării radionuclizilor, deja fixați, scade considerabil.

Riscuri mari datorate radiațiilor ionizante pot apare în cazul unor erori de utilizare a:

- surselor de iradiere (diverse supraexpuneri ale personalului care utilizează asemenea surse în gamma-defectoscopii, iradieri medicale, iradieri de diverse metale, material biologic etc.),

- soluțiilor sau pulberilor radioactive (contaminarea personalului care lucrează la producerea de radionuclizi sau a celui care experimentează acești radionuclizi).

Accidentele nucleare la obiective mari (reactori energetici, uzine de reprocesare a combustibilului nuclear uzat) duc, de asemenea, la apariția supraexpunerii la radiații a personalului de intervenție sau, la contaminarea radioactivă, nu numai a personalului centralei sau a celui de intervenție, ci chiar a unui mare număr de persoane din populație. Acestor persoane trebuie să li se asigure un minim necesar de mijloace de radioprotecție individuală și/sau colectivă.

Capitolul 8

MANAGEMENTUL ACCIDENTULUI NUCLEAR ÎN ROMÂNIA

8.1 Generalități. Accidentul nuclear, conform definiției date în Normele Republicane de Securitate Nucleară, este evenimentul care afectează instalația nucleară și provoacă iradierea și/sau contaminarea populației și a mediului înconjurător peste limitele maxime admise.

Instalațiile și activitățile luate în considerație ca o sursă potențială de accident nuclear sunt: reactorii nucleari energetici, instalațiile din ciclul combustibilului nuclear, instalațiile de tratare a deșeurilor radioactive, transportul și depozitarea combustibilului nuclear sau deșeurilor radioactive, producerea, transportul, utilizarea și stocarea radionuclizilor folosiți în diferite domenii pentru activități productive, tratament, cercetare etc.

Centralele nucleare electrice, având în structură reactori nucleari de putere (500 - 1000 MW) și aparținând diferitelor filiere, constituie, așa cum au demonstrat accidentele nucleare de la Centrul militar de producere a plutoniului Windscale (Anglia - 1954), C.N.E. Three Miles Island (SUA - 1979) și în mod deosebit de la C.N.E. Cernobâl (fosta URSS - 1986), sursele potențiale cele mai periculoase de contaminare a mediului înconjurător și de expunere a populației în caz de accident nuclear. Scurgerile radioactive în atmosferă, într-un astfel de caz, sunt preluate de vânt, care transportă radionuclizii xenonului, kriptonului, iodului, cesiului etc., sub formă de aerosoli sau gaze. Norul radioactiv, datorită vântului, se deplasează în atmosferă, dar, în același timp, o parte din aerosoli și particule fine încărcate radioactiv se depun pe sol, ceea ce face ca radioactivitatea lui să descrească cu distanța. Cantități măsurabile de substanțe radioactive pot fi, totuși, depistate la distanțe foarte mari de amplasamentul centralei, cum a fost în cazul accidentului nuclear de la Cernobâl.

Sursele de expunere principale, care prezintă un risc major la accidentul nuclear pentru om, sunt:

- expunerea externă la radiațiile gamma emise de radionuclizii prezenți în norul radioactiv, precum și materialul depus pe sol și pe corp;

- expunerea internă la radiații, prin inhalarea substanțelor radioactive din aer;

- expunerea internă prin ingestia de alimentele și apă contaminate radioactiv.

În scopul asigurării protecției populației și a mediului, precum și a limitării efectelor în situația unui accident nuclear, proiectanții și conducerea obiectivelor nucleare, precum și autoritățile publice concep și realizează o serie de măsuri, care, în principiu, pot fi structurate în: măsuri de prevenire, măsuri de pregătire pentru situația de urgență și măsuri de protecție și intervenție.

8.2 Cadrul legal. Prezența unor centrale nucleare electrice în țările vecine a condus la necesitatea asigurării cadrului normativ pentru protecția și intervenția în caz de accident nuclear încă din anul 1975, când a fost elaborat și emis Decretul nr. 96. Potrivit acestui decret, în vederea coordonării, pregătirii și conducerii activității pe linie de accident nuclear, s-a organizat, sub egida Ministerului Apărării Naționale, Comandamentul Republican pentru Intervenție în caz de Accident Nuclear (CRIAN), constituit din reprezentanți ai conducerilor următoarelor autorități publice centrale: Ministerul Sănătății, Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, Ministerul de Interne, Ministerul Agriculturii și Alimentației, Regia Autonomă de Electricitate (RENEL), Ministerul Comunicațiilor, Ministerul Finanțelor, Ministerul Transporturilor, Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN), Institutul de Fizică Atomică (IFA).

CRIAN a asigurat coordonarea în domeniul accidentului nuclear și anume: organizarea sistemelor de supraveghere și control al radioactivității, elaborarea planurilor de protecție și intervenție la nivel național, pentru exteriorul amplasamentelor nucleare și avizarea planurilor de protecție și intervenție la nivelul județelor din zona de risc, controlul realizării atribuțiilor ce revin autorităților publice centrale și locale, informarea președintelui și guvernului, în caz de accident nuclear etc.

În conformitate cu Ordonanța Guvernului României privind apărarea împotriva dezastrelor, din august 1994, atribuțiile CRIAN au fost preluate de Comisia pentru Accident Nuclear și Căderi de Obiecte Cosmice (CANCOC). Secretariatul CANCOC este asigurat de Inspectoratul General al Apărării Civile din MAPN.

Problemele operative și curente ale CANCOC sunt rezolvate prin statul său major, format din specialiști numiți de către fiecare

membru al comisiei și care, în situație de accident, structurat pe grupe de coordonare, organizează și pregătește măsurile de intervenție la nivel național.

Potrivit Normelor Republicane de Securitate Nucleară privind planificarea, pregătirea și intervenția la accidente nucleare, responsabilitatea organizării și conducerii acțiunilor de pregătire și intervenție revine, pe amplasament - utilizatorului nuclear, la localități - primarilor, iar la nivelul județului - prefectului și Comisiei de apărare împotriva dezastrelor.

8.3. Măsuri de prevenire, de pregătire pentru situație de urgență, de protecție și intervenție. Intre măsurile de prevenire a accidentelor la centralele nucleare electrice, un rol important revine aplicării unor exigențe de proiectare și construcție, care să le confere un mare grad de siguranță în exploatare. Conceptul adoptat este cel al apărării în profunzime, prin mai multe bariere fizice împotriva produselor de fisiune - teaca elementelor combustibile, circuitul primar de răcire, sistemul de anvelopare, precum și existența sistemelor de securitate pentru oprirea rapidă, răcirea la avarie și preluarea căldurii reziduale, alături de alimentarea locală cu energie electrică a consumatorilor vitali. De asemenea, o contribuție de seamă pentru funcționarea în deplină siguranță a centralelor nucleare electrice o au tehnologiile avansate, utilizate pentru fabricarea echipamentelor, verificarea inițială și periodică a calității acestora, pregătirea și specializarea personalului operativ care asigură exploatarea, gradul înalt de automatizare și folosirea calculatoarelor de proces. Este de menționat faptul că, după executarea studiului de amplasament și luarea deciziei de construcție a unui obiectiv nuclear, în zona respectivă se realizează un studiu preoperațional, care, prin măsurarea radioactivității înainte de finalizarea instalației nucleare, oferă posibilitatea sesizării impactului asupra mediului și, indirect, asupra colectivităților umane, după intrarea în funcțiune.

Intre măsurile de pregătire pentru situații de urgență sunt incluse: elaborarea planurilor de protecție și intervenție pe amplasament și în exteriorul acestuia, stabilirea procedurilor de punere în practică a resurselor, antrenarea personalului și pregătirea populației.

În România, potrivit cadrului legal existent, nici un obiectiv nuclear nu este autorizat să funcționeze de către organul de

reglementare. Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN), fără existența unui plan de protecție și intervenție coerent și cu toate facilitățile necesare pentru aplicare.

Planul de protecție și intervenție se verifică prin exerciții practice până la intrarea în funcțiune a obiectivului. Totodată, prefectura, prin statul său major județean de apărare civilă, întocmește planul de protecție și intervenție la nivelul județului, care cuprinde în principal: zonele de planificare la urgență (ZPU) în jurul obiectivului nuclear pentru expunerea la norul radioactiv și pentru ingestia de apă și alimente contaminate radioactiv, responsabilitățile conducerii centralei nucleare și autorităților publice, nivelurile de intervenție și modul de activare a sistemului, fluxul informațiilor, măsurile de protecție și intervenție pe fiecare ZPU, forțele proprii cu care se intervine, cine conduce acțiunile și nivelul de decizie.

La nivel național, se elaborează de către CANCOC un plan propriu, care mai stabilește și responsabilitățile autorităților publice centrale, forțele cu care sprijină intervenția organelor județene.

O mare importanță în diminuarea urmărilor și luarea celor mai eficace măsuri de protecție și intervenție o are realizarea unei interacțiuni corecte între planul de protecție și intervenție pentru amplasamentul centralei și cel al autorităților publice, asigurarea unei informări operative și oneste despre situația creată și despre evenimentele care se pot aștepta în continuare, cu ajutorul unor mesaje de notificare pentru urgență nucleară etc. Aceste cerințe se transpun în practică rapid și corect numai în urma unei pregătiri adecvate a personalului, cu verificări periodice, inclusiv cu simularea unor incidente și situații de accident, care, în afara factorului uman, testează și validează procedurile întocmite pentru fiecare acțiune.

În exteriorul amplasamentului centralei nucleare electrice, odată întocmit planul de urgență la accidentul nuclear, se realizează activități care să acopere tot ansamblul problemelor, permițând, în situația dată, acțiunea eficientă a personalului cu atribuții de conducere, a sistemelor de alarmare, a tuturor forțelor de intervenție, cât și a populației, prin cunoașterea măsurilor de protecție și a

regulilor de comportare. Pentru pregătirea populației se fac filme, pliante special concepute, alte materiale ilustrative și informări difuzate prin mijloace audio-vizuale. La această activitate sunt chemați să participe efectiv și specialiștii din cadrul obiectivului nuclear, care pot contribui la mărirea încrederii cetățenilor din zonă în siguranța funcționării instalației nucleare, dar și la cunoașterea și realizarea celor mai utile măsuri de protecție.

Conducerea obiectivului nuclear are responsabilitatea exploatarei instalațiilor sale în situație normală, ca și în caz de accident. Ținând seama de consecințele care pot deriva dintr-o situație de funcționare anormală, conducerea centralei stabilește, în mod gradat, mai multe niveluri de intervenție sau clase pentru situații de urgență, ultima fiind cea de urgență generală (tabelul 8.1). Aceasta se introduce când s-au produs modificări și degradări ale zonei active a reactorului, care pot conduce la periclitarea securității și sănătății populației din zona limitrofă amplasamentului nuclear datorită, scăpărilor de substanțe radioactive în mediul înconjurător.

O dată cu semnalarea de către camera de comandă din centrală a unei situații de urgență și cu declararea ei de către autoritatea care are această responsabilitate, se pune în aplicare planul propriu de urgență, desfășurându-se, după caz, **măsurile de protecție și intervenție** în centrală care, în principal, cuprind:

- informarea și alertarea personalului cu atribuții de conducere și intervenție;
- informarea autorităților publice locale și centrale, potrivit procedurii;
- activarea Centrului de control al urgenței;
- executarea măsurărilor radioactivității pe amplasament și în exteriorul acestuia;
- alertarea și recenzarea angajaților, căutarea operatorilor răniți și acordarea primului ajutor;
- prognozarea zonelor posibil contaminate și calculul dozelor cauzate de scăpările radioactive, informarea autorităților publice;
- luarea măsurilor de remediere și aducerea instalațiilor în condiții de funcționare normală;

Tabelul 8.1 Sistemul de clasificare a urgențelor pentru o centrală nucleară electrică cu Scara Internațională a Evenimentelor Nucleare (I.N.E.S.)[34].

Niveiul pe scala INES	Criteriul	Influența în afara instalației	Urgența la centrală
7. Accident major	Contaminare exterioară de proporții cu material radioactiv. Efecte întinse asupra sănătății și mediului.	Afectarea generală și/sau pronunțată pe termen lung, constând în contaminarea mediului și riscuri de efecte acute asupra sănătății.	Urgență generală
6. Accident grav	Contaminare exterioară importantă cu material radioactiv.	Limitarea la consecințe care necesită inițierea/aplicarea completă a planului de intervenție	
5. Accident cu pericol în afara instalației	Contaminare exterioară cu material radioactiv. Defecțiune gravă la echipamentul centralei nucleare.	Limitarea la consecințe care necesită inițierea/aplicarea parțială a planului de intervenție.	
4. Accident fără pericol în afara instalației	Contaminare exterioară cu material radioactiv, dar radiația maximă este în limitele admise. Defecțiune importantă la echipamentul centralei. Expunere gravă pentru o parte a personalului centralei.	Nu sunt necesare măsuri deosebite de protecție, cu excepția stabilirii controlului produselor alimentare. Expunerea populației de ordinul limitelor admise.	Urgență externă
3. Incident grav	Contaminare exterioară foarte slabă cu material radioactiv, dar radiația maximă este sub limitele admise. Poluarea zonelor deschise și expunerea considerabilă pentru o parte a personalului centralei. Incident în care nefuncționarea unui sistem de securitate ar putea crea condiții de accident	Nu sunt necesare măsuri de protecție pentru populație.	
2. Incident	Contaminare localizată și expunere ușoară pentru o parte a personalului centralei. Cădere pe porțiuni a sistemului de securitate a centralei.		Urgență internă
1. Anomalie	Cădere în regimul de operare normală a centralei.		Alertă

- evaluarea dozelor de expunere în funcție de situația de urgență și evoluția previzibilă;
- informarea publicului despre starea instalațiilor și măsurile luate;
- asigurarea personalului tehnic și de coordonare pentru consultații cu organele de intervenție județene și naționale.

La aceste activități se adaugă măsurile de evaluare tehnică, de control acces în centrală și însoțire a unor echipe care vin din exterior, de prim ajutor medical, de decontaminare și intervenție la incendiu, dacă este cazul, și de evacuare a personalului care nu participă la intervenții.

În exteriorul amplasamentului, pe baza notificării transmise de conducerea centralei (*urgență externă*), organismul județean cu responsabilități în organizarea și conducerea aplicării măsurilor de protecție pentru populația din zona de risc - Comisia de apărare la dezaastre - își activează structurile proprii și formațiile de intervenție, în mod deosebit punctele de supraveghere și măsurare a radioactivității.

De îndată ce informațiile primite sunt confirmate de conducerea centralei că au avut loc scăpări importante de materiale radioactive în exterior (*urgență generală*) și sunt apreciate zonele posibil afectate, pe direcția vântului, se trece la aplicarea măsurilor de protecție care, în principal, sunt:

- înștiințarea și alarmarea populației despre pericolul contaminării radioactive. Înștiințarea se realizează prin posturile de radio locale, postul național de radio și televiziune, rețelele de radioficare din localități sau radioamplificare din societățile comerciale. Alarmarea se asigură pentru zona de planificare a urgenței în cazul expunerii la norul radioactiv, prin sirenele electrice, cu un semnal format din cinci impulsuri cu o durată totală de două minute;

- adăpostirea populației în locuințe sau în clădirile în care se găsesc. Aceste recomandări se transmit prin toate mijloacele la dispoziție. Scopul adăpostirii este de a reduce nivelul de expunere la radiații, care este de 5 ori în raport cu norul și de cca 20 ori în raport cu depunerile de radionuclizi din exterior. Pentru realizarea acestui lucru este necesar să se închidă ferestrele și ușile și să se întrerupă ventilația, ceea ce duce la diminuarea considerabilă a riscului contaminării radioactive a atmosferei din interior. Cu atât mai eficientă este, desigur, utilizarea adăposturilor special construite.

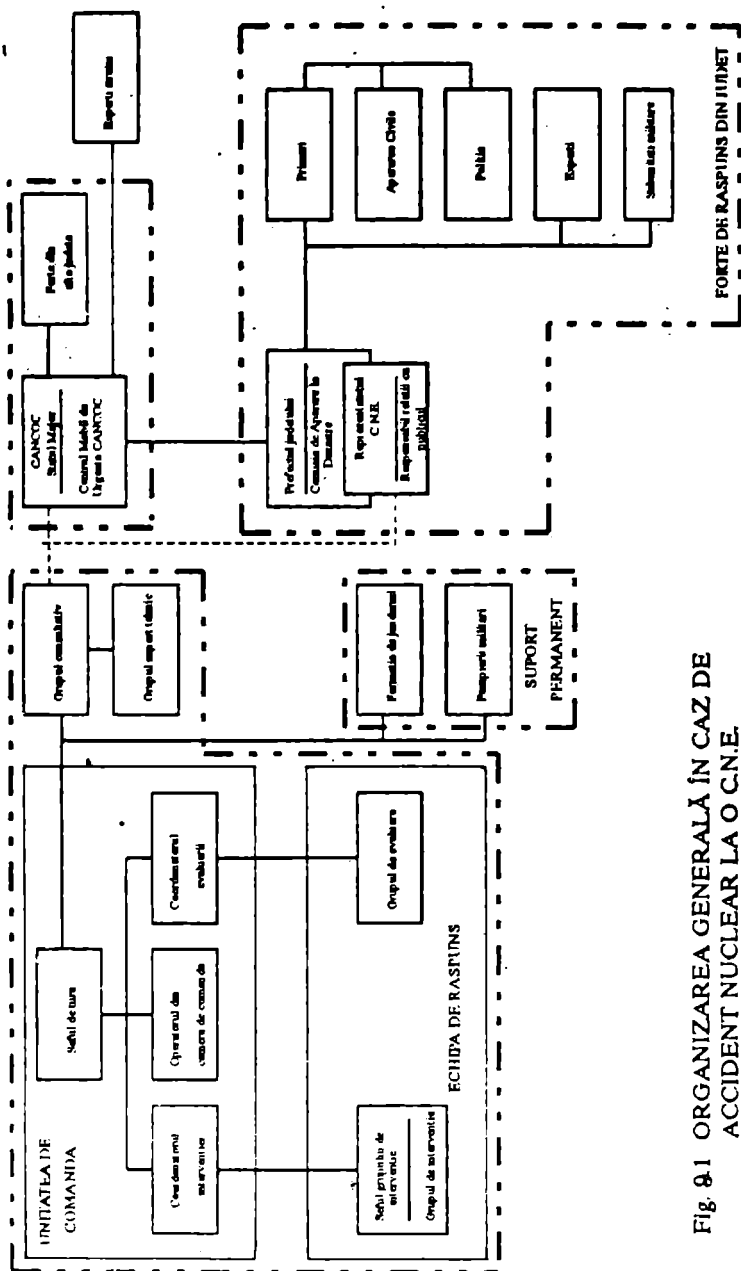


Fig. 8.1 ORGANIZAREA GENERALĂ ÎN CAZ DE ACCIDENT NUCLEAR LA O C.N.E.

- administrarea comprimatelor de iodură de potasiu, la recomandarea organelor sanitare. Administrarea iodului stabil, care face parte din profilaxia radiologică, urmărește să reducă doza de expunere a glandei tiroide datorită I-131, care este unul din radionuclizii critici în situația de accident nuclear. Cantitatea de iodură de potasiu în funcție de vârstă este între 30 și 130 mg. În sudul județului Dolj, având în vedere pericolul unui accident nuclear la centrala nucleară electrică Kozlodui din Bulgaria, mai ales la reactorii 1 - 4, cu efect transfrontieră, au fost redistribuite la populație sau stocate la unitățile sanitare din județ, cca 500.000 comprimate de KI, în anul 1992.

- evitarea consumului de produse lactate locale, legume și apă din zona contaminată fără avizul organelor sanitare dat pe baza măsurărilor de radioactivitate. Scopul acestor măsuri restrictive este de a evita contaminarea internă a organismului.

- evacuarea populației din zona de planificare a urgenței în cazul expunerii la norul radioactiv. Aceasta se realizează numai după ce autoritățile analizează împreună cu specialiștii în radioprotecție urmările dozelor estimate a se încasa, costurile sociale în condițiile date etc. Decizia respectivă va fi corelată cu sprijinul logistic al altor organe, pentru punere în aplicare. Acțiunea de evacuare se organizează și se execută sub coordonarea organelor de apărare civilă înainte sau după accidentul nuclear, în funcție de situația creată. Cetățenii care se autoevacuează vor ține seama de restricțiile stabilite de apărarea civilă și organele de poliție.

Măsurile de protecție enunțate sunt asociate cu acțiuni de intervenție, care permit o evaluare corectă a situației, limitarea urmărilor accidentului nuclear și readucerea în timp a zonei la condițiile inițiale. În această categorie de activități, realizate pe baza unor proceduri specifice, se includ printre altele:

- supravegherea și controlul radioactivității mediului înconjurător și alimentelor prin stațiile aparținând Agențiilor de Protecția Mediului din subordinea Ministerului Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, prin laboratoarele de igiena radiațiilor ale Ministerului Sănătății, cât și prin punctele de măsurare ale apărării civile și subunităților militare, atât cât permite aparatura din dotare, iar la valori depășite conform Anexei 5 (Tabelul 1 și 2) se trece la acțiuni concrete;

- controlul dozimetric și radiobiologic al persoanelor din forțele de intervenție și din populație se realizează prin dozimetria de grup și individuală, prin grupele de control dozimetric, respectiv cu ajutorul personalului medical din spitale și policlinici;

- acordarea asistenței medicale de urgență pentru personalul iradiat și/sau contaminat radioactiv la spitalele județene din afara

zonei contaminate radioactiv, Clinica de radiobiologie Fundeni a MAPN și alte spitale stabilite prin planul de protecție și intervenție. Primul ajutor dat în caz de accident nuclear trebuie să aibă caracter de urgență, chiar dacă există numai presupunerea unei expuneri sau contaminări radioactive. Actul chirurgical primează tratamentul expunerii sau contaminării radioactive, apărând astfel necesitatea salvării funcțiilor vitale ale persoanelor accidentate. Utilizarea, în cel mai scurt timp posibil, pentru personalul centralei sau cel de intervenție, a produselor decontaminante din trusa de prim ajutor specifică, duce la reducerea substanțială a nivelului de contaminare radioactivă (până la 80-90%). Cu toate că eficacitatea tratamentului de urgență poate fi uneori redusă, acesta trebuie să se realizeze, dacă este posibil, înainte de a evacua personalul accidentat în clinici de specialitate. Un aspect de o deosebită importanță printre măsurile de protecție îl constituie trierea personalului lezat, în funcție de doza de expunere primită și de severitatea leziunilor radioinduse și/sau leziunilor combinate (arsuri și leziuni radice), urmate de tratamentul specific. Acțiunea este foarte dificilă și depinde de corectitudinea informațiilor date de dozimetrele individuale purtate de echipele de intervenție;

- măsuri de protecție la adăposturile de animale, sursele de apă, produsele agroalimentare și alte bunuri materiale, care micșorează riscul lor de contaminare radioactivă. Acestea se realizează prin măsuri simple de etanșare, acoperire etc., realizate de către societățile comerciale sau proprietarii bunurilor respective;

- măsuri de ordine, pază și control asupra accesului în zona contaminată radioactiv, se realizează de către organele de poliție, jandarmerie și subunități de poliție militară, prin înființarea unor puncte de control la limita zonelor contaminate radioactiv, dirijarea circulației, escortarea unor autovehicule și acreditarea personalului cu misiuni de urgență, sprijinirea acțiunilor de evacuare etc.;

- decontaminarea radioactivă a oamenilor, căilor de acces, clădirilor etc. Decontaminarea căilor de acces, a locurilor de muncă, clădirilor, mijloacelor de transport și a unor bunuri materiale, care au importanță mare pentru perioada de revenire la normal a vieții economico-sociale în zonă, trebuie să se facă cât se poate de repede. Acțiunile de decontaminare, complexe și de lungă durată se execută de subunități ale armatei, de apărare civilă și chiar de către populație pentru bunurile proprii.

Pentru selectarea unora sau mai multor măsuri de protecție și intervenție trebuie să țină seama de natura accidentului, riscurile așteptate prin introducerea acestora și, în particular, de scala de timp asociată cu acești doi factori. Această scală de timp corespunzătoare unui accident poate fi, în general, clasificată astfel:

a. faza inițială, unde riscul imediat, datorat eliberărilor aerosolilor, poate fi inhalarea materialului radioactiv și/sau expunerea datorată norului radioactiv. Această fază se întinde pe câteva ore de la începutul accidentului.

b. faza intermediară, în care riscul este cauzat de expunerea externă și internă datorată depunerilor radioactive, precum și de inhalarea particulelor resuspendate și ingestia hranei contaminate. Această fază, se poate extinde de la câteva zile la câteva săptămâni de la faza inițială, în funcție de valorile calculate ale dozelor de expunere pentru întregul corp sau pentru diverse organe, iar măsurile de protecție și intervenție sunt prezentate în Tabelul 8.2.

Tabelul 8.2 Niveluri de intervenție recomandate pentru implementarea unor măsuri de protecție și intervenție [29, 34].

Măsura de protecție	Cantitatea care se compară cu nivelul de intervenție	Nivelul de intervenție (mSv)			
		Întregul corp		Tiroidă, plămâni, piele	
		inferior	superior	inferior	superior
Adăpostirea	Doza externă + doza angajată din încorporare în primele 24 ore	3	30	30	300
Evacuarea	Doza externă + doza angajată din încorporare în primele 24 ore	30	300	300	3000
Administrarea de iod stabili	Doza angajată din încorporarea I-131 din primele 24 ore	-		30	300

c. faza finală, în care riscul poate fi datorat, în general, contaminării hranei și mediului. Această fază se poate extinde de la câteva săptămâni, la câțiva ani după faza inițială, depinzând de natura eliberărilor radioactive.

Sunt necesare, de asemenea, informații despre tipul materialelor radioactive posibil a fi eliberate, pentru a decide caracteristicile aparatului de supraveghere, aducerea și pregătirea echipamentului, estimarea dozelor prognozate și identificarea celor mai importante căi de expunere.

O posibilă aplicare a măsurilor de protecție pentru populație în timpul diferitelor faze ale accidentului este indicată în Tabelul 8.3.

Tabelul 8.3 Măsuri de protecție și intervenție în diferite faze după accidentul nuclear [34].

Măsura de protecție	Faza accidentului		
	Inițială	Intermediară	Finală
Instițnarea și alarmarea populației	●	○	○
Supravegherea și controlul radioactivității	●	●	○
Cercetarea de radiație	●	●	○
Adăpostirea	●	■	○
Profilaxia radiobiologică	●	○	○
Protecția animalelor, surselor de apă, produselor agroalimentare și altor bunuri materiale	●	■	○
Folosirea mijloacelor de protecție individuală	■	■	○
Ordinea, paza și controlul circulației și accesului în zona contaminată	●	●	○
Evacuarea populației	○	○	○
Controlul dozimetric și radiobiologic	○	○	○
Acordarea asistenței medicale de urgență	■	○	■
Măsuri restrictive privind consumul apei, alimentelor etc	○	○	■
Decontaminarea radioactivă a populației	■	■	■
Decontaminarea radioactivă a zonelor afectate	○	■	○
Colectarea, transportul și depozitarea concentratelor radioactive, a alimentelor și altor bunuri periculoase contaminate radioactiv	○	●	●

● Aplicabilitate indispensabilă ■ Aplicabilitate utilă ○ Aplicabilitate limitată - fără importanță

8.4 Organizarea și conducerea activităților de localizare și înlăturare a urmărilor accidentului nuclear se asigură de către CANCOC, în strânsă colaborare cu Comisiile județene de apărare la dezastre și structura de urgență a obiectivului nuclear, în cazul unui accident pe teritoriul național.

Semnalul de alarmă în localitatea posibil afectată, din zonele de planificare la urgență, în cazul expunerii la norul radioactiv, se introduce de primăria acesteia, la ordinul prefectului județului, conform planurilor autorităților publice județene. Semnalul de alarmă este urmat de transmiterea comunicatelor privind situația creată și indicațiile despre modul de comportare a populației.

Intervenția se face pe etape și variante, în funcție de situație, mai întâi forțele și mijloacele de la localități, apoi cele de la nivelul județului și în ultima etapă intervin, dacă este necesar, forțele și mijloacele specializate ale CANCOC, precum și cele din afara zonelor afectate.

Pe timpul intervenției, legăturile se realizează prin sistemul teritorial de telecomunicații, rețele radiotelefon din zonă și sistemul de legătură fir și radio ale unităților și formațiilor militare.

Informarea populației, presei, radioului și televiziunii, la nivel central, se organizează de către grupa de coordonare pentru relații cu mass-media a statului major al CANCOC, iar la nivelul județelor, de către organismele proprii.

Acțiunile de recuperare nu sunt inițiate până când condițiile ce au generat accidentul nu s-au stabilizat și nu au fost încheiate acțiunile imediate de protecție a populației, a bunurilor și proprietăților oamenilor.

Reluarea activităților economico-sociale în zona afectată se execută pe localități, în funcție de scăderea în timp a contaminării radioactive, realizarea lucrărilor de decontaminare și încadrarea în normele admise a radioactivității (contaminării) factorilor de mediu.

Cea mai mare parte a scenariilor de accident nuclear întrevăd o evoluție relativ lentă, deși accidentul de la Cernobâl a infirmat regula. Însă, în oricare din scenarii, faza inițială - perioada de pericol a scăpărilor radioactive, necesită decizii rapide, atât din partea conducerii centralei, cât și din partea autorităților publice, pentru evaluarea datelor, studierea incidenței contramăsurilor și practicarea informării obiective a publicului.

Deși instalațiile nucleare moderne sunt astfel proiectate, construite și exploatate, încât să reducă posibilitatea unui accident nuclear la valori cât mai scăzute, totuși variante de răspuns la o astfel

de situație trebuie concepute și exersate de așa manieră, încât riscurile radiologice pentru populație să fie minime.

8.5 Verificarea măsurilor din planurile de intervenție, a pregătirii organelor de conducere și a forțelor de intervenție a constituit și constituie una din preocupările importante, realizându-se periodic prin exerciții la nivel național sau local, din care numai în ultimii ani se pot menționa: Dăbuleni-Bechet (1988, 1991), Institutul de Cercetări Nucleare Colibași Pitești (1991, 1993, 1994), IFA Măgurele (1992, 1993).

Pregătirea populației s-a realizat, în principal, prin folosirea filmelor, pliantelor și a mijloacelor de informare, fiind axată pe cunoașterea regulilor de comportare la accident nuclear și, în special, a măsurilor de protecție specifice zonei de risc.

Activitățile de pregătire în domeniul accidentului nuclear au cunoscut, în ultimii ani, o îmbunătățire notabilă, prin realizarea unor acțiuni pe baza unor proiecte de asistență tehnică cu AIEA, participarea la primul exercițiu pe hartă - INEX 1 cu Agenția Nucleară Europeană, în 1993 și la unele exerciții practice, pe amplasament, organizate la centrale nucleare din Canada și SUA.

În cadrul Seminarului internațional pe probleme de protecție civilă de la Neptun, din 18 - 22 septembrie 1994, unde au participat 74 reprezentanți din 22 țări, aparținând NATO sau Parteneriatului pentru pace, a fost organizată și s-a desfășurat o demonstrație privind luarea deciziilor în caz de "urgență radiologică asistată de calculator". Demonstrația a fost concepută pentru un accident nuclear, simulat de nivel "6" INES, la o CNE ipotetică, care implică, în afară de țara deținătoare și țara vecină, datorită efectului de contaminare radioactivă transfrontieră. Acțiunea a fost rodul colaborării dintre "Comandamentul Apărării Strategice și al Spațiului al Armatei SUA" din Huntsville - Alabama, care a asigurat tehnica de calcul și de prezentare și de Organismele de Protecție Civilă și de Intervenție în caz de Accident Nuclear din România și Bulgaria. Demonstrația a fost urmată de un exercițiu de evacuare a unor grupuri din populația orașului Cernavodă, în caz de accident nuclear la Unitatea nr. 1 a CNE din localitate. Exercițiul a fost bine apreciat de specialiști, datorită participării a cca 15% din populație, a modului de acțiune a forțelor militare și civile implicate și soluțiilor de evacuare, în condițiile complexe create de dispunerea orașului și căilor de comunicație.

Capitolul 9

EXPUNEREA MEDICALĂ, EXPUNEREA PROFESIONALĂ

EXPUNEREA MEDICALĂ a populației se realizează datorită utilizării surselor și generatorilor de radiații în scop de diagnostic și tratament (röntgen diagnostic, radioterapie, medicină nucleară).

Radiațiile nucleare, date de surse închise, surse deschise și generatori de radiații, utilizate în medicină constituie, domeniul de activitate numit "**medicina radiațiilor**".

Instalațiile de radiații X (Röntgen), alături de sursele închise de Ra-226, folosite în spitale, sunt printre primele surse artificiale de radiații. Radiațiile ionizante sunt folosite într-o mare varietate de proceduri de diagnostic, de la simple radiografiile ale toracelui, la studii dinamice pentru diverse organe sau sisteme de organe.

Elementele componente ale medicinei radiațiilor sunt:

- utilizarea radiațiilor X în scop de diagnostic: radioscopia clasică, radiografia medicală, radiofotografia, radiografia dentară, radioscopia cu amplificator de imagine etc.,

- radioterapia externă: röntgenterapia, cobaltoterapia, cesiu-terapia și terapia cu radiații care au energii mari (date de acceleratorul liniar, betatron etc.),

- curieterapia locală endocavitară, realizată cu surse închise de Ra-226 sau Co-60,

- medicina nucleară, unde se utilizează surse deschise de radiații nucleare în scop de diagnostic sau terapeutic.

Utilizarea radiațiilor ionizante în medicină oferă pacienților multe beneficii, dar în același timp, duce la creșterea dozei de expunere pe care o primește populația în general.

Radiațiile ionizante utilizate în medicină (profil clinic, cercetare sau metodologie), alături de numeroasele avantaje în diagnosticarea și tratarea unor boli, pot provoca și efecte nocive asupra pacienților implicați dar și asupra populației, în ansamblul său. De aici apare necesitatea unei prudențe crescute din partea medicului la recomandarea unei proceduri medicale care utilizează

radiații ionizante. Cu toate că sunt moderne astăzi procedurile medicale de diagnostic pe bază de ultrasunete (ecografia), totuși statisticile arată ca 30 - 50% din deciziile medicale depind, încă, de radiațiile ionizante iar terapia cu surse de radiații constituie o metodă energetică și eficace în tratarea a numeroase boli. Dacă se ia în calcul numai cancerul, tratamentul cu radiații se situează alături sau completează chimioterapia și chirurgia.

Având în vedere și efectele nocive care pot apare, mai ales la descendenți, trebuie să se țină cont de rezultatul medical al procedurii respective cu radiații ionizante. Dacă utilizarea acestei proceduri nu este strict necesară, trebuie să se ia în considerație inutilitatea iradierii pacienților și să se opteze pentru alte tipuri de examene medicale.

Diagnosticul cu radiații X (röntgen diagnostic) reprezintă cea mai des utilizată procedură medicală cu radiații ionizante. Acest diagnostic presupune înregistrarea pe film sau vizualizarea pe un tub cinescop a imaginii unui organ sau sistem de organe expuse într-un flux de radiații X. Printre beneficiile utilizării diagnosticului cu radiații X, pot fi enumerate: diagnosticul precoce și eficace, creșterea acurateței unor intervenții chirurgicale etc. Având în vedere și efectele negative ale unor doze crescute, de la examenele radiologice repetate, se pune problema utilizării cu mult discernământ a diagnosticului radiologic, mai ales în cazul copiilor, tinerilor și femeilor la vârsta de procreere. Doza de expunere primită de pacient este foarte diferită de la o procedură la alta, iar, în cadrul aceluiași examen, depinde de parametrii de iradiere (kV, filtrare, aria fasciculului, timpul de expunere, tipul aparatului, distanță etc.).

Măsurările dozimetrice efectuate la noi în țară de către laboratoarele de igiena radiațiilor au evidențiat următoarele aspecte:

- dozele medii la piele diferă de la 0,78 mGy, pentru o radiografie toracică postero-anterioară la 65,5 mGy, pentru o radiografie laterală de coloană dorsală;

- doza pentru o radiografie este mult mai redusă decât pentru o radioscopie, în cazul aceluiași organ analizat; în același timp informațiile date de o radiografie sunt mai bogate;

- folosirea unor mijloace de protecție (șorțuri plumbate, alte dispozitive) poate conduce la reducerea expunerii gonadelor, de 10 - 20 ori;

- **utilizarea unor mijloace adecvate de recepție a imaginii radiologice** (ecrane radioscopice, filme radiologice de mare sensibilitate), alături de prelucrarea corectă a informației diagnostice, contribuie la eliminarea repetării examenului radiologic.

Valoarea dozelor de expunere pentru o aceeași procedură, poate să difere foarte mult în funcție de: conformația fizică a pacientului (copil, adult; femeie, bărbat etc.), de la o instalație, la alta (cu performanțe tehnice diferite) și chiar de la un radiolog, la altul (dacă aceștia sunt preocupați să reducă expunerea pacientului).

În funcție de dozele primite de pacient la nivelul gonadelor, se poate calcula doza cu semnificație genetică; se mai ține cont de numărul de persoane examinate și de contribuția relativă a lor la numărul expectat al viitorilor copii. Doza cu semnificație genetică este doza, care, dacă ar fi primită de fiecare membru din populație, ar determina același efect genetic total la populație, ca și dozele ce sunt primite real de către fiecare membru din populație. Doza cu semnificație genetică este de cca 25 μSv pentru bărbați, 84 μSv pentru femei și 110 μSv pentru tineret [1].

Examenele radiologice constituie, totuși, un risc somatic pentru persoanele expuse, dintre care radiografiile de coloană dorsală ocupă primul loc. La bărbați, urmează radiografiile de coloană lombosacrată, radioscopiile gastrice și urografiile, în timp ce la femei sunt mamografiile, radiografiile de coloană cervicală și radiografiile pulmonare, care cuprind în fascicol glanda mamară și se asociază cu un important risc somatic. La nivelul întregii populații, în ceea ce privește riscul somatic, datorită numărului mare, examenele radiografice se situează pe primul loc, urmate de cele radioscopice (gastrice și pulmonare).

Având în vedere consecințele negative pentru sănătatea populației, prin riscul somatic crescut la expunere, apare necesitatea reducerii substanțiale a radiografiilor și radioscopiilor, numărul lor fiind încă nejustificat de mare. Au fost situații în țara noastră când se efectuau anual 1000 examene radiologice la 1000 persoane (copii, tineri, adulți) [30].

Pretutindeni în lume se caută scăderea dozei colective (doza de expunere medicală mediată pentru întreaga populație a țării respective), prin reducerea dozelor individuale, a frecvenței tratamentelor și utilizarea de aparatură modernă de investigație, dar cu mare atenție pentru a nu micșora beneficiile utilizării radiațiilor în medicină. Ultimele studii epidemiologice au scos în evidență o doză mai scăzută în țările dezvoltate, comparativ cu celelalte țări, datorită utilizării unor aparate medicale de diagnostic cu performanțe

ridicate.

Radioterapia utilizează radiații X mai ales cu energie mare, radiații gamma date de Co-60 și Cs-137, electroni și ioni accelerați. Cele mai moderne terapii cu radiații ionizante sunt cele care utilizează neutronii rapizi, datorită efectivității biologice ridicate (posibilitate mare de distrugere a celulelor). Utilizarea radiațiilor ionizante, mai ales în terapia cancerului, are la bază efectul distrugător asupra celulelor din metastaze, care au o rată mare de multiplicare. Pentru tratament, sunt necesare doze absorbite care pot ajunge chiar la câteva zeci de Gy. Iradierea se realizează după ce s-a stabilit cu exactitate zona din țesut cu metastaze; fascicolul de radiații este dirijat (colimat) numai spre zona respectivă, în vederea expunerii cât mai puțin posibil a țesuturilor învecinate sănătoase.

Radionuclizii cei mai utilizați în terapia cu surse deschise de radiații sunt: I-131, P-32, Au-198 și Y-90, care trebuie să fie emițători, mai ales de radiații beta, și de viață scurtă. În terapia cu radionuclizi, se urmărește ca în țesutul (organul) de elecție, să se realizeze doza maximă de expunere. Pentru iradieri locale (superficiale) ale leziunilor cutanate (benigne și maligne), se utilizează, în condiții foarte bune, sursele de radiații X, cât și radionuclizi beta emițători (P-32 și Y-90). Tot în scop terapeutic, dar pentru tratamentul cancerului tiroidian, se administrează I-131 în activități mari (10^9 Bq). Radionuclidul se fixează în tiroidă și distruge celulele canceroase prin radiațiile beta și gamma pe care le emite. În ceea ce privește tratamentul hipertiroidiei cu zeci de MBq de I-131, crește riscul realizării unor doze prea mari de expunere, atât la nivelul tiroidei (40 Gy), dar și la nivelul măduvei osoase (0,17 Gy) și al gonadelor (0,06 Gy), ceea ce poate duce la hipotiroidism sau chiar cancer. Dozele mari care apar în apropierea pacientului tratat cu radionuclizi în scop terapeutic, impun limitarea frecvenței și timpului său de vizitare. Se impun restricții la părăsirea spitalului de către pacienții care au primit astfel de radionuclizi, datorită faptului că aceștia constituie surse posibile de iradiere externă și de contaminare a populației (se cunoaște că iodul este foarte volatil).

În cazul iradierilor profunde (pentru organele interne), sunt utilizate surse închise de iradiere cu activitate foarte mare, cca 10^{13} Bq (mii de Ci), de Co-60 sau Cs-137. Cu cât activitatea sursei este mai mare, cu atât debitul dozei absorbite este mai mare și deci timpul de expunere este mai scurt. Printre primele surse închise, utilizate în distrugerea unor celule, mai ales în cancerul de vagin sau de uter, au fost cu Ra-226. Mai apoi s-a introdus Co-60 în același tip de surse, numite și ace, cu dimensiuni destul de reduse, care se aplică local.

Terapia cu radiații ionizante date de surse deschise sau închise se face în clinici de specialitate, cu luarea unor măsuri de radioprotecție deosebite, atât pentru personalul medical și pacient, dar și pentru persoanele din populație (familie), mai ales în cazul terapiei cu I-131.

Medicina nucleară. Radionuclizii pot fi, de asemenea, utilizați ca surse deschise de radiații în procedurile de diagnostic din cadrul serviciilor de medicină nucleară. Personalul medico-sanitar, care utilizează sursele de radiații deschise, trebuie să aprecieze cu mare corectitudine, pe lângă beneficiu și riscurile secundare, care depind de: activitatea radionuclidului administrat, natura radionuclidului, organul de elecție și forma de eliminare din organism. În medicina nucleară sunt utilizați, mai ales, radionuclizi gamma emițători, care ajută la obținerea imaginii unui organ, studiul funcțiilor dinamice sau ale unor componente ale sângelui, al compoziției corpului, atât *in vivo*, cât și *in vitro*.

Principiul utilizării radionuclizilor în medicina nucleară, numiți și trăsori radioactivi, constă în administrarea *in vivo* intravenos sau *per os*, urmată de detectarea sau măsurarea radioactivității la nivelul unui organ, sistem de organe sau corpului întreg. Printre radionuclizii des utilizați în medicina nucleară sunt: Tc-99m, In-113m, In-111, I-125, I-131, Se-75, Au-198, P-32, Cr-51. Acești radionuclizi sunt emițători gamma - radiație penetrantă necesară pentru detecție în afara organismului sau probei de măsurat. Cu ajutorul radionuclizilor menționați se realizează imaginea (scintigrafia) organului sau țesutului urmărit, studiul funcțiilor dinamice, al compoziției elementelor organismului, precum și în determinări *in vitro*. Radiațiile beta, având penetrabilitate redusă, se utilizează mai mult pentru terapie.

Datorită faptului că o serie de radionuclizi prezintă afinitate selectivă pentru un anumit organ sau țesut (I-131 pentru tiroidă, Fe-59 pentru hematii etc.), aceștia se pot administra unei persoane, iar după un anumit timp, este măsurată activitatea din organul respectiv sau se vizualizează pe un monitor imaginea organului studiat. Astfel, pentru măsurarea activității radionuclidului fixat în organ se utilizează de la radiometru sau numărător de radiații (cazul iodocaptării din tiroidă), până la aparate specializate cu detectori de NaI (scintilatori, camere de scintilație) foarte mari, dotate cu calculator, monitor color și cu înregistrare grafică sau pe fotografie. Printre cele mai moderne tehnici, dar și aparate folosite în diagnosticul cu radiații, se numără tomografia de emisie computerizată, cu aparatură specifică pentru detectarea de radiații

gamma, pozitroni (511 keV) sau radiații X. Cu ajutorul tomografului, se pot obține imagini ale unor microsecțiuni din diverse părți ale corpului, care apoi sunt prelucrate pe calculator și comparate cu imaginea normală a organului respectiv. Tomograful este utilizat cu deosebit succes în studiul creierului, ficatului, plămânului etc.

Radionuclidul poate fi administrat pacientului sub formă de sare anorganică sau fixat pe o macromoleculă (marcată). Atât radionuclidul, cât și/sau macromolecula marcată trebuie să fie concentrați preferențial de un anumit organ. Moleculele marcate se pot obține prin substituția unui nuclid stabil cu unul radioactiv sau chiar cu alt radionuclid, cu proprietăți chimice asemănătoare (sulfur cu seleniu). O serie de macromolecule pot fi marcate cu radionuclizi de tipul C-11, O-15, N-13 care sunt emițători de pozitroni detectabili numai prin tomografia computerizată de emisie cu pozitroni.

Aplicațiile biologice, farmacologice și medicale ale moleculelor marcate pun probleme de preparare legate, mai ales de gradul de puritate și de conservare. Pentru radionuclizii sau moleculele marcate cu radionuclizi, utilizați în medicina nucleară, s-a adoptat numele de radiofarmaceutice, care se pot defini astfel ca medicamente ce sunt utilizate pentru diagnostic sau terapie, fără a exercita acțiune farmacologică.

Printre cele mai utilizate radiofarmaceutice, se pot enumera: Cr-51, P-32, Fe-55, Fe-59 (pentru determinarea volumului și timpului de viață a hematiilor), H-3 (apa totală din organism), Sr-85, Sr-87, polifosfați cu Tc-99m (anatomia și fiziologia oaselor), Fe-52, Fe-55, In-111 (măduva oaselor), pertecnetat cu Tc-99m, (scintigrafia creierului), coloizi ai I-123 și Tc-99m (scintigrafie hepatică) etc.

Radionuclizii utilizați în medicina nucleară se pot obține în reactorul nuclear, prin activare cu neutroni, în ciclotron (F-18, In-111) sau din produșii de fisiune (I-131, Xe-133). În ultimul timp se utilizează din ce în ce mai mult Tc-99m ($T_f = 6,05$ ore) și In-113m ($T_f = 100$ min), alături de radionuclizi de viață foarte scurtă ca: Mn-52 ($T_f = 21,1$ min), Kr-81 ($T_f = 13$ s), Rb-82 ($T_f = 76$ s), Ba-137 ($T_f = 2,6$ min), Tl-178 ($T_f = 9,3$ min) etc, obținuți din alți radionuclizi cu T_f mai mare, prin eluare cu un solvent din așa numiții generatori.

Radiofarmaceuticele se clasifică în mai multe categorii, după metodele de preparare, forma chimică și mecanismul de localizare.

Pentru a putea fi utilizate corect, radiofarmaceuticele trebuie să îndeplinească următoarele condiții: T_f și T_b cât se poate de mici, puritate ridicată, stabilitatea moleculelor marcate, identificare rapidă a radionuclidului, doză de expunere mică pentru organism, cu efecte

biologice ne semnificative, cunoașterea toxicității compusului marcat, a metabolizilor săi și a radionuclizilor rezultați prin dezintegrare. Este de dorit ca radionuclidul utilizat pentru examen să fie excretat cât mai rapid din organism, după terminarea testului.

Dacă se iau în considerare aspectele menționate, în vederea alegerii unui anumit radionuclid pentru o explorare, se pot aminti câteva exemple:

- o scintigrafie tiroidiană se poate face fie cu I-131, fie cu Tc-99m; radiotoxicitatea mare a iodului și faptul că determină o doză-organ (numai în tiroidă) de cca 800 ori mai mare decât cea dată de tecnețiu, recomandă utilizarea Tc-99m.

- în cazul scintigrafiei hepatice, doza-organ fiind de 102,5 mSv pentru Au-198, 14,4 mSv pentru In-113m și numai de 5,1 mSv pentru Tc-99m, se recomandă utilizarea ultimului radionuclid.

Pentru o bună utilizare a radionuclizilor în stabilirea unui diagnostic, trebuie să se țină cont și de următoarele aspecte:

- doza de expunere a pacientului să fie cât mai redusă, mai ales la nivelul gonadelor și măduvei osoase,

- să se apeleze la diagnosticul cu radiații numai când aceeași informație nu se poate obține printr-o altă explorare paraclinică neiradiantă,

- absența radiațiilor corpusculare,

- folosirea unor echipamente de detecție nucleară perfecționate, care să obțină informațiile necesare într-un timp relativ scurt de la administrarea unor cantități reduse de radiofarmaceutic.

Radiofarmaceuticele produc un număr neînsemnat de reacții adverse și efecte secundare, dar trebuie avut în vedere că acestea sunt totuși posibile și trebuie cunoscute.

Principiul radioprotecției, în expunerea medicală a populației, constă în dreptul pacientului de a avea garanții că examenul medical cu radiații nucleare nu este asociat cu riscuri prea mari prin iradiere. Este bine ca radiologia medicală, radioterapia și medicina nucleară să aducă maximum de avantaje, cu un risc minim, concomitent cu aplicarea celor mai moderne principii de radioprotecție, atât pentru pacient, cât și pentru populație.

Din datele prezentate de specialiștii în igiena radiațiilor din Ministerul Sănătății [1, 38], expunerea medicală a populației țării noastre ajunge până la 0,5 mSv/an (Fig. 4.1), ceea ce constituie o doză peste media mondială.

EXPUNEREA PROFESIONALĂ LA RADIAȚII IONIZANTE.

Radiațiile ionizante, fiind utilizate din ce în ce mai mult în diverse ramuri ale economiei, de la energetica nucleară, la controlul proceselor și calității produselor, în scop de diagnostic și tratament în medicină, în agricultură, hidrologie, cercetare etc., antrenează un număr mare de persoane, ajungând în unele țări până la 1% din populație. Astfel în SUA, cca 1% din populație este expusă profesional la radiații ionizante, în timp ce în Marea Britanie cca 0,24%, iar în România numai 0,1%.

Expunerea profesională cuprinde persoanele care desfășoară o activitate permanentă sau temporară în mediu cu risc nuclear și care pot fi supuse oricând unor expuneri externe sau contaminări radioactive interne, dar în limitele admise de normele de radioprotecție.

În anul 1962, UNSCEAR a stabilit, pentru prima dată, contribuția expunerii profesionale la iradierea artificială a populației. S-a calculat că expunerea profesională este de cca 6,9% din întreaga expunere artificială medie primită de o persoană, adică de cca 0,02 mSv/an.

În România sunt cca 20 000 persoane expuse profesional, din care: 8000 persoane care lucrează în sectorul sanitar (medicină nucleară, radiodiagnostic și radioterapie), alte 8000 persoane lucrează în sectorul de extracție și prelucrare industrială a mineritului radioactiv și alte cca 4000 persoane în cercetare și alte activități, care nu sunt direct productive [38]. Numărul persoanelor expuse profesional va crește o dată cu darea în folosință a CNE Cernavodă. De altfel, comparabil cu Marea Britanie sau SUA - țări cu industrie nucleară dezvoltată, avem de cca 3 ori, respectiv de 10 ori mai puține persoane expuse profesional.

Conform legislației internaționale în domeniul radioprotecției, la care a aderat și România, persoanele expuse profesional pot să primească anual o doză de expunere maximă de 50 mSv sau expuneri unice de maxim 100 mSv - cazuri extrem de rare și numai în situații de necesitate (dar să nu fie femei la vârsta de procreere, persoana respectivă să fie aptă medical și să-și dea acordul scris). În situații excepționale, anumite persoane din unitățile nucleare sunt nevoite să efectueze lucrări (decontaminare, intervenții rapide, depanări și verificări la instalații cu surse etc.), care pot duce la primirea unor doze crescute de expunere. Autorizarea acestor operații nu trebuie dată decât pentru situații excepționale, când alte proceduri care nu antrenează creșteri ale expunerii profesionale nu pot fi utilizate, iar lucrarea se efectuează numai cu

acordul persoanelor în cauză.

În unitățile nucleare pot apare și situații în care sursa de radiații scapă oricărui control, ceea ce poate duce la expuneri anormale ale personalului. În aceste condiții, se poate vorbi de o expunere accidentală, peste limitele admise, a lucrătorilor din unitatea nucleară sau chiar a unor alte persoane. Pentru o intervenție rapidă în unitatea nucleară, în vederea salvării de vieți omenești sau bunuri materiale, anumite persoane pot primi doze peste limita admisă, acestea fiind numite expuneri de urgență. Toate situațiile anormale trebuie aduse la cunoștința autorităților competente și anume Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare și Inspectoratului (teritorial) de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă, iar persoanele implicate trebuie să fie consultate și analizate medical în clinici specializate. Contaminarea (mai ales încorporarea) accidentală cu radionuclizi trebuie să se mențină la valori scăzute, astfel încât să nu depășească expunerea maximă admisă evaluată prin calcul, la aceasta trebuie inclusă și expunerea datorată unor surse externe. Pentru evaluarea nivelurilor de expunere, Normele Republicane de Securitate Nucleară prezintă activitățile maxime admise în organe critice, concentrațiile maxime admise în aer și apă, pentru fiecare radionuclid, precum și dozele maxime admise pentru persoane din populație și persoanele expuse profesional (Anexa 5).

Conform aceluiași Normelor Republicane de Radioprotecție, persoanele expuse profesional, nu pot primi într-un an o doză mai mare de 50 mSv. Femeile vor întrerupe expunerea profesională la radiații nucleare timp de cel puțin 3 luni de la primul simptom al sarcinii, diagnosticată medical, urmând a fi repartizate, pe timpul respectiv, în alte locuri de muncă.

Majoritatea persoanelor care lucrează cu radiații ionizante primește doze de expunere cu mult sub doza maximă admisă, după cum urmează:

- radiologie medicală (diagnostic)	2 - 90 mSv
- radiologie medicală (terapie)	1 - 50 mSv
- industrie (prelucrare)	1 - 100 mSv
- minerit radioactiv	3 - 6 mSv
- energetică nucleară	0,8 - 40 mSv
- defectoscopie industrială	1 - 200 mSv
- cercetare	1 - 20 mSv.

Cu toate că dozele medii reale de expunere primite de personalul care lucrează în unități nucleare sunt cu mult mai mici decât doza maximă admisă de normele de radioprotecție, studii

epidemiologice, efectuate în SUA, au evidențiat o serie de efecte ale expunerii profesionale la radiații nucleare. Astfel, a fost reliefată o incidență de 7,3 ori mai mare a leucemiei pentru medicii radiologi din grupa de vârstă 50 - 60 ani, comparativ cu grupul de control, pentru perioada 1935 - 1958. De asemenea, un alt studiu a arătat o incidență crescută a leucemiei, de 4,5 ori, la un grup de muncitori care lucra în domeniul defectoscopiei industriale, comparativ cu populația luată în general.

Tendența generală în domeniul radioprotecției este de reducere a dozelor de expunere pentru personalul expus profesional. Pentru aceasta, este necesar un control riguros al nivelului de expunere profesională, în corelație cu supravegherea stării de sănătate a personalului, în cadrul controlului medical periodic. După ultimele evaluări [38], expunerea profesională mediată pentru întreaga populație a țării noastre este de numai 0,001 mSv/an care rezultă din:

$$(1 \text{ mSv} \times 20 \text{ 000}) : 23 \text{ 000 000} = 0,001 \text{ mSv}$$

Supravegherea nivelului de expunere profesională se face prin controlul zonei de lucru și controlul expunerilor individuale. În ceea ce privește zona de lucru, controlul constă în determinarea nivelului de expunere externă și de contaminare radioactivă a locurilor de muncă cu ajutorul unor dozimetre, cu semnalizare acustică și optică, așezate în locurile cu risc mare de expunere. Controlul expunerii individuale (personale) se face cu ajutorul sistemelor dozimetrice individuale (fotodozimetre, stilodozimetre și dozimetre termoluminiscente). Pentru persoanele care lucrează cu surse deschise de radiații, ce constituie un risc de contaminare radioactivă externă și internă, în afara controlului dozimetric individual pentru expunerea externă, se realizează și controlul dozimetric direct, la nivelul pielii și controlul contaminării interne (analize de produse biologice și antropogammametrie).

Controlul dozimetric este obligatoriu pentru toate persoanele care lucrează cu radiații ionizante, este prevăzut de lege și constituie, astfel, un mijloc operativ de verificare a asigurării măsurilor de radioprotecție.

Printre măsurile de radioprotecție profesională, se situează și examenul medical preventiv la angajare și examenul medical periodic, asigurate prin unități sanitare teritoriale. Pentru diverse suspiciuni de efecte ale expunerii la iradiieri externe, contaminări radioactive externe sau interne, medicul care asigură asistența medicală în unitatea nucleară respectivă îndrumă persoana în cauză

la unități specializate, cum este Clinica de Radiobiologie Fundeni, pentru stabilirea diagnosticului și instituirea tratamentului adecvat. Pentru situații de urgență medicală, unitățile nucleare trebuie să fie dotate și cu materiale sanitare specifice de prim ajutor (decontamanți externi și interni, radioprotectori) precum și instrucțiuni sanitare necesare acordării primului ajutor în caz de accident nuclear.

*
* *

Din datele prezentate de AIEA - 1982, expunerea populației prin surse artificiale este formată din: 94% - expunere medicală, 1,8% - expunere profesională, 1,8% - surse diverse, 1,8% - căderi radioactive și 0,6% - deșeuri din industria nucleară.

LEGISLAȚIA PRIVIND RADIOPROTECȚIA ÎN ROMÂNIA

Introducerea unor tehnici pe bază de energie nucleară, începând cu radiologia medicală și terminând cu centrala nucleară electrică, a ridicat problema legiferării măsurilor de radioprotecție, atât pentru populație (persoane expuse profesional și populația în general), cât și pentru mediul înconjurător.

Un prim act legislativ în domeniul radioprotecției îl constituie Ordinul Ministerului Sănătății nr.139/1953, referitor la controlul medical la angajare și periodic, pentru persoanele care lucrează în cabinetele radiologice și în diferite laboratoare, unde se folosesc materiale radioactive.

Regimul de lucru cu surse de radiații pe întregul teritoriu al țării a fost reglementat prin Hotărârea Consiliului de Miniștri (H.C.M.) nr.741/1961.

Activitatea de igiena radiațiilor în România (la început numai studiul radioactivității depunerilor atmosferice și determinarea expunerii la radiații a personalului care lucrează în radiologia medicală) a fost reglementată prin H.C.M. nr.20 din 1963.

În anul 1962 apare standardul de stat (STAS) 5942, cu privire la "Doze maxime permise" în protecția contra radiațiilor.

Prin mai multe decrete și ordine ale Ministerului Sănătății, din 1965, 1973, 1977, 1980, 1981 se reglementează activitatea de igiena radiațiilor în structura rețelei sanitare, prin înființarea Laboratoarelor de Igiena Radiațiilor, în cadrul Centrelor Sanitare Antiepidemice, în diferite județe (azi Inspectorate de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă). În același fel, prin decrete ale Consiliului Național al Apelor (azi Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului) se înființează și funcționează după 1962 Rețeaua de supraveghere a contaminării radioactive a factorilor de mediu.

O serie de STAS-uri, care apar după 1962, asigură un cadru legislativ de normare în igiena radiațiilor privitor la: calitatea apei potabile, cu valori ale concentrației maxim admise (CMA) pentru conținutul radioactiv, calitatea apei pentru irigarea culturilor, calitatea apelor de suprafață, dozele maxime admise (DMA) și CMA pentru mai multe categorii de populație.

Legea nr.9 din 1973, privind protecția mediului înconjurător, a abordat și aspecte legate de poluarea radioactivă.

Legea nr.61 din 1974, referitoare la desfășurarea activității nucleare în România, asigură cadrul legislativ pentru condițiile de securitate nucleară a populației, mediului înconjurător și bunurilor materiale.

Decretul nr. 96 din 1975 asigură centralizarea și unificarea măsurilor de protecție a factorilor de mediu și populației împotriva contaminării radioactive, în caz de accident nuclear, stabilindu-se coordonarea întregii activități, la care participă mai multe ministere și organe centrale, de către Comandamentul Republican pentru Intervenție în Accident Nuclear (CRIAN), azi Comisia pentru Accidente Nucleare și Căderi de Obiecte Cosmice (CANCOC). Decretul 96 și înființarea CRIAN-ului au apărut ca o necesitate la intrarea în funcțiune a primului reactor nuclear, în 1974, la CNE Kozlodui - Bulgaria, situată la 6 km sud de Dunăre.

În 1976 sunt emise mai multe "Norme Republicane de Securitate Nucleară", dintre care amintim: "Norme Republicane de Radioprotecție" și "Norme de lucru cu surse de radiații nucleare", care constituie regulamentele de lucru cu surse radioactive în unitățile nucleare. Aceste Norme cuprind reglementări legate de:

- mărimi și unități;
- doze și concentrații maxime admise în expunerea profesională și a populației în general;
- radioprotecția profesională;
- radioprotecția populației și a mediului înconjurător;
- supravegherea medicală a personalului;
- solicitarea, eliberarea, suspendarea și retragerea autorizațiilor de funcționare a unităților nucleare;
- lucrul cu surse de radiații;
- transportul și depozitarea surselor de radiații;
- stocarea deșeurilor radioactive;
- anexe cu privire la clasificarea radionuclizilor după toxicitate, CMA în aer și apă etc.

După 1989 a apărut Hotărârea Guvernului nr. 655, cât și o serie de ordine ale Ministerului Sănătății sau Comisiei Naționale pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN), care actualizează și reglementează activitatea în domeniul nuclear.

Prin H.G. nr. 792/1992, se aprobă Normele republicane de securitate nucleară privind planificarea, pregătirea și intervenția la accidente nucleare și urgențe radiologice [29].

Atât înainte de 1989, cât și după, în desfășurarea activităților din domeniul nuclear au sarcini trei ministere sau organe centrale, cu rang de minister: Comisia Națională pentru Energie Atomică (fost Comitetul de Stat pentru Energia Nucleară - CSEN), Ministerul Sănătății și Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului (MAPPM).

Controlul și autorizarea de funcționare a unităților nucleare în România se realizează de către CNCAN (aparținând de MAPPM, înainte de 1989 se numea Inspectoratul de Stat pentru Controlul Activităților Nucleare și aparținea de CSEN).

Ministerul Sănătății, prin rețeaua Laboratoarelor de Igiena Radiațiilor din cadrul Inspectoratelor de Poliție Sanitară și Medicină Preventivă sau Institutelor de Igienă și Sănătate Publică asigură supravegherea sănătății populației și a nivelului de contaminare radioactivă a apei potabile, alimentelor și omului, precum și controlul și evidența personalului expus profesional.

Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, prin Rețeaua de supraveghere a contaminării radioactive a mediului, asigură controlul nivelului de contaminare a aerului, depunerilor atmosferice, apei de suprafață, solului și vegetației spontane.

Pe plan internațional există o serie de organisme de specialitate ale ONU, care elaborează și editează norme și recomandări, acceptate și de România sau constituie surse de informații și documentare pentru elaborarea legislației naționale. Acestea sunt: Agenția Internațională pentru Energia Atomică (AIEA), Comitetul Științific al ONU pentru Studiul Efectelor Radiațiilor Atomice (UNSCEAR), Organizația Mondială a Sănătății (OMS). La acestea se mai adaugă: Comisia Internațională de Protecție Radiologică (ICRP), Consiliul Național pentru Protecția și Măsurarea Radiațiilor (NCRP) al SUA, care au editat o serie de norme și recomandări ce au stat la baza legislației naționale.

Având în vedere dezvoltarea energiei nucleare, alături de testarea armelor nucleare, s-a impus unirea eforturilor tuturor statelor pentru luarea unor măsuri de prevenire și diminuare a efectelor

poluării radioactive.

Pentru aceasta au fost semnate sau ratificate diverse convenții și tratate:

- Convenția asupra responsabilității civile în domeniul pagubelor nucleare - 1963;

- Convenția privind ratificarea rapidă a unui accident nuclear și Convenția cu privire la asistența în caz de accident nuclear sau urgență radiologică, la care România a aderat prin Decretul nr. 223/1990. Potrivit acestor două convenții, statele semnatare trebuie să se informeze reciproc, cu promptitudine asupra tuturor datelor despre accidentul nuclear, să coopereze între ele și cu AIEA în scopul limitării consecințelor accidentului, precum și al protejării oamenilor și mediului înconjurător.

- Convenția cu privire la protecția fizică a materialelor nucleare, cu referire la protecția împotriva atacurilor teroriste, ce vizează instalațiile nucleare.

România a semnat o serie de tratate de neproliferare nucleară sau de control al armelor și a diferitelor forme de energie și substanțe de distrugere în masă [31].

Din legislația noastră, privind desfășurarea activităților nucleare, sunt prezentate în continuare și unele aspecte legate de protecția sănătății oamenilor și de protecție a mediului înconjurător.

Unitatea nucleară este zona de lucru în care o formație de specialiști (expuși profesional) își desfășoară activitatea nucleară, folosind amenajări și dotări specifice. Unitățile nucleare sunt grupate în patru categorii (1-4), în funcție de riscul radiobiologic pentru persoanele cu expunere profesională și complexitatea amenajării localurilor, ambele determinate de pericolozitatea surselor de radiații folosite.

Din punct de vedere al riscului radiobiologic, populația țării se împarte în următoarele grupe:

- populația în ansamblu, reprezentând persoanele expuse la efecte indirecte rezultate din activități nucleare;

- persoane din populație constituite din grupul de populație care locuiește sau lucrează permanent în jurul unor obiective sau unități nucleare, ce poate fi supus la o doză peste valoarea maximă admisă pentru populația în ansamblul ei;

- **personal expus profesional la radiații nucleare, care desfășoară o activitate permanentă sau temporară într-o unitate nucleară și care poate fi supus la o doză de expunere peste valoarea maximă admisă pentru persoane din populație.**

Accidentul nuclear reprezintă evenimentul nuclear care afectează o instalație și provoacă expunerea și/sau contaminarea radioactivă a populației și a mediului înconjurător peste limita admisă de 5 mSv/an, după normele actuale.

Incidentul nuclear reprezintă evenimentul nuclear care se petrece în interiorul zonei de lucru, provocând iradierea sau contaminarea radioactivă a personalului expus profesional sau a locului de muncă peste limita maximă admisă (50 mSv/an).

Deșeul radioactiv este constituit din orice rezidii solide, lichide sau gazoase, care conțin materiale radioactive și sunt evacuate în mediu.

Legislația internațională, desigur și cea din România, care reglementează activitățile nucleare reflectă, procesul de utilizare a energiei nucleare în scopuri pașnice. Această legislație este preocupată, în mod deosebit, de grija față de om și a bunurilor sale, acordând o atenție deosebită aplicării și perfecționării ansamblului de măsuri destinate să asigure desfășurarea activităților din domeniul nuclear, în condiții de deplină securitate. Numeroase acte normative se referă la măsurile de protecție a factorilor de mediu și populației împotriva contaminării radioactive, stabilesc un regim statal de coordonare unitară a întregii activități, ce se adresează protecției mediului și populației, cât și intervenției operative în caz de accident nuclear.

În acest context, noua Lege a protecției mediului cuprinde un capitol special legat de desfășurarea activităților nucleare în România cu toate măsurile ce se impun pentru reducerea poluării radioactive a mediului sau a populației.

POSTFAȚĂ

Lucrarea se adresează nu numai studenților de la secția de ecologie a Facultăților de Biologie, altor studenți, ci și tuturor persoanelor doritoare să cunoască aspecte legate de poluarea radioactivă și radioprotecția în România. Pentru aceasta, prezenta lucrare conține mai multe capitole și anexe, care depășesc obiectul de studiu al radioecologiei.

Dezvoltarea energiei nucleare în lume, testele nucleare, accidentul nuclear de la Cernobîl, dar și intrarea în funcțiune a CNE Cernavodă, au dus sau pot duce la apariția noxei radioactive, ceea ce a făcut necesară introducerea cursului "Radioecologie, managementul accidentului nuclear", în vederea completării pregătirii viitorilor *manageri ai mediului*, cum mai sunt numiți ecologii, cu aspecte legate de supravegherea și protecția biosferei și în domeniul radioactivității.

Noxa radioactivă, la valorile existente în țara noastră, nu constituie un pericol pentru ecosistemele acvatice sau terestre, dar nici pentru om. Această noxă trebuie totuși să stea neconținut în atenția specialiștilor, pentru determinarea unor creșteri semnificative, mai ales în zonele restrânse din apropierea obiectivelor nucleare mari, urmată de luarea măsurilor de radioprotecție care se impun.

Trebuie să se cunoască aspectele legate de posibilitățile de transfer al radionuclizilor cu importanță biologică mare pentru om cum sunt Sr-90, Cs-137, I-131, Pu-239, C-14, H-3, pentru a exemplifica numai șase radionuclizi din multitudinea celor care pot fi decelați în noxa radioactivă apărută prin utilizarea energiei nucleare. Aceste date trebuie coroborate cu condițiile fizice și chimice ale mediului abiotic, dar și cu populațiile de organisme care se pot contamina radioactiv și care pot transfera, direct sau indirect, radionuclizii către om.

Pentru reducerea unor efecte, ca urmare a unui accident nuclear, apare necesară optimizarea măsurilor de protecție și intervenție, prin realizarea a numeroase repetiții cu o pregătire riguroasă a populației și mai ales a factorilor cu atribuții precise din cadrul autorităților locale. Pregătirea populației se poate face, în cazul obiectivelor nucleare mari - CNE Cernavodă, zona supravegheată din sudul județului Dolj pentru CNE Kozlodui (Bulgaria), cât și din apropierea reactorilor de la Măgurele și

Colibași - prin mass media, prin conferințe ținute de specialiști, dar și prin lecții ținute elevilor de la cursul gimnazial și liceal. Lecțiile respective trebuie să cuprindă date generale despre: construcția și funcționarea reactorului nuclear respectiv, accidentul nuclear cu măsurile de radioprotecție care se impun, evitarea panicii etc.

În etapa următoare, se trece la refacerea ecologică a zonei contaminate radioactiv, avându-se în vedere gravitatea accidentului nuclear, parametrii mediului abiotic, populațiile de organisme etc.

Ca o concluzie, din totalitatea materialelor consultate, se poate spune că populația din țara noastră este expusă în medie la o doză de expunere la radiații ionizante naturale și artificiale de cca 2.8 mSv/an (Figura 4.1). Această valoare se situează cu puțin peste doza din alte țări europene, datorită expunerii medicale mai crescute în țara noastră. Expunerea medicală ridică contribuția artificială la doza de expunere la 18,7%, față de numai 13% în alte țări europene [20].

Accidentul nuclear de la Cernobîl a dus la creșterea dozei de expunere, mai ales în anul 1986, contribuția artificială ajungând la valoarea apropiată celei naturale; doza de expunere totală s-a situat la cca 4.1 mSv pentru anul 1986.

Expunerea artificială la radiații ionizante în România este evaluată la cca 0,5 mSv/an, valoare care se situează la jumătate din doza maximă admisă pentru populație - valoare propusă de proiectul noilor Norme de Radioprotecție internaționale.

Pentru ca valoarea dozei de expunere la radiația artificială, alături de expunerea suplimentară la radioactivitatea naturală, să nu crească peste valoarea actuală, din contra, să scadă la valori asemănătoare celor din alte țări europene, este necesar ca toate persoanele care utilizează - specialiștii, cât și marele public - cel care beneficiază de energia nucleară, să cunoască cât mai multe aspecte legate de folosirea corectă a radiațiilor, dar și măsurile de radioprotecție care se impun în caz de incident sau accident nuclear.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. * * * Tratat de Igienă (sub red. S. Mănescu); cap. Igiena Radiațiilor (C. Milu, Gh. Furnică și alții), București, Ed. Medicală, 1968
2. D E REICHLE, P B DUNAWAY, D J NELSON. Turnover and concentration of radionuclides in food chains. Nuclear Safety, 11/1, 1970.
3. I URSU. Energia atomică. Ed. Științifică, București 1973.
4. Virginia BRODINE. Radioactive contamination. Ed. Barry Commoner, New York, 1975.
5. * * * Norme Republicane de Securitate Nucleară, 1976
6. I CHIOSILĂ: Probleme de radioecologie experimentală a apelor dulci. In "Probleme moderne de ecologie" (coordonator B Stugren). Ed. Dacia Cluj, 1978.
7. O NISTOR, Gh FURNICĂ, C PĂUN, I CHIOSILĂ. Radioactivity control in the Danube basin afferent to the territory of Romania. IAEA - TECDOC - 219, Vienna, 1979.
8. * * * Raport final al Expediției științifice a țărilor CAER interesate pentru studiul radioactivității fluviului Dunărea (I. CHIOSILĂ și colectivul). Moscova, 1980.
9. M ONCESCU. Indreptar pentru radioprotecție, București - Măgurele, 1981.
10. A BRODSKY; Handbook of Radiation Measurements and Protection, London, 1982
11. * * * Radionuclide. Metabolism and Toxicity. Ed. P Galle, R Masse, Masson - Paris, 1982

12. * * * Instrucțiuni privind deșeurile radioactive. CSEN, 1982
13. N BOTNARIUC, A VĂDINEANU. Principiile ecologiei sistemice. Ed. Didactică și Pedagogică, 1982.
14. B GOLDSCHMIDT. Complexul atomic. Ed. Politică, București 1985.
15. C PASQUIER, R DUCOUSSO. Traitement d'urgence des radiocontaminations internes. IAEA-SR-6/39, 1986.
16. * * * Quelques radionucléides. Critères d'hygiène de l'environnement 25. OMS, 1987.
17. M. ONCESCU. Impactul centralelor nucleare asupra biosferei. București, 1987.
18. * * * Exposures from the Chernobyl accident. Annex D. UNSCEAR, 1988.
19. I CHIOSILĂ. Contaminarea radioactivă: baze etiopatogenice, protecție și tratament. Rev. san. militară, 1, 1988.
20. * * * Trăim cu Radiații. Consiliul Național de Protecție Radiologică din Marea Britanie. Traducere din limba engleză de A Ionescu. Ed. Tehnică, 1989
21. I CHIOSILĂ, Maria CHIROVICI, E REVIU. Some aspects of environmental contamination by Cs-137 and transfer to man during the 1986-1988. La Sante Publique, 4/1989.
22. * * * Treatment of Radiation Injuries. Ed. Doris Browne. Plenum Press, New York and London, 1990.
23. Fr RAMADE. Elements d'écologie, écologie appliquée. Ed. McGraw - Hill, Paris, 1991.

24. * * * Standarde de bază de radioprotecție (traducere după "Normes fondamentales de radioprotection" edition 1982 - collection securite No.9), București 1991.
25. M ONCESCU, I PANAITESU. Dozimetria și Ecranarea Radiațiilor Röntgen și Gamma, Ed. Academiei, București, 1992
26. * * * Centrala nucleară electrică Cernavodă. Pliante RENEL - GEN. 1993.
27. * * * Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1977. UNSCEAR 1987. UNSCEAR 1993. Reports.
28. D ȘERBAN. Elemente de protecție contra radiațiilor nucleare. Of.doc.inf.IFIN, București 1993
29. * * * Monitorul oficial al României; H.G. 792/1992 privind organizarea și funcționarea Ministerului Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului. 1993.
30. * * * Lucrările Conferinței Naționale "Modificări ale expunerii la radiația naturală ca urmare a activităților umane - factor de risc pentru sănătate", 29 septembrie - 1 octombrie 1993, Băile Felix - România.
31. Daniela MARINESCU. Dreptul mediului înconjurător. Ed. Șansa srl, București, 1993
32. * * * Radioactivitatea naturală în România. Colectiv de specialiști ai SRRp. București 1994.
33. * * * Lucrările celui de al 2-lea Simpozion de Radioprotecție "Accidentul nuclear - management și impactul asupra mediului și sănătății omului", 25 - 27 mai 1994, București România.

34. * * * Radioactivitatea artificială în România. Colectiv de specialiști ai SRRp. București 1994.
35. O ȚUȚUIANU. Energia nucleară, alternativa ecologică a energiei clasice? Mediul înconjurător V, 1/1994.
36. * * * Safety standards, Safety series No 115-1, IAEA Vienna, 1994
37. * * * Curierul de fizică; Publicație a Soc. Rom. de Fizică și a IFA, 1 - 15, 1993 - 1995.
38. * * * Sesiunile anuale de comunicări științifice ale IISP București, 1990 - 1995.
39. I CHIOSILĂ. TERRA XXI, 3, 4, 5, 6/1995.
40. * * * IAEA Bulletin, vol.37, No.1 , Vienna, Austria, 1995.

DETECTAREA RADIAȚIILOR

Detecarea radiațiilor se bazează pe efectele produse de radiații la interacțiunea lor cu substanța. Ionizarea - fenomenul de bază pentru detecție, are loc fie pe cale directă (radiații alfa și beta), fie pe cale indirectă (neutroni și radiații gamma). La baza detectării radiațiilor stă și fenomenul de excitare (cazul radiațiilor gamma și X).

În prezent există o mare varietate de detectori de radiații. Sunt prezentați numai detectori utilizați în mod curent în activitățile nucleare:

- detectori bazați pe ionizarea gazelor și colectarea ionilor (camere de ionizare, contori proporționali, contori Geiger-Müller); aceștia se compun din doi electrozi, plan paraleli sau coaxiali, pe care se aplică o diferență de potențial. Radiațiile pătrunse în camera cu cei doi electrozi, umplută cu aer sau un alt gaz, produc ionizarea gazului iar ionii formați, mișcându-se în câmpul electric, ajung pe electrodul cu tensiune de semn contrar realizând un plus de curent, care este înregistrat de sistemul de numărare (detecție). Numărul mare de ioni formați creează un surplus de sarcini electrice (curent electric), ceea ce se traduce printr-un număr mare de pulsuri în sistemul de detecție. În funcție de tensiunea aplicată pe detector, se realizează trei domenii: camera de ionizare (cca 100 - 400 V), contorul proporțional (500 - 700 V), contorul Geiger-Müller (800 - 1100 V). Peste 1100-1200 V se intră în domeniul descărcării continue.

Caracteristici ale acestor detectori:

- puterea de rezoluție (viteza de numărare maximă care se poate obține),
- caracteristica de numărare (viteza de numărare R funcție de tensiunea aplicată),
- eficacitatea contorului (probabilitatea ca o radiație care străbate volumul sensibil al detectorului să fie numărată, se exprimă în procente; 100% pentru radiații alfa sau protoni, 10 - 100% pentru radiații beta, puțin peste 1% pentru radiații gamma),
- timpul de utilizare a contorilor (10^9 - 10^{13} pulsuri).

- **detectori bazați pe ionizarea cristalelor** (contori cu cristal); sunt constituiți din doi electrozi între care se introduc materiale semiconductoare sau cristaline ca dielectric. Contorul constă de fapt dintr-o plăcuță de cristal (sulfură de cadmiu, clorură de argint) cu fețe metalizate (electrozi). Când o radiație pătrunde în cristal, sub acțiunea câmpului electric aplicat pe cele două fețe metalice ionii formați sunt antrenați către electrodul de semn contrar. Plusul de curent se înregistrează cu ajutorul instalației auxiliare. Acești detectori permit măsurarea radiațiilor dure, se pot folosi la surse cu activitate mare, realizează discriminarea radiațiilor; pentru radiații gamma - eficacitatea este de cca 50%.

- **detectori bazați pe fenomenul de luminescență** (contori de scintilație solidă sau lichidă); contorul de scintilație se compune dintr-un scintilator transparent solid (NaI impurificat cu Tl, Phoswich, sulfura de Zn, sulfura de Cd, plastic etc.) sau lichid (naftalen, antracen, toluen etc.), cuplat optic cu un fotomultiplicator conectat la un circuit de înregistrare (analiza radiațiilor în funcție de energie = spectrometru analizor). Când un foton sau o particulă încărcată pătrunde în scintilator, cedează energia, producând excitarea atomilor scintilatorului; la revenirea electronului pe nivelul fundamental, va emite cuante de lumină, iar fenomenul se numește scintilație sau fluorescență. Cuanta de lumină (scintilația) pătrunde în fotomultiplicatorul format dintr-un fotocatod, care la interacția cu fotonul, va emite un electron. Electronul cade pe un șir de dinode cu diferență de potențial negativ de 100 V (-1200 la - 500 V) fiind accelerat; la fiecare dinodă apare un multiplu de electroni iar pe anod va ajunge un flux de electroni multiplicat de cca 10^5 . Scintilatorul, împreună cu fotomultiplicatorul constituie contorul cu scintilație. Detectorii cu scintilație sunt suficient de sensibili pentru toate tipurile de radiații și au durată de utilizare foarte mare.

- **detectori pe bază de impresionare a emulsiilor fotografice** (emulsii nucleare, filme dozimetrice); sunt constituiți din filme sau emulsii fotografice, care au granule de AgBr dispersate în mod omogen. La trecerea unei radiații prin cristalele halogenurii de argint, sunt smulși electroni, care în circulația lor sunt, capturați de ionii de argint, pe care-i neutralizează formând atomi de argint; urmează dezvoltarea ca a unui film obișnuit. Filmele dozimetrice sunt citite cu aparatură optică specială, în comparație cu un film expus la o

doză cunoscută de expunere. Aceste tipuri de detectori pot fi utilizați pentru controlul dozimetric al dozei de expunere a persoanelor expuse profesional (fotodozimetrul este purtat 1 - 2 luni), constituind și un document în timp pentru supraexpuneri la radiații în caz de incidente nucleare. Poate fi utilizat și pentru măsurarea radiației cosmice.

- **detectori bazați pe fenomenul de termoluminescență (TLD) și fotoluminescență (FLD);**

- TLD se bazează pe proprietatea unor metale, de a emite luminescență proporțională cu doza la care au fost iradiate, dacă materialele respective au fost încălzite la o temperatură prag, care apoi este citită cu aparate speciale. Ca materiale se folosesc: fluorura de Li (LiF), oxidul de Be (BeO), fluorura de Ca (CaF₂). Sunt mici ca volum, ceea ce permite realizarea unor dozimetre individuale cu număr mare de detectori. Acești detectori sunt utilizabili în caz de accident nuclear, pentru evaluarea dozei de expunere primită de personalul care acționează în situații dificile.

- FLD se bazează pe proprietatea unor sticle metafosfatice, silicaticice sau boratice activate cu argint, de a reține radiații cu spectru bine cunoscut și a căror intensitate este proporțională cu doza de radiații ionizante absorbită.

- **detectori cu semiconductori (conductibilitate intermediară).** Si și Ge sunt semiconductorii cei mai utilizați pentru fabricarea de diode redresoare, tranzistori, detectori de radiații. La trecerea unei radiații printr-un semiconductor, apar electroni liberi, care se mișcă prin cristalul semiconductor sub acțiunea câmpului electric, aplicat exterior. Detectorii cu Si lucrează la temperatura camerei iar cei cu Ge la temperatura azotului lichid (-173°C). Semnalul este amplificat mai întâi în preamplificator - piesă atașată de detector și apoi de amplificator, de la care trece în instalația de analiză (analizor multicanal).

APARATURĂ PENTRU MĂSURAREA DOZEI SAU DEBITULUI DOZEI DE RADIAȚII

- **portabilă:** mijloace dozimetrice pentru măsurarea expunerilor în diverse locuri de muncă, cât și pentru controlul prezenței radionuclizilor pe echipamentul de lucru, suprafețe, alimente sau la locurile de muncă.

- dozimetru, care măsoară doza de expunere (gammarad - pentru radiații X și gamma cu contor GM, rontgenometru cu cameră de ionizare etc.),

- contaminometru, care măsoară nivelul de contaminare cu diverși radionuclizi (monitor alfa, beta, gamma cu detectori GM și de scintilație etc.);

- stilodozimetru, pentru supraveghere dozimetrică individuală cu cameră de ionizare. Are posibilitatea de reîncărcare după utilizare și citire.

- fotodozimetru, compus din film dozimetric și caseta cu filtre metalice, pentru radiații X, gamma, beta și neutroni (0,2 mGy și 1 Gy).

- dozimetru TLD, pentru măsurarea dozei fondului natural (radiația cosmică).

- analizor multicanal cu detectori de Ge(Li) sau NaI(Tl), cu varinate pe acumulatori sau baterii, de dimensiuni reduse care poate fi utilizat și în teren.

- **aparatură de laborator:** permite măsurarea concentrației radionuclizilor în diverse probe de mediu, alimente, probe biologice, corpul uman etc.

- numărător de radiații: cea mai simplă instalație de numărare cuplată la un contor GM, proporțional sau camera de ionizare.

- analizor monocanal sau multicanal cu 256, sau multipli de 256. Cele mai moderne analizoare (spectrometre) au 4096 sau 8192 canale. La analizorul monocanal se cuplează un detector GM, proporțional sau sisteme în anticoincidență (doi detectori GM în anticoincidență, din care unul clopot și altul mai mic introdus în acesta, pentru fond scăzut). La analizorul multicanal se cuplează contori de scintilație sau contori cu semiconductori.

- antropogammametrul, pentru măsurarea contaminării umane, situat în cameră specială izolată cu plumb, analizor multicanal cu detectori de NaI(Tl) sau de Ge(Li).

Contorii GM, proporționali, cu scintilație sau cu semiconductori se plasează în incintă (castel) de plumb pentru reducerea radiației cosmice (fondului natural).

CALCULUL ACTIVITĂȚII UNEI PROBE CU CONȚINUT RADIOACTIV

Formula de calcul pentru evaluarea radioactivității unei probe este dată de relația:

$$A = \frac{(R_p - R_f) \cdot G \cdot 100}{ef \cdot g} \quad (\text{Bq/kg sau l})$$

unde:

- R_p - valoarea medie a numărului de pulsuri (viteza de numărare) pentru proba analizată, în pulsuri/secundă;
- R_f - valoarea medie a numărului de pulsuri pentru fondul natural de radiații, în pulsuri/secundă;
- ef - eficacitatea de numărare (%) a instalației de măsurare, față de un etalon cu activitate cunoscută;
- G - masa totală a probei (în grame); în final activitatea se exprimă pentru kg sau l;
- g - masa probei care se măsoară, în grame.

Formula se referă la determinarea radioactivității alfa sau beta globale din probe de apă, sol, alimente. Pentru depuneri, se exprimă în activitate pe unitatea de suprafață (m^2) și timp (zi, lună, an).

În cazul radionuclizilor emițători de radiații gamma, la numitorul formulei de mai sus se adaugă și factorul de schemă, care este specific fiecărui radionuclid; 0,11 pentru K-40, 0,85 pentru Cs-137 etc.

METODE PENTRU RECOLTAREA, PRELUCRAREA ȘI MĂSURAREA RADIOACTIVITĂȚII PROBELOR DE MEDIU, ALIMENTELOR ȘI PROBELOR BIOLOGICE.

Metodele prezentate sunt utilizate în activitatea de supraveghere a poluării radioactive, unele putând fi folosite și în caz de accident nuclear. Metodele se referă la radionuclizii cu importanță biologică pentru om, dar și la un amestec de radionuclizi, pentru care se determină radioactivitatea alfa sau beta globală.

Atât metodele de recoltare, cât și cele de prelucrare, sunt reglementate de numeroase STAS-uri, la care, în puține cazuri, sunt necesare mici modificări.

Pentru realizarea unor măsurări corecte și obținerea de rezultate utilizabile în calculul dozei de expunere, este necesară folosirea metodelor verificate și acceptate de majoritatea specialiștilor în domeniu.

Anexa prezintă sinteza mai multor Caiete metodologice publicate de Institutul de Igienă și Sănătate Publică București, Institutul de Fizică Atomică București și de Laboratorul pentru supravegherea radioactivității factorilor de mediu (Institutul de Cercetare pentru Ingineria Mediului), precum și a STAS-urilor existente în domeniu.

În Tabelul 1 se prezintă modul de recoltare și de prelucrare a probelor pentru o serie de factori de mediu (aer, depuneri, apă, sol, vegetație) și alimente, în vederea determinării unor radionuclizi artificiali, considerați periculoși pentru om ca: I-131, Cs-137, Sr-90, precum și H-3. Se prezintă, de asemenea, și metodologia de determinare a unor radionuclizi naturali ca: Ra-226, U, Th și K-40, care au o contribuție semnificativă la doza de expunere primită de

om. Pentru recoltarea probelor de mediu și alimentelor este necesară utilizarea unor recipiente curați sau a unor pungi din plastic noi, pe care se lipește o etichetă, pentru a fi scrise: tipul probei, data și locul recoltării.

Probele se cântăresc în stare proaspătă, în funcție de tipul probei, după ce se spală și se tamponează cu hârtie de filtru. Trebuie acordată atenție deosebită alimentelor de origine vegetală pentru a fi analizate identic ca și pentru hrana umană.

Probele în stare lichidă se evaporă pe baia de nisip, se usucă la etuvă, după care se calcinează (lapte, amestec de meniu etc.). Probele solide (sol, vegetație, alimente) se usucă pe baia de nisip sau în etuvă și apoi se calcinează. Calcinarea probelor uscate sau parțial carbonizate se face până la 400°C pentru determinarea Cs-137 și până la 800°C pentru Sr-90, Ra-226, U, Th și K-40.

După calcinare, probele se cântăresc din nou, având în vedere că exprimarea radioactivității se face pentru proba în stare proaspătă sau pentru proba sub formă de cenușă.

După prelucrare, unele probe (sol, vegetație etc.) pot fi măsurate prin spectrometrie gamma, iar altele sunt supuse unor analize chimice de îmbogățire, separare sau concentrare de radionuclizi (în cazul Sr-90).

Pentru evaluarea nivelului de contaminare cu Cs-137 și Sr-90 din diverse tipuri de probe se pot folosi următoarele metode:

- din volume mari de apă (peste 50 l), Cs-137 se determină prin reținerea Cs pe fosfomolibdat de amoniu (PMA) și măsurare beta sub formă de hexacloroplatinat de cesiu. Sr-90, se concentrează sub formă de carbonat, se purifică și apoi se măsoară sub formă de oxalat de Y-90 (descendent sau produs de filiație al Sr-90).

- din sol și sediment, Sr-90 se determină prin extracții succesive, în mediu acid, a metalelor alcalino-pământoase sub formă de oxalați, se separă Sr și apoi se măsoară radiația beta a

descendentului său Y-90. Cs-137 se determină prin spectrometrie gamma.

- concentrațiile mici de Cs-137 din vegetație și alimete se pot determina prin spectrometrie gamma pe timp îndelungat. Dacă limita de detecție a aparaturii spectrometrice nu permite totuși aceste determinări (conținutul radioactiv se situează sub limita de detecție), Cs-137 se poate determina prin prelucrare radiochimică (solubilizarea completă a cenușii, reținere pe PMA și măsurare beta, sub formă de hexacloroplatinat de cesiu). Pentru determinarea Sr-90 din cenușa de vegetație sau alimente de origine animală, se realizează solubilizări, separări și îndepărtarea unor metale alcalino-pământoase, până se ajunge la Y-90 sub formă de oxalat care se măsoară prin radiația beta.

În general, aceleași metode se aplică și determinării activității radionuclizilor Cs-137 și Sr-90 din probe biologice (urină, fecale, sânge sau diverse organe). Urina sau sângele se evaporă, reziduiul fiind apoi prelucrat ca orice probă.

Determinarea contaminării interne umane cu gammaemițători constă dintr-o analiză calitativă (stabilirea radionuclizilor contaminanți) și o analiză cantitativă (determinarea activităților contaminante pentru fiecare radionuclid).

Măsurările de spectrometrie gamma, necesare analizelor calitative și cantitative, pot fi efectuate direct, asupra întregului corp uman (măsurări antropogammametrice), precum și indirect, asupra unor probe biologice (urină, fecale etc.).

Cea mai utilizată metodă de evaluare a activității gammaemițătorilor încorporați o reprezintă determinarea directă, efectuată cu instalațiile antropogammametrice, urmată de analizele corespunzătoare. Importanța acestei metode constă în faptul că, prin plasarea omului contaminat alături de un detector de radiații gamma într-un timp relativ scurt (peste 1000 secunde), se obține o evaluare

directă (*in vivo*) a activității radionuclizilor contaminanți, evitând colectarea și prelucrarea laborioasă a unor probe biologice. Cunoșcând activitățile radionuclizilor contaminanți la momentul măsurării, se pot estima încorporările inițiale, la momentul contaminării și apoi se calculează dozele de expunere pentru diverse organe sau pentru organismul întreg (doze efective și echivalente).

Antropogammametru sau contorul de corp uman (Whole Body Counter) se compune dintr-o incintă mărginită de un blindaj de protecție, pentru micșorarea fondului radioactiv natural, în care se așează subiectul uman într-o anumită geometrie, față de unul sau mai mulți detectori conectați la o instalație de spectrometrie gamma. Evaluarea contaminării se obține prin analiza specifică a spectrelor energetice rezultate din măsurările antropogammametrice, în corelație cu o serie de parametri ai instalației, parametri individuali ai subiectului și datele obținute în urma unor contaminări etalon simulate. În România există 3 instalații antropogammametrice: în cadrul Centrului de Cercetări Științifice Medico-Militare (CCSMM), o instalație tip scaun, la Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară (IFIN) și alta la Centrala Nucleară Electrică de la Cernavodă. Mai există și un antropogammametru mobil, cu care s-au efectuat măsurări prin deplasări în teren la câteva unități nucleare din țara noastră, precum și în zona Bechet, din apropierea CNE Kozlodui - Bulgaria, și la CNE Cernavodă.

Pentru etalonări se folosesc mai multe tipuri de fantome (imitații ale corpului uman constituite din bidoane de plastic conținând soluții radioactive diverse, cu diferite concentrații), omogene sau heterogene.

Interpretarea rezultatelor s-a realizat, la început, prin efectuarea manuală a calculelor necesare, apoi s-au utilizat diverse programe de calcul, pentru mai multe tipuri de calculatoare iar în prezent se utilizează sisteme specializate de calcul.

Tabelul 1. Metode de recoltare, prelucrare și măsurare a

Nr. crt.	Proba analizată	Mod de recoltare	Cantitate recoltată	Prelucrare primară
1	AER	Aspirare aer pe filtru de membrană și/sau cărbune activ la un debit constant.	25-30 m ³	-
2	DEPUNERI ATMOSFERICE - uscate - lichide	Se recoltează în vase din plastic sau porțelan curate și de dimensiuni cunoscute	0,1-1 m ² în 24 ore. sau o lună	Se filtrează și se prelucurează fracțiunile: cea lichidă se evaporă iar hătia de filtru se calcinează.
3	APĂ - potabilă - de suprafață	Se recoltează în vase din plastic, spălate cu apă, detergent, HCl și clătite cu apă din zona de recoltare.	1-3 l 1-3 l 1-100 l 50-100 l 1 l 1 l 3-5 l 5-10 l 0,25-1 l	Apa potabilă și fracțiunea solubilă de la apa de suprafață se prelucurează identic. Apa de suprafață se filtrează prin filtru de hârtie calitativă. Apa de suprafață cu turbiditate ridicată se filtrează după sedimentare. Se evaporă pentru măsurări globale.
4	SOL -acumulare și depunere -migrație în plante SEDIMENT	Se îndalță vegetația, se recoltează cu sonda ('carotier' în profile). Se recoltează cu carotierul sau lopata din stratul arabil. Se recoltează cu draga din apa curgătoare sau lac și cu lopata de la mal. Proba se pune în pungi din plastic.	0,5-1 kg 1-2 kg	La prima recoltare se determină tipul solului. Proba se pune în capsule de porțelan, se usucă pe baia de nisip. Se mojarază fin pentru omogenizare. Se cântăresc probe pentru spectrometrie gamma și analize radiochimice. Se determină tipul de sediment. Se prelucurează identic ca la sol.
5	VEGETAȚIE -furaje -pentru consum uman	Se recoltează în pungi din plastic prin smulgere, rupere sau tăiere.	1-5 kg	Pentru studii migrației radionuclizilor se spală fiecare plantă în parte. Furajele se prelucurează ca pentru hrana animală. Probele se cântăresc în stare proaspătă, se usucă la 105°C și se calcinează.
6	LAPTE ȘI DERIVATE -lapte -derivate	Probele se recoltează în recipiente curate sau pungi din plastic.	1-10 l 1-3 kg	Evaporare pe baia de nisip; Uscare la 105°C; Calcinare la 400°C (Cs-137) și 800°C (Sr-90, Ra, U, Th, K-40).
7	CARNE ȘI DERIVATE -carne -oase -derivate PEȘTE	Probele se recoltează în pungi din plastic.	1-3 kg 1-3 kg	Cântărire; Uscare la 105°C; Calcinare la 400°C (Cs-137) și 800°C (Sr-90, Ra, U, Th, K-40). Idem pentru pește.
8	ALTE PROBE -menu -făină -produse de panificație	Probele se recoltează în recipiente sau pungi din plastic.	menu/zi 1-3 kg 1-3 kg	Cântărire, evaporare pe baia de nisip, uscare la 105°C. Calcinare la 400°C (Cs-137) și 800°C (Sr-90, Ra, U, Th, K-40).

unor probe de mediu și alimente.

Activitate radionuclizi	Măsurarea radioactivității	Principiul metodei radiochimice, STAS-urii	Exprimare rezultate
alfa, beta, I-131, Cs-137	alfa, beta, spectrometrie gamma spectrometrie gamma	-	Bq/m ³
alfa, beta Sr-90 Cs-137, I-131 H-3	alfa, beta beta spectrometrie gamma lichid scintilație	precipitare și măsurare Y-90	Bq/m ² /24 ore
alfa, beta emițători gamma Cs-137 Sr-90 H-3 I-131 Ra-226 U, Th K-40	alfa, beta spectrometrie gamma spectrometrie gamma beta lichid scintilație spectrometrie gamma alfa alfa măsurare K	STAS-10447/1.2/1983 STAS-12327/1985 PMA, STAS-12303/1985 idem depunerii. STAS-12218/3/1985 îmbogățire. STAS-12293/1985 concentrare. STAS-12218/1984 coprecipitare. STAS-10447/3/85 complexare. STAS-12130/82 flamfotometrie. STAS-11592/1983	Bq/dm ³ (l)
beta Cs-137 Sr-90 Ra-226 U, Th K-40 idem ca la sol	beta spectrometrie gamma beta spectrometrie gamma spectrometrie gamma spectrometrie gamma	extracție acidă, măsurare Y-90 STAS-12248/1984	Bq/m ² Bq/kg Bq/kg
Cs-137 Sr-90 Ra-226 U, Th K-40	spectrometrie gamma beta spectrometrie gamma colorimetrie flamfotometrie sau spectrometrie gamma	extracție acidă, măsurare Y-90	Bq/kg proaspăt sau cenușă Bq/kg consumabil
Cs-137 Sr-90 I-131 Ra-226 U, Th K-40	spectrometrie gamma beta spectrometrie gamma alfa colorimetrie flamfotometrie (K)	separare Y. STAS-12174/87 STAS-12582/1987 STAS-12540/1987 STAS-12380/1985 STAS-10115/1984	Bq/l Bq/kg
Cs-137 Sr-90 Ra-226 U, Th K-40	spectrometrie gamma beta alfa spectrometrie gamma spectrometrie gamma	coprecipitare, separare Y, coprecipitare ca SO ₄ -Ba, Ra	Bq/kg
Cs-137 Sr-90 Ra-226 U, Th K-40	spectrometrie gamma beta alfa spectrometrie gamma spectrometrie gamma	separare Y. STAS-12311/85	Bq/24 ore Bq/kg

EVALUAREA DOZEI DE EXPUNERE [34].

Pentru evaluarea expunerii organismului datorată unor surse de radiații, este necesară stabilirea căilor de expunere. Există două căi principale și anume: expunerea externă și expunerea internă.

Expunerea externă se datorește contaminării radioactive a solului sau a obiectelor înconjurătoare (clădiri, arbori), a aerului, dar și prezenței unui nor radioactiv. Contaminarea solului poate fi superficială sau volumică. O baie într-o apă de suprafață (râu, lac, mare) contaminată radioactiv contribuie la expunerea externă a organismului. Expunerea externă se poate determina experimental, măsurând doza absorbită sau debitul acestei mărimi cu ajutorul unor dozimetre sau a detectorilor cu termoluminescență, în locul în care se găsește persoana, pentru care se efectuează investigația dozimetrică. Expunerea externă poate fi totodată calculată prin modelare ținând seamă de cunoașterea surselor radioactive care contaminatează aerul atmosferic, obiectele înconjurătoare și solul.

Expunerea internă apare ca urmare a inhalării aerului contaminat radioactiv sau/și a ingerării apei și alimentelor contaminate radioactiv. Expunerea internă se determină indirect, pentru aceasta este necesar să se cunoască concentrația radioactivă și cantitatea încorporată a substanțelor care intră în organism - aerul, apa și alimentele. Pentru evaluarea dozei de expunere internă sunt mai multe metode:

- **metoda a I-a.** Una din principalele metode folosite se bazează pe cunoașterea mărimii limita anuală de încorporare (LAI), definită în Anexa 1. LAI este activitatea, în Bq, a unui radionuclid, care, încorporată timp de un an de către "omul de referință", conduce la o expunere a organismului cu o doză efectivă (DE) egală cu 50 mSv. Limita anuală de încorporare se definește atât pentru inhalare (LAI_i), cât și pentru ingerare (LAI_g). În Tabelul 6.1 sunt date valorile LAI_i și LAI_g pentru 22 radionuclizi importanți pentru iradierea internă a organismului, în cazul expunerii profesionale.

Tabelul 6.1 Limita anuală de încorporare (LAI) pentru ingerare (g) și inhalare (h) în cazul expunerii profesionale.

Z	Radio-nuclid	A	T_f (d)	LAI _g (MBq)	LAI _h (MBq)
19	K	40	4.10^{11}	10	10
27	Co	57	271	200*	20*
27	Co	60	1920	7*	1*
38	Sr	89	51	20	5
38	Sr	90	10^4	1*	0,1*
39	Y	90	2,67	20	20*
40	Zr	95	64	50	5*
40	Zr	97	0,71	20	50*
41	Nb	95	35	80	40*
42	Mo	99	2,75	40*	50*
44	Ru	103	39,3	70	20*
52	Te	132	3,3	8*	8*
53	I	131	8,04	1*	2*
53	I	132	0,1	100*	300*
53	I	133	0,87	5*	10*
55	Cs	134	753	3	4
55	Cs	136	13,2	20	20
55	Cs	137	10^4	4	6
56	Ba	140	12,7	20	50
57	La	140	1,68	20	40*
58	Ce	141	32,4	60*	20*
64	Gd	153	240	200	5*

*) Pentru unele combinații chimice sau în unele organe se admit valori ceva mai mari.

Pentru utilizarea în practică a valorilor LAI sunt necesare două observații:

1. Precizarea "expunere profesională" se referă la încorporarea unei activități egală cu LAI care este echivalentă cu $DE = 50$ mSv pe an. În cazul "expunerii populației" se admite că o zecime din LAI

conduce la $DE = 5 \text{ mSv}$ pe an.

2. Se folosește aproximația că o activitate egală cu LAI încorporată pe o durată mai mică decât un an (în practică se folosește luna) conduce, la o DE egală cu 50 mSv pe acea durată.

Dacă *omul de referință* folosește pentru băut și alimentație 3 litri de apă zilnic, adică cca 100 l pe lună și dacă se cunoaște concentrația radioactivă a apei C_a (Bq/l) pentru radionuclidul R, atunci activitatea ingerată într-o lună a acelui radionuclid este:

$$A = C_a \cdot 100 \text{ (Bq)}$$

$(LAI)_R$ fiind limita anuală de încorporare a radionuclidului R, contribuția încorporării acestuia la expunerea internă este:

$$(DE)_R = \frac{A \times 50}{(LAI)_R} \text{ (mSv)}$$

Fie A activitatea ingerată lunar (în Bq) și LAI_g limita anuală de încorporare la ingerare (în Bq) pentru același radionuclid. EDE pentru iradierea internă în luna respectivă este $A \times 50 / LAI_g$ (în mSv). Pentru mai mulți radionuclizi valoarea lunară totală este dată de suma valorilor corespunzătoare tuturor radionuclizilor. Valoarea anuală se obține din suma valorilor lunare. Deși aproximativă, metoda propusă este rapidă, pentru că se bazează în primul rând pe o dietă medie convențională.

- **metoda a II-a**, constă în calculul echivalentului dozei (H, în Sv) într-un organ, ținând seama de concentrația în aer sau în produsul ingerat (C, în Bq/m³ sau kg), de aportul zilnic (sau rata de încorporare, RI în m³ sau kg/zi, depinzând de vârstă, sex, obiceiuri), fracțiunea de localizare în organ (f, nedimensional), factor de doză (FD, în Gy/Bq, depinzând de radionuclid) și factorul de conversie sau de calitate (FC, în Sv/Gy, funcție de tipul radiației: astfel, pentru fotoni și electroni, FC = 1):

$$H = C \times RI \times f \times FD \times FC$$

Metoda este simplă și practică, este ușor adaptabilă în situația unor radionuclizi care se localizează preferențial într-un organ, cum este iodul radioactiv care are tiroida ca organ critic. Având calculat echivalentul dozei într-un țesut sau organ, consecințele globale pentru individ ale acestei iradierii suplimentare sunt exprimate corespunzător de calculul dozei efective (E), prin formula:

$$E = W_T \times H_T$$

unde H_T este echivalentul dozei în țesutul T iar W_T este un factor ponderal pentru țesutul T, care ține seama de sensibilitatea diferită pentru inducerea de efecte stocastice (în particular, cancer letal), ca urmare a iradierii diferitelor organe sau țesuturi. De exemplu, pentru tiroidă, recomandările recente ale ICRP dau $W_T = 0,05$.

- metoda a III-a. Este cea mai simplă metodă și este recomandată de cele mai recente reglementări internaționale (ICRP 60). Aceasta constă în aplicarea directă a unui factor de doză (FDI), ce permite calcularea dozei efective pe durata întregii prezențe în organism a radionuclidului încorporat, așa zisa "doză angajată" (DA).

$$DA = A \times FDI$$

unde A este activitatea (Bq) încorporată.

Calcululele se bazează și pe consumul mediu anual real al populației României, raportat în Anuarul Statistic.

MARIMI ȘI UNITĂȚI.

Caracterizarea radioactivității factorilor de mediu:

Activitatea Λ a unei surse radioactive este dată de numărul tranzițiilor nucleare spontane (dezintegrări radioactive), dN , în intervalul elementar de timp, dt ,

$$\Lambda = dN/dt$$

Unitatea SI pentru activitatea unui radionuclid este dezintegrarea pe secundă, cu simbolul s^{-1} (se mai utilizează și dez/s) iar numele special este becquerel (Bq).

Unitatea tolerată: $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Pentru surse radioactive răspândite pe o suprafață, într-un volum sau într-un corp cu o anumită masă, se folosesc trei mărimi cu unitățile SI respective:

Activitate superficială	Bq/m ²
Activitate volumică	Bq/m ³
Activitate masică	Bq/kg

Notă: La o dezintegrare radioactivă pot apare mai multe tipuri de radiații, conform schemei de dezintegrare a respectivului radionuclid.

Conținutul radioactiv al unui component al mediului, ca și a apei de băut sau alimentelor, se stabilește prin concentrația radioactivă, care poate fi volumică (activitate pe volum) sau masică (activitate pe masă) și are unitățile: Bq/m³ și, respectiv, Bq/kg.

Pentru radioactivitatea solului și în special pentru a verifica originea acesteia (căderile radioactive), se folosesc trei mărimi:

- depunerea radioactivă pe sol este activitatea materialului solid și/sau lichid depus pe suprafața plasată în aer liber, cu aria de un metru pătrat, pe o durată determinată (de obicei o zi). Unitatea uzuală este Bq/(m².d). Valorile depunerii radioactive pe aceeași suprafață pot fi însumate pe o durată mai mare, obținându-se astfel depunerea radioactivă cumulată, exprimată în Bq/m² pe durata de cumulare. Depunerea radioactivă cumulată nu este o mărime măsurabilă, ci este o mărime care se calculează;

- activitatea superficială a solului la timpul t , în Bq/m², este mai mică decât depunerea radioactivă cumulată până la timpul t , din cauza dezintegrării radioactive în timp a radionuclizilor și a antrenării depunerilor de la suprafață în interiorul solului și spre râuri, de

către apa provenită din precipitații; aceasta este o mărime măsurabilă;

- acumularea în sol este definită ca suma depunerilor radioactive anterioare (depunere radioactivă cumulată) corectată cu reducerea datorată dezintegrării radioactive în timp, iar pentru unii radionuclizi, și cu reducerea datorată antrenării în straturile profunde ale solului (sub stratul vegetal, a cărui grosime este considerată 40 cm). Acumularea în sol se măsoară cu aceeași unitate ca și depunerea radioactivă: Bq/m², deși se referă la conținutul radioactiv volumic al solului. Dacă se presupune că radionuclidul considerat rămâne omogen distribuit într-un strat cu grosimea g , concentrația radioactivă în sol (activitatea masică) a aceluia radionuclid, exprimată în Bq/kg, se obține prin raportul dintre acumularea în sol și masa stratului de sol, cu aria de un metru pătrat și grosimea g .

Cu privire la ultimele mărimi trebuie subliniat că acumularea în sol arată istoria contaminărilor radioactive anterioare, pe când depunerea radioactivă este mărimea care avertizează, în primul moment asupra creșterii contaminării radioactive ambiante.

Mărimile dozimetriei și radioprotecției.

Termenul de "doză" este adesea utilizat într-un sens general și anume: cantitatea de energie a radiațiilor absorbită de un "mediu". Corect, acest termen trebuie să fie însoțit de un calificativ, ca de exemplu "doza absorbită", "doză efectivă", "echivalentul dozei", "echivalentul dozei efectiv", "echivalentul dozei efectiv angajat", "echivalentul dozei efectiv colectiv".

Doza absorbită, D , este raportul între energia medie dE cedată de către radiațiile ionizante unității de masă dm a substanței străbătute,

$$D = dE / dm$$

Unitatea SI este J/kg, cu denumirea specială gray (Gy).

Echivalentul dozei, H_j , este produsul între doza absorbită D și factorul de calitate Q_j la care se referă mărimea H_j ,

$$H_j = D \times Q_j$$

Factorul de calitate al unei radiații este definit în Norme (Standarde de bază de radioprotecție) ca factorul de ponderare al dozei absorbite la definirea echivalentului dozei. De fapt, Q_j reprezintă

eficacitatea biologică relativă a radiației j ; pentru radiații X, gamma și electroni $Q = 1$, pentru radiațiile alfa $Q = 20$ iar pentru neutroni $Q = 5$ la 20.

Unitatea SI este aceeași cu a dozei absorbite, dar pentru separarea sensurilor a primit denumirea specială sievert (Sv).

Doza Efectivă (DE) sau Echivalentul Dozei Efectiv (EDE), H_E , pentru un organism, în cazul iradierii țesutului T , este produsul dintre valoarea medie a echivalentului dozei în țesutul T , H_T și factorul de ponderare w_T ,

$$H_E = \sum_T H_T \cdot w_T$$

Pentru mărimea H_E se folosește prescurtarea EDE. Valorile factorului de ponderare w_T sunt de 0,03 pentru tiroidă și suprafața oaselor iar pentru alte organe (gonade, măduva roșie, plămân etc.) se situează între 0,12 și 0,3, conform datelor din Standarde de bază de radioprotecție. Unitatea SI este aceeași cu a măsurii precedente, sievertul.

Angajarea echivalentului dozei efectiv, H_{EC} , rezultând dintr-o decizie sau dintr-o activitate dată, este integrala pe un timp infinit a debitului echivalentului dozei efectiv pe individ, $H_E(t)$ pentru o populație dată:

$$H_{EC} = \int_0^{\infty} H_E(t) dt$$

Numărul de persoane iradiate nu este necesar să fie constant.

Este, de asemenea, posibil a defini o angajare a echivalentului dozei efectiv colectiv. Acesta poate fi obținut prin integrarea debitului echivalentului dozei efectiv colectiv.

Echivalentul dozei efectiv angajat, $H_{E,50}$, rezultând dintr-o încorporare de material radioactiv în organism este echivalentul dozei efectiv care s-ar acumula în timpul a 50 ani după încorporare:

$$H_{E,50} = \int_{t_0}^{t_0 + 50 \text{ ani}} H_E(t) dt$$

unde $H_E(t)$ este debitul echivalentului dozei efectiv, rezultând dintr-o încorporare, iar t_0 este momentul încorporării.

Uneori, este necesar a extinde timpul de iradiere dincolo de cei 50 ani cu scopul de a evalua "uoza relativ la întreaga viață" a individului.

Echivalentul dozei efectiv colectiv, S_E , dă o măsură a detrimentului total al sănătății, provocat de o sursă de radiații ionizante date, și se definește astfel:

$$S_E = \int_0^{\infty} H_E P(H_E) dH_E$$

unde $P(H_E)dH_E$ definesc numărul de indivizi care primesc un echivalent al dozei efectiv cuprins între H_E și $H_E + dH_E$, de la o sursă dată. Unitatea pentru S_E este sievert.om (Sv.om).

Limita anuală de încorporare (LAI) este activitatea (în becquereli) încorporată, prin inhalare, ingestie sau prin piele, a unui anumit radionuclid pe durata unui an, de către "omul de referință" care poate produce o doză angajată egală cu doza limită corespunzătoare. Această nouă definiție a limitei anuale de încorporare adoptată de forurile științifice internaționale, necesită precizarea că doza limită tinde a se diversifica. Astfel, pentru expunerea profesională, doza (efectivă) limită este egală cu 20 mSv pe an mediată pe cinci ani consecutivi sau 50 mSv într-un singur an; pentru expunerea populației, doza (efectivă) limită este 1 mSv pe an, dar se admite, în condiții speciale, 5 mSv într-un an cu condiția ca media în cinci ani consecutivi să nu depășească 1 mSv pe an. În plus, normele internaționale tind să stipuleze doze limită pentru ochi, piele sau extremitățile membrelor.

Aceste noi valori ale dozei limită ar impune diverse valori ale mărimii LAI pentru un radionuclid. Pentru a depăși situația arătată aici normele internaționale tind spre folosirea mărimii: Doza efectivă angajată pe unitatea de încorporare care se măsoară în Sv/Bq și care se mai folosește sub denumirea de "factor de doză la încorporare".

Limita derivată de concentrație în aer, numită în normele mai vechi concentrația maximă permisă în aer pentru un radionuclid dat, este concentrația radioactivă în aer a aceluia radionuclid, în Bq/m³, care, dacă este inhalată (inspirată) de către "omul de referință" într-un an de lucru de 2000 ore, în condiții de activitate fizică ușoară (ritm respirator de 1,2 m³/oră) antrenează o încorporare prin inhalare egală cu un LAI sau concentrația care în timpul a 2000 ore de activitate în aer conduce la o iradiere a oricărui organ sau jesut egală cu limita de iradiere permisă.

Pentru iradierea organismului datorată descendenților, cu timpul de înjumătățire mic, ai Rn-222 (Po-218, Bi-214, Pb-214 și Po-214) și Rn-220 (Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 și Tl-208), limita anuală a incorporării (în publicațiile mai vechi se preciza "prin inhalare") de radon sau thoron, este valoarea din radionuclid exprimată sub formă de energie alfa (emisă prin dezintegrare) a descendenților care produce o expunere egală cu limita anuală de iradiere normată.

Unitatea SI, a limitei anuale de încorporare pentru Rn, este joule (J). Valorile de interes ale acestei mărimi sunt:

- 0,02 J pentru descendenții radionuclidului Rn-222,
- 0,06 J pentru descendenții radionuclidului Rn-220.

Expunerea integrată în timp datorată unei concentrații de radon sau thoron în aerul inhalat la locul de muncă are o unitate încă utilizată în practică: nivel de lucru lunar (NLL sau WLM - *working level month* în limba engleză) care este egal cu $3,5 \text{ mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ sau 170 NL.h unde nivelul de lucru (NL) este o combinație de radon sau thoron, inclusiv descendenții, într-un litru de aer care conduce la o emisie de energie alfa egală cu $1,3\cdot 10^5 \text{ MeV}$. Unitatea NL în SI este echivalentă cu $2,1\cdot 10^{-5} \text{ J}/\text{m}^3$.

Tabelul 1. Transformarea unităților de măsură din radiometrie și dozimetrie vechi în cele noi (SI).

mărim	sistem vechi		sistem internațional				relații de transformare
	nume	simbol	unitate	simbol	nume	simbol	
activitate radionuclid	curie	Ci	inversul secundei	s^{-1}	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 27,03 \times 10^{-12} \text{ Ci}$ $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
expunere - N p.r	rontgen	R	coulomb pe kg	$\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$	-	-	$1 \text{ C}/\text{kg} = 3876 \text{ R}$
debitul expunerii	rontgen pe secundă	R/s	amper pe kilogram	$\frac{\text{A}\cdot\text{kg}^{-1}}{\text{s}}$ $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	-	-	$1 \text{ A}/\text{kg} = 3876 \text{ R}/\text{s}$
doză absorbită	$\text{rad}^{1)}$	rad	joule pe kilogram	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	Gray	Gy	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
debitul dozei absorbite	rad pe secundă	rad/s	watt pe kilogram	$\frac{\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}}{\text{s}}$ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	gray pe secundă	$\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$	$1 \text{ Gy}/\text{s} = 100 \text{ rad}/\text{s}$
echivalentul dozei	rem ²⁾	rem	joule pe kilogram	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

¹⁾ Radiation Absorbed Dose

²⁾ Rontgen Equivalent Man

DOZE ȘI CONCENTRAȚII MAXIM ADMISE

Tab. 1 Valorile limitelor de atenționare, avertizare și alarmare pentru radioactivitatea beta globală a factorilor de mediu [29].

Factor de mediu	Activitate	Atenționare	Avertizare	Alarmare
A E R	Bq/m ³	3,7	18,5	37
DEPUNERI	Bq/m ² .zi	1	5	10
A P Ā	Bq/l	0,37	1,85	3,7

Tab. 2 Niveluri de contaminare a alimentelor (Bq/kg sau l) sub care nu se recomandă să se introducă măsuri de protecție pentru o perioadă de un an după un accident nuclear [29].

Radionuclid Aliment	Am-241, Pu-239	Sr-90	I-131, Cs-134 Cs-137
lapte și alimente pentru sugari	1	100	1000
alimente pentru consum general	10	100	1000

Tabelul 3. Doze maxim admise pentru personalul expus profesional și populație [5]

Nr. crt.	Zona expusă	Valoarea dozei maxim admise în mSv/an:	
		profesionali	populație
1.	Intregul corp, gonade, cap și trunchi, organe hematopetice, cristalin	50	5
2.	Cristalin	50	5
3.	Alte organe izolate	300	30
4.	Oase, piele. Măini, antebrațe sau picioare.	750	75

Tabelul 4. Doze maxim admise pentru personalul expus profesional și populație (proiect) [36].

Nr crt	Zona expusă	Valoarea dozei maxim admise în mSv/an:	
		profesionali	populație
1.	Intregul corp	20 ^{*)}	1 ^{**)}
2.	Cristalin	150	15
3.	Oase, piele.	500	50
4.	Măini, antebrațe sau picioare.	500	50

^{*)} 20 mSv/an = media pe o perioadă definită de 5 ani, fără să depășească 50 mSv într-un an.

^{**)} în situații speciale (accident nuclear) se poate accepta o limită mai mare, cu condiția ca media pe 5 ani să nu depășească 1 mSv.

Tabelul 5. Concentrații maxim admise în apă pentru un amestec de radionuclizi cu o compoziție parțial necunoscută [5].

Condiții	Concentrația maxim admisă (Bq/l)	
	Expunerea profesională	Expunerea populației
Dacă nu este prezent nici unul din radionuclizii: Ac-227, Cf-254, Cm-248, Fm-256, I-129, Pa-231, Pb-210, Po-210, Ra-223, Ra-226, Ra-228, Sr-90, Th-nat, U-232, U-nat.	3333,3	74,07
Dacă nu este prezent nici unul din radionuclizii: Cf-254, I-129, Pb-210, Ra-226, Ra-228.	2222,2	14,81
Dacă nu sunt prezenți radionuclizii: Ra-226, Ra-228.	111,1	3,70
Dacă nu există nici o indicație asupra compoziției amestecului.	11,1	0,37

Nota 1: Valorile de mai sus nu sunt valabile pentru apa de băut, care trebuie să respecte normele de calitate prevăzute pentru apa potabilă.

Nota 2: STAS 1342/1991 - apă potabilă, stabilește CMA pentru un amestec de radionuclizi emițători de radiații beta la 1 Bq/l (dm^3) iar pentru radionuclizii emițători de radiații alfa la 0,1 Bq/l (dm^3).

Aceste valori maxime admise corespund unui aport al apei potabile la doza de expunere pentru populație, de 0,05 mSv/an, la un consum zilnic de 2 dm^3 apă.

Pentru alimente și pe radionuclizi, CMA se stabilește de Ministerul Sănătății în funcție de gravitatea accidentului nuclear.

Tab. 6 Activitatea specifică (Bq/dm³), pe radionuclizi prezenți în apa potabilă (STAS 1342/1991).

Radionuclid	Activitate specifică*		Metode de analiză
	admisă	excepțională	
Hydrogen-3	4000	-	STAS 1293-85
Potasiu-40**)	11,42	-	STAS 11591-87
Radon-222	300	-	STAS 12031-84
Radiu-226	0,088	0,5	STAS 10447-85
Radiu-228	0,1	-	**
Plumb-210	0,025	0,4	STAS 12435-85
Poloniu-210	0,136	-	STAS 12444-86
Uraniu nat.	0,59	1	STAS 12130-82
Thoriu nat.	0,04	0,1	STAS 12130-82
Cobalt-58	60	-	**
Cobalt-60	10	-	**
Strontiu-89	30	-	**
Strontiu-90	0,55	53	STAS 12038-81
Iod-129	0,6	-	**
Iod-131	5	530	STAS 12218-84
Cesiu-134	4	-	**
Cesiu-137	5	600	STAS 12303-85
Americiu-241	0,1	-	**
Plutoniu-239	0,024	2,3	**

Tabelul 7. Concentrații maxim admise în aer pentru un amestec de radionuclizi cu o compoziție parțial necunoscută.

Condiții	Concentrația maxim admisă (mSv/m ³)	
	Expunerea profesională	Expunerea populației
Dacă nu sunt prezenți radionuclizi alfa emițători și dacă sunt absenți următorii radionuclizi beta emițători: Ac-227, Bk-249, I-129, Pa-230, Pb-210, Pu-241, Ra-228.	111	3,7
Dacă nu sunt prezenți radionuclizi alfa emițători și dacă sunt absenți următorii radionuclizi beta emițători: Ac-227, Pb-210, Pu-241, Ra-228.	11,1	0,37
Dacă nu sunt prezenți radionuclizi alfa emițători și dacă este absent Ac-227.	1,11	0,037
Dacă nu sunt prezenți nici unul din radionuclizii: Ac-227, Cf-249, Cf-251, Cm-248, Pa-231, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Th-230, Th-232.	0,11	0,004
Dacă nu sunt prezenți nici unul din radionuclizii: Cf-249, Cf-251, Cm-248, Pa-231, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244.	0,07	0,0026
Dacă nu este prezent Cm-248	0,026	0,0015
Dacă nu există nici o indicație privitoare la compoziția amestecului.	0,022	0,0007

CLASIFICAREA PRINCIPALILOR RADIONUCLIZI DUPĂ RADIOTOXICITATE

- **GRUPA I-a - radiotoxicitate foarte mare:** *Ac-227*, Am-241, Am-243, Np-237, *Pb-210*, *Po-210*, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242, *Ra-223*, *Ra-226*, *Ra-228*, *Th-227*, *Th-228*, *Th-230*, *U-230*, *U-232*, *U-233*, *U-234*.

- **GRUPA II-a - radiotoxicitate mare:** *Ac-228*, Ag-110m, Ba-140, Ca-45, Cd-115m, Ce-144, Co-56, Co-60, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Eu-154, I-124, I-126, I-131, I-133, In-114m, Ir-192, Mn-54, Na-22, *Pb-212*, *Ra-224*, Sb-124, Sb-125, Sc-46, Sr-89, Sr-90, Ta-182, Tb-160, Te-127m, Te-129m, *Th-234*, *Tl-204*, *U-236*, Y-90, Zr-95.

- **GRUPA III-a - radiotoxicitate medie:** A-41, Ag-105, Ag-111, As-73, As-76, As-77, Au-196, Au-198, Au-199, Ba-131, *Be-7*, *Bi-206*, *Bi-212*, Br-82, C-14, Ca-47, Cd-109, Cd-115, Ce-141, Ce-143, Co-57, Co-58, Cr-51, Cs-131, Cs-136, Cu-64, Dy-165, Dy-166, F-18, Fe-52, Fe-55, Fe-59, I-130, I-132, I-134, I-135, In-115m, Ir-190, Ir-194, K-42, K-43, Kr-85m, Kr-87, La-140, Lu-177, Mn-52, Mn-56, Mo-99, Na-24, Nb-93m, Nb-95, Nd-147, Nd-149, Ni-63, Ni-65, Np-239, Os-185, Os-191, Os-193, P-32, Pd-103, Pd-109, Pm-147, Pm-149, Pr-143, Pt-191, Pt-193, Pt-197, Rb-86, Re-183, Re-186, Re-188, Rh-105, *Rr-220*, *Rn-222*, Ru-97, Ru-103, Ru-105, S-32, Sb-122, Sc-47, Sc-48, Sc-75, Si-31, Sm-151, Sm-153, Sn-113, Sn-125, Sr-85, Sr-91, Tc-96, Tc-97m, Tc-97, Tc-99, Te-125m, Te-127, Te-129, Te-131m, Te-132, *Th-231*, *Tl-200*, *Tl-201*, *Tl-202*, Tm-171, V-48, W-185, W-187, Xe-135, Y-90, Y-92, Y-93, Yb-175, Zn-65, Zn-69m, Zr-97.

- **GRUPA IV-a - radiotoxicitate mică:** A-37, Co-58m, Cs-134m, Cs-135, Ge-71, H-3, I-129, In-113m, Kr-85, Nb-97, Ni-59, O-15, Os-191m, Pt-193m, Pt-197m, Rb-87, Re-187, Rh-103m, Sm-147, Sr-85m, Tc-96m, Tc-99m, *Th-232*, *Th-nat*, *U-235*, *U-238*, *U-nat*, Xe-131m, Xe-133, Y-91m, Zn-69, Zr-93.

) radionuclizii naturali sunt prezentați cu caractere italice.

P R E F I X E S I
pentru multipli și submultipli

+ 24	Y	yotta	-	24	y	yocto
+ 21	Z	zetta	-	21	z	zepto
+ 18	E	exa	-	18	a	atto
+ 15	P	peta	-	15	f	femto
+ 12	T	tera	-	12	p	pico
+ 9	G	giga	-	9	n	nano
+ 6	M	mega	-	6	μ	micro
+ 3	k	kilo	-	3	m	mili
+ 2	h	hecto	-	2	c	centi
+ 1	da	deca	-	1	d	deci

Sunt scrise numai puterile lui 10, la fiecare prefix, dându-se simbolul și denumirea.

Exemplu:

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m} = 10^{15} \text{ am} = 10^{21} \text{ ym}$$

**RADIOECOLOGIE ȘI MANAGEMENTUL
ACCIDENTULUI NUCLEAR**
Teste pentru examen⁷⁾

1. Proprietatea unor nuclizi radioactivi (izotopi radioactivi) de a suferi în mod spontan anumite transformări însoțite de emisia unor radiații se numește:
 - a. fisiune nucleară
 - b. fuziune nucleară
 - c. radioactivitate
2. Scindarea unui nucleu atomic în două sau mai multe fragmente prin bombardarea cu neutroni, însoțită de degajare de energie se numește:
 - a. fuziune nucleară
 - b. radioactivitate naturală
 - c. fisiune nucleară
3. Radionuclizii rezultați în urma fisiunii atomilor grei de U-235, U-238, Pu-239 etc. se numesc:
 - a. produși de fuziune
 - b. produși de fisiune
 - c. radionuclizi cosmogeni
4. Detectarea radiațiilor ionizante are la bază fenomenele de:
 - a. ionizare directă
 - b. fisiune nucleară
 - c. ionizare indirectă
 - d. activarea nucleelor
5. Reacția de fisiune se utilizează pentru obținerea energiei utilizată în:
 - a. reactorul de fisiune
 - b. bomba atomică
 - c. bomba cu hidrogen
 - d. reactorul de fuziune
6. Radiațiile alfa, beta, neutronice și protonice sunt:
 - a. radiații corpusculare
 - b. radiații electromagnetice
 - c. radiații infraroșii
7. Radiațiile corpusculare încărcate electric sunt:
 - a. alfa
 - b. beta
 - c. ionii accelerați
 - d. neutronii
8. Energia radiațiilor se măsoară în:
 - a. Gy
 - b. Bq
 - c. Sv
 - d. eV
9. Principalele fenomene fizice care apar în interacția radiațiilor cu materia sunt:
 - a. ionizarea
 - b. radioactivitatea
 - c. excitarea
10. Unitatea de măsură de radioactivitate este:
 - a. Bq
 - b. Gy
 - c. Sv
 - d. C/kg

⁷⁾ Răspunsurile corecte se notează cu 0,1 puncte. Nota se calculează astfel: $90 \times 0,1 = 9$, la care se adaugă un punct din oficiu.

11. Unitatea de măsură pentru doza echivalentă este:

- a. Bq b. Gy c. Sv d. C/kg.

12. Perioada de timp necesară unui radionuclid ca activitatea sa să scadă la jumătate se numește:

- a. timp de înjumătățire fizică (T_f)
 b. timp de înjumătățire biologică (T_b)
 c. timp de înjumătățire efectivă (T_e)
 d. radioactivitate

13. Perioada de timp în care numărul de nuclee ale unui element chimic sau radionuclid se reduce la jumătate, prin procese metabolice se numește:

- a. timp de înjumătățire fizică (T_f)
 b. timp de înjumătățire biologică (T_b)
 c. timp de înjumătățire efectivă (T_e)
 d. radioactivitate

14. Efectele somatice ale radiațiilor ionizante se manifestă, cel mai adesea, sub formă de:

- a. leucemie b. mutații genetice
 c. cancer d. alterarea codului genetic

15. Efecte somatice imediate care apar, de obicei, după expuneri localizate sunt:

- a. boala de iradiere b. radiodermite
 c. cancer d. leziuni oculare e. sterilitate

16. Efecte ale expunerii embrionului uman la doze de radiații relativ mici sunt:

- a. retardare mentală b. boală de iradiere c. convulsii
 d. radiodermite e. coeficient de inteligență scăzut
 f. dimensiuni crescute ale cutiei craniene

17. Expunerea totală a omului la radiații ionizante poate produce boala de iradiere la doze de:

- a. sub 1 Gy b. peste 1 Gy c. 0,1 Gy

18. Efectele genetice, mai cunoscute, apărute la descendenți sunt:

- a. hipertensiune arterială b. predispoziție la diabet
 c. malformații d. radiodermite e. retardare mentală
 f. tulburări de dezvoltare

19. Organismele cu doză letală 50% (DL_{50}) sub 10 Gy sunt:

- a. mamifere b. păsări c. bacterii
 d. alge e. protozoare

20. Moartea omului, în urma iradierii totale, se produce în câteva zile la doza de:

- a. 100 Gy b. 10 Gy c. 2 Gy d. 1 Gy

21. Expunerea omului la doze subletale produce, de obicei:
 a. radiodermite b. diminuarea longevității
 c. reducerea natalității d. alterarea genomului
 e. moartea în câteva luni de la iradiere
22. Doza la care se consideră că nu apar efecte biologice semnificative și ușor de decelat se numește:
 a. doză de iradiere maximă b. doză de iradiere minimă
 c. doză de iradiere acceptată
23. Doza efectivă de expunere medie anuală pe glob datorată fondului natural de iradiere este:
 a. 5 mSv/an b. 2,4 mSv/an c. 1 mSv/an
24. Radioactivitatea naturală se compune, în principal, din sursele:
 a. radiația cosmică b. radiația telurică
 c. produși de fisiune d. produși de activare
25. Principalii radionuclizi cosmogeni sunt:
 a. U-235, U-238, Th-232 b. Cs-137, Sr-90, I-131
 c. Be-7, H-3, C-14
26. Radionuclizii primordialii cu abundență mare sunt:
 a. Cs-137, Sr-90, I-131 b. K-40, U-238, Th-232,
 c. C-14, H-3, Be-7
27. Principalele serii radioactive naturale sunt cele ale:
 a. Be-7, Be-10, Br-87 b. Cs-137, Sr-90, I-131
 c. U-238, U-235, Th-232
28. Radioactivitatea naturală a solului și organismelor este dată, în principal, de:
 a. K-40, Ra-226 b. Cs-137, Sr-90 c. radon și thoron
29. Radioactivitatea naturală a aerului este dată, în principal, de:
 a. K-40, Ra-226, b. Cs-137, Sr-90 c. radon și thoron
30. Conținutul radioactiv al K-40, în organismul uman, are valoarea medie de:
 a. 540 Bq/kg b. 55 Bq/kg c. 0,13 Bq/kg d. 3850 Bq
31. Radionuclidul natural cu o activitate de cca 50 Bq în meniu este:
 a. Ra-226 b. Po-210 c. U-238 d. K-40
32. În cadrul dozei de expunere a omului dată de sursele naturale, contribuția de peste 50% este dată de:
 a. radiația cosmică b. radon și descendenți
 c. radiația gamma terestră
33. Metabolizarea radionuclizilor de către organisme este identică sau asemănătoare cu unele elemente chimice pentru:
 a. Po-210, U-238, Pu-239 b. H-3, C-14, K-40, I-131
 c. Sr-90, Cs-137, Ra-226

34. Factorii de concentrare pentru radionuclizii naturali sau artificiali au valori mari, supraunitari, pentru:
- organismele din ecosisteme acvatice
 - organismele din ecosisteme terestre
35. Principala cale de pătrundere a radionuclizilor în plante, imediat după un accident nuclear, este:
- din depuneri prin frunze, tulpini și flori
 - prin absorbție radiculară din apa liberă din sol
36. Radionuclizii reținuți aproape 100% din apa de băut de către om sunt:
- Sr-90
 - Cs-137
 - I-131
37. Principalele căi de pătrundere a radionuclizilor în organismul uman sunt:
- respiratorie
 - cutanată
 - digestivă
38. Radionuclizi ușor transferabili în organismul uman sunt considerați:
- H-3, C-14, I-131
 - Cs-137, Sr-90, Ra-226
 - Pu-239, Pu-240, Am-241
39. În grupa de radiotoxicitate foarte mare sunt plasați și radionuclizii:
- Ph-210, Ra-226, Po-210
 - Cs-137, Sr-90, I-131
 - H-3, Th-nat, U-nat
40. Radionuclizii Cs-137, Sr-90 și I-131 sunt plasați în grupa de radiotoxicitate:
- foarte mare
 - mare
 - medie
 - mică
41. Printre radionuclizii naturali secundari sunt:
- K-40, U-238, U-235
 - Ra-226, Ra-228, Rn-222
 - H-3, C-14, Be-7
42. Radionuclizii de activare apar în:
- reactorul nuclear
 - explozii nucleare
 - dezintegrarea naturală
43. Radionuclizi de activare sunt:
- H-3, C-14
 - Zn-65, Co-60
 - Sr-89, Sr-90
44. Materialele fisionabile utilizate în centrale nucleare sunt:
- U-235, U-238
 - Xe-133, Kr-85
 - Cs-137, Cs-134
45. Radionuclizi de fisiune cu risc radiobiologic mare pentru om sunt:
- U-235, U-238, Th-232
 - Sr-90, Cs-137, I-131
 - Zn-65, Co-60, Fe-59
46. Radionuclizi de fisiune - gaze ușor volatile și gaze nobile mai puțin reținute de filtre de la CNE sunt:
- U-235, U-238, Th-232
 - I-131, Kr-85, Xe-133
 - Ce-141, Ce-144, Zr-95

47. Radionuclizi mai des utilizați în medicină sunt:

- a. U-235, U-238, Th-232 b. Co-60, I-131, Cs-137, Tc-99m
c. Ce-141, Ce-144, Zr-95

48. În doza pentru populație în general, datorată radioactivității artificiale, cea mai mare pondere o are:

- a. fondul natural b. iradierea medicală
c. expunerea profesională d. expunerea accidentală

49. În condiții normale de funcționare, deșeurile radioactive de la Centrala Nucleară Electrică au o contribuție la iradierea populației de: a. 30,7% b. sub 1% c. 67,6%

50. Radionuclidul cu activitatea cea mai mare (cca 80%) decelat în România după "Cernobâl" a fost:

- a. Ce-141 b. I-131 c. Cs-137 d. Sr-90

51. Radionuclizii decelabili și în prezent în factorii de mediu și alimente, după "Cernobâl" sunt:

- a. I-131 și Te-132 b. Ce-141 și Ce-144 c. Cs-137 și Sr-90

52. Cele mai mari niveluri de contaminare radioactivă post "Cernobâl", în primele zile, au avut alimentele:

- a. legume și fructe b. lapte și derivate c. carne și derivate

53. Doza de iradiere pentru primul an de după accidentul de la Cernobâl a fost estimată în România la:

- a. cca 1,3 mSv b. sub 0,1 mSv c. peste 5 mSv d. nesemnificativă

54. Cistamina este un mijloc de radioprotecție:

- a. fizică b. chimică d. biologică d. biochimică

55. Antidot al stronțului radioactiv este și:

- a. iodura de K b. alginatul de Na
c. ferocianura ferică d. fosfatul de Al

56. Ferocianura ferică este antidotul radionuclidului:

- a. Sr-90 b. I-131 c. Cs-137
d. nu este antidot al radionuclizilor

57. Radionuclizii Cs-137 și Cs-134 se metabolizează aproape identic cu elementul chimic:

- a. H b. K c. Ca d. Fe

58. Factorii de concentrare ai radionuclizilor Cs-137 și Sr-90 de către plantele terestre sunt, de regulă:

- a. supraunitari b. subunitari c. de ordinul sutelor

59. Puterea termică a reactorului de la Măgurele este de:

- a. cca 30 MW b. 3 MW c. 300 MW

60. Ultima măsură de protecție în caz de scăpare de sub control a reactorului dela Măgurele este:
- dărâmarea reactorului
 - inundarea cu apă a reactorului
 - nu se mai poate realiza nimic
61. Cu combustibilul uzat de la reactorul Măgurele se procedează astfel:
- transportare și stocare la depozitul din M-ți Apuseni
 - depozitare în camere cu protecție specială de lângă reactor
 - transportare și stocare la furnizorul reactorului (Rusia)
62. Reactorul de la Măgurele funcționează cu:
- uranu natural
 - U-238 + U-235 (2%)
 - U-238 + U-235 (peste 10%)
63. Ca moderator utilizat în reactorul nuclear energetic poate fi:
- apa grea
 - grafitul
 - apa ușoară
 - beriliu
64. Moderatorul din reactorul nuclear are rolul:
- transformă neutronii cu energie mare în neutroni cu energie mică
 - transformă neutronii rapizi în neutroni termici
 - transformă neutronii termici în neutroni rapizi
65. Reactorul nuclear energetic rapid (supergenerator) funcționează cu:
- U-238 + Pu-239
 - U-238 + U-235
 - Th-232 + U-233
66. Cantitatea de combustibil de la reactorul CANDU de la CNE Cernavodă este de cca:
- cca 90 t
 - 10 t
 - 1000 t
67. Pentru protecția fizică, sistemul Candu utilizat la CNE Cernavodă este prevăzut cu:
- 5 bariere
 - 3 bariere
 - numai o barieră
 - fără bariere de protecție
68. Principalul radionuclid poluant al mediului la CNE Cernavodă este:
- I-131
 - H-3
 - U-238
 - nu poluează mediul
69. Pe plan mondial, curentul electric cu origine nucleară reprezintă:
- cca 40%
 - cca 17%
 - peste 70%
 - este nesemnificativ
70. Țările cu ponderea cea mai ridicată de curent electric de origine nucleară, pe plan național, sunt:
- SUA
 - CSI
 - Franța și Belgia
 - Bulgaria
71. Sursele principale de expunere cu risc major în accidentul nuclear sunt:
- norul radioactiv
 - radionuclizii ingerați
 - radionuclizii inhalați

72. Doza de expunere medicală în țara noastră este de cca:

- a. 0,01 mSv/an b. 0,50 mSv/an c. 2,40 mSv/an
d. ne semnificativă

73. Printre măsurile de prevenire a unui accident nuclear se numără:

- a. barierele fizice b. sistemul de oprire rapidă a reactorului
c. răciria la avarie d. administrarea de antidoși
e. exigențe la proiectare și construcție
f. calitatea materialelor utilizate

74. Printre măsurile de pregătire pentru situații de urgență în caz de accident nuclear se numără și:

- a. planurile de intervenție și protecție
b. sisteme de oprire rapidă a reactorului
c. procedeele de punere în aplicare
d. antrenarea personalului și pregătirea populației
e. administrarea de antidoși

75. Printre măsurile de protecție în afara CNE, se numără:

- a. înștiințarea și alarmarea populației
b. remedierea defecțiunilor în CNE
c. adăpostirea populației d. administrarea de KI
e. antrenarea personalului și pregătirea populației

76. Alături de măsurile de protecție, printre măsurile de intervenție în afara CNE sunt:

- a. alertarea și recenzarea slariaților CNE
b. controlul dozimetric al personalului de intervenție
c. supravegherea și controlul radioactivității mediului și omului
d. aducerea instalației la funcționare normală
e. acordarea de asistență medicală de urgență
f. decontaminarea oamenilor, căilor de acces, clădirilor etc

77. Verificarea măsurilor din planurile de intervenție se realizează periodic prin:

- a. supravegherea și controlul radioactivității omului
b. exerciții la nivel local și național
c. administrarea de antidoși
d. remedierea defecțiunilor în CNE

78. Tipul de reactor cel mai utilizat în construcția centralelor nucleare electrice este:

- a. PWR b. BWR c. PHWR

79. Principalele surse de contaminare radioactivă a mediului sunt:

- a. testele nucleare b. accidentele de la CNE
c. unitățile nucleare de cercetare

80. Rețelele de supraveghere a radioactivității factorilor de mediu și alimentelor aparțin:

- a. Ministerului Sănătății b. Ministerului Apărării Naționale
c. Ministerului de Interne d. Serviciului Român de

Informații

e. Ministerului Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului

81. Radionuclizii H-3, Th natural, U natural sunt plasați în grupa de radiotoxicitate:

- a. forate mare b. mare c. medie d. mică

82. În 1995 funcționau în lume:

- a. peste 1000 reactori b. cca 430 reactori
c. 100 reactori nucleari

83. Printre cele mai contaminate zone din România după "Cernobâl" au fost:

- a. zonele montane b. vestul țării
c. N-E țării d. sudul jud. Dolj

84. Nivelul de contaminare umană cu Cs-137 după accidentul de la Cernobâl a fost de:

- a. câteva mii de Bq b. câteva zeci de Bq
c. sute de mii de Bq d. ne semnificativă

85. Cazuri de cancer tiroidian datorate în exclusivitate accidentului de la Cernobâl au fost semnalate în:

- a. România b. Belarus
c. Franța d. Ungaria

86. Protecția biologică împotriva radiațiilor se realizează mai ales cu:

- a. transplant de măduvă osoasă b. extracte tisulare
c. compuși cu sulf d. ecran de plumb

87. În radioterapie se utilizează mai ales:

- a. radiații X b. radiații gamma
c. radiații alfa d. nu se utilizează radiații ionizante

88. Numărul persoanelor expuse profesional în România, înainte de intrarea în funcțiune a CNE Cernavodă este de:

- a. foarte mic b. cca 20.000
c. sute de mii d. cca 0,1% din populația țării

89. Radionuclidul I-131 se utilizează în medicină pentru:

- a. tratarea cancerului osos b. tratarea cancerului tiroidian
c. tratarea cancerului de ficat d. diagnosticul afecțiunilor tiroidiene

90. Al doilea accident nuclear cu efecte nocive asupra omului a fost considerat cel de la:

- a. Three Miles Island b. Goiania
c. Palomares d. Tomsk

VERIFICAT
2007

VERIFICAT
2017

Țiparul s-a executat sub c-da nr. 269/1996
la Tipografia Editurii Universității din București

ISBN 973-575-109-7

Lei 4800

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>