

LIETUVOS RESPUBLIKOS KRASTO APSAUGOS MINISTERIJA
KRASTO APSAUGOS MOKYKLA



ŽINIŲ APIE RADIACIJĄ
PAGRINDAI

I dalis

VILNIUS 1994

**KRAŠTO APSAUGOS MINISTERIJOS
KRAŠTO APSAUGOS MOKYKLA**

Eugenijus Kisinas

**RADIACIJA IR
APSAUGA NUO JOS**

Mokymo priemonė

**GENEROLO JONO ŽEMAIČIO
LIETUVOS KARO AKADEMIJA
Karo mokslų informacijos ir
iešybos centras**

Vilnius 1994

Mokymo priemonė skiriama Krašto apsaugos mokyklos kariūnams, Krašto apsaugos karininkams ir puskarininkams, Civilinės saugos darbuotojams, visų aukštųjų mokyklų studentams, bendrojo lavinimo ir aukštesniųjų mokyklų mokytojams bei dėstytojams.

Recenzavo **bio.l.m.dr. A.Gailūnienė, P.Martinaitis, J.Augulis, med.m.kand. A.Seibūtienė, med.m.kand. N.Valūšienė, tech.m.kand. P.Šibilskis, doc. A.Motiejūnas**



LIETUVOS RESPUBLIKOS
ŠVIETIMO MOKSLŲ CENTRAS
MOKYTOJŲ KNYGŲ
REDAKCIJA
VILNIUS



PRATARMĖ

1936 metų balandžio mėnesį Hamburge buvo atidengtas obeliskas. Ant postamento buvo iškalta: "Skirta visų tautų rentgenologams ir radiologams, gydytojams, fizikams, chemikams, laborantams ir medicinos seserims, paaukojusiems gyvybę kovoję su artimųjų ligomis". Taip buvo įamžintas 169 žmonių atminimas. Šie žmonės nenuleko apie neseniai atrastų spindulių kląstą, dirbo be apsaugos priemonių. Paslaptinę spinduliai žalojo jų organizmą diena iš dienos. Po 10-15 metų beveik visi entuziastai mirė nuo piktybinių auglių, daugeliui rentgenologų buvo amputuoti pirštai arba plaštakos. Toks buvo pirmas signalas apie biologinį radioaktyvumo poveikį.

Kitas įvykis, bylojantis baigią radioaktyvumo jėgą, - Hirosimos ir Nagasakio bombardavimas. Šiurpu dvelkia liudininko, Hirosimos fotoreporterio H.Hiosios, pasakojimas: "Gyvieji atrodė baisiau už mirusius - žmonės išvarėjusiomis akimis šliaužė galvėmis, iš atminties ieškodami upės numalšinti baisų troškulį, atvėsinti degantį kūną. Jie labiau panašėjo ne į žmones, o į beviltiškai ropojančius kokonus. Duobkasiai susirgđavo nuo lavonų skleidžiamos radiacijos, šių kaulai net švytėjo nuo radioaktyviojo fosforo. Organizmas prarado bet kokį atsparumą - nuo paprasčiausio blusos įkandimo atsiverdavo ilgai negyjanti, pūliuojanti žaizda. Ir tik mirtis išgelbėdavo nelaiminguosius nuo nepakeliamų kančių" (Mokslas ir gyvenimas, 1987, 5, p.11).

1986 metų Černobylio AE avarija, dėl savo padarinių laikoma globalia katastrofa, dar kartą priminė žmonijai, jog ji gyvena branduoliniame amžiuje. Tai reiškia ne vien žmogaus pergalės prieš branduolines jėgas, "taikiojo" ir "karo" atomo įvaldymą, bet ir kelia papildomą pavojų. Pavojus mūsų tyko ne tik avarijoje ir kare. Naudojamų radioaktyviųjų medžiagų (RM) tam tikra dalis išsisklaido gamtoje. Taip žmogus savo valia arba netyčia prapletė galimybes susidurti gamyboje, aplinkoje, butyje tiek su RM, tiek su jų padariniais.

Kad nepakenktume sau ir artimiesiems, turime daug ką pažinti. Išmanyti radiacijos, dozimetrijos, radiobiologijos pagrindus privalo kiekvienas civilizuotas šiuolaikinės visuomenės žmogus. Be šių dalykų nėra ūdienes civilizacijos bei kultūros. Dar daugiau - dėl žinių stygiaus ateina nelaimės.

Mokymo priemonė parengta pagal Krašto apsaugos mokyklos mokymo programą ir aukštųjų mokyklų civilinės saugos kurso programas.

Mokymo priemonės pirmajame skyriuje nagrinėjami žinių apie radiaciją pagrindai: jonizuojantis spinduliavimas ir jo biologinis poveikis, radiacijos šaltiniai bei radiacinio saugumo normos; antrajame skyriuje - branduoliniai reaktoriai ir Ignalinos atominė elektrinė, atominų objektų radiacinės avarijos ir jų padariniai, radioaktyvūs vietovės užteršimas; trečiajame skyriuje - radiacinės saugos principai, būdai ir priemonės; ketvirtajame skyriuje - radiacinės situacijos vertinimo metodika, tipinių uždavinių sprendimas, kontrolinių uždavinių sąlygos.

I DALIS

**ŽINIŲ APIE RADIACIJĄ
PAGRINDAI**

I skyrius

RADIOAKTYVUMAS IR JONIZUOJANTIS SPINDULIAVIMAS

Norint suprasti, kas yra radiacija, reikia prisiminti elementarias atominės fizikos žinias, prisiminti, kaip sudarytas atomas.

1911 metais anglų fizikas Rezerfordas pasiūlė branduolinį (planetinį) atomo modelį:

atomo centre yra teigiamas branduolys, kuriame sutelkta beveik visa atomo masė;

aplink branduolį, labai dideliais nuo jo atstumais (atomo masteliu), juda neigiami elektronai; jie lengvesni už vandenilio branduolį, vadinamąjį protoną (graik. protos - pirmas), 1836 kartus;

atomo branduolį sudaro elementariosios dalelės - nukleonai, kurie savo ruožtu skirstomi į protonus, neutronus ir kt. daleles;

normaliomis sąlygomis atomas elektringumo atžvilgiu esti neutralus (kiek protonų yra branduolyje, tiek ir elektronų yra atomo elektroniniame apvalkale).

Pabandykite įsivaizduoti atomo mastelius:

atomas tiek kartų mažesnis už žirni, kiek kartų žirnis mažesnis už Žemės rutulį;

atomo branduolys užima tokią atomo dalį, kokią užima moneta Vilniaus Katedros aikštėje;

jeigu atomo branduolys - teniso kamuoliukas Katedros aikštėje, tai kito atomo branduolys bus geležinkelio stoties rajone, o pirmojo atomo elektronas - prie Aušros vartų.

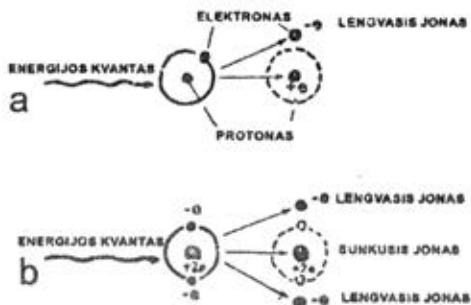
Atomo branduoliuose teigiamą krūvį neša protonai - sunkios elementariosios dalelės, kiekviena atomo masės vieneto ($1 \text{ a.m.v.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) ir teigiamo krūvio, pagal absoliučią reikšmę prilygstančio elektrono krūviui e ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$). Branduolio krūvį (protonų skaičių branduolyje) nusako jo eilės Mendelejevo lentelėje numeris Z , tas krūvis yra $+Ze$. Atomo branduolys, turintis krūvį $+Ze$, normalioje būsenoje sulaiko Z elektronų, kurių sumos krūvis $-Ze$, t.y. atomas elektriniu atžvilgiu yra neutralus. Juo sunkesnis atomas ir juo jis arčiau Mendelejevo lentelės galo, juo didesnis branduolio teigiamas krūvis ir daugiau elektronų, sudarančių atomo apvalkalą.

Kvantinės mechanikos dėsniai nusako, kad atominė sistema gali būti tik ypatingų stacionariųjų arba kvantinių būsenų, kurių kiekvieną atitinka tam tikra energija. Nustatyta, kad artimiausioje nuo branduolio orbitoje gali būti ne daugiau kaip 2 elektronai, kitoje - ne daugiau kaip 8, trečioje - 18, toliau - 32. Kitais žodžiais tariant, atomo elektronų apvalkalas sudarytas iš kelių sluoksnių, tarp kurių esti tiktai erdvė, kuri yra įvairių fizikinių laukų nešėja. Būtent branduolio laukas diktuoja leistinas šio tipo atomo orbitų padėtis elektronų apvalkale, paversdamas jas savotiška kiekvieno cheminio elemento vizitine kortele.

Tokioje griežtai reglamentuotoje atomų elektronų apvalkalo struktūroje pasireiškia kvantinė viso fizikinio pasaulio prigimtis - vidinė atomo arba jų junginio molekulese energija nuolat nesikeičia ir negali turėti bet kurias reikšmes. Atomo energija yra diskretinė. Perėjimas iš vienos būsenos į kitą vyksta šuoliškai, spinduliuojant arba absorbuojant griežtai fiksuotą energijos porciją - kvantą (lot. quantum - kiekis). Energiją spinduliuoja atomas, pereidamas iš vienos stacionarinės būsenos su didesne energija E_k į kitą su mažesne energija E_n . Absorbudamas energiją, atomas pereina iš stacionarinės būsenos su mažesne energija į stacionarinę būseną su didesne energija.

Normalioje nesusžadintoje būsenoje elektronai juda apie branduolį stacionarinėmis orbitomis. Jeigu atomas gauna papildomos energijos, šią naują sužadintą būseną atitinka išorinio elektrono perėjimas iš jo stacionarinės orbitos į aukštesnę, t. y. labiau nutolusią nuo branduolio.

Juo arčiau elektronas yra nuo branduolio, juo stipriau jie susiję vienas su kitu priešingų elektrinių krūvių savitarpio traukos jėgomis. Ir atvirkščiai, juo toliau esti elektronas, juo mažesnė jėga jį sulaiko prie branduolio, juo didesnė išcentrinė jėga, išplėšianti jį nuo traukos centro. Kai tiktai jaudrinimo energija viršys elektrono ryšio energiją, jis išleks iš atomo elektronų apvalkalo. Netekęs vieno teigiamo krūvio, atomas virsta iš elektringai neutralaus į teigiamai įkrautą. Paprasčiausias tokio proceso pavyzdys vandenilio atomo atveju schematiškai parodytas 1 pav.:



1 pav. Vandenilio (a) ir helio (b) atomų jonizacijos aktų schema.

kol nebuvo papildomos energijos kvanto, vienišas elektronas kompensuoja teigiamo protono krūvį; sugėrus energijos kvantą, elektronas atitrūksta nuo atomo ir neutralaus atomo vietoje lieka teigiamai įkrautas protonas.

Sunkesniuose atomuose, turinčiuose didesnę protonų ir elektronų skaičių, vaizdas kur kas sudėtingesnis, bet pagrindinis proceso bruožas nekinta: elektronas išmetamas iš atomo ir atomo "likutyje" vienas iš branduolio teigiamų krūvių lieka nekompensuotu atitinkamu neigiamu krūviu. Tokį teigiamai įkrautą atomo "likutį", beveik nepakeitusį savo pirminės masės, vadina teigiamu jonu, o išlėkusį iš atomo greitai judantį elektroną - neigiamu jonu (graik. **Jonas - einantlis, Judantlis**).

JONIZACIJA - neutralaus atomo skilimas į priešingo krūvio daleles: elektroną (lengvą neigiamą joną) ir atomo likutį (sunkų teigiamą joną).

Į daugelio cheminių elementų branduolių sandarą be protonų įeina kito tipo sunkios elementariosios dalelės - elektringai neutralūs neutronai. Sunkios dalelės - teigiamai įkrautus protonus ir neutralius neutronus - vadina **NUKLEONAI**. Neutronų skaičių branduolyje žymi raide **N**. Bendrą nukleonų skaičių, t.y. branduolio protonų ir neutronų skaičiaus sumą, nusako dvi tarpusavyje susijusios svarbiausios charakteristikos - masės skaičius $A=Z+N$ ir visų branduolio nukleonų ryšio energijos suma, kuri yra jo stabilumo išraiška. Juo atomas arčiau prie Mendelejevo lentelės galo, juo didesnis **A**, didesnis neutronų santykinis skaičius, juo mažesnis šio elemento branduolio patvarumas.

Mendelejevo lentelės pradžioje esti ypač "patvarūs" ir todėl labiausiai paplitę Visatoje elementai, kurių branduoliuose neutronų ir protonų skaičius vienodas, pavyzdžiui, vandenilis ($Z=1; A=1$), helis ($Z=2; A=4$), anglis ($Z=6; A=12$). Šiuolaikinėje fizikoje branduolių užrašui naudojami atitinkami simboliai A_ZX , pavyzdžiui, ${}^1_1H, {}^4_2He, {}^{12}_6C$.

Mendelejevo lentelės pradžioje ir viduryje "porinės" protonų ir neutronų sąveikos išlaiko branduolį stabilioje būsenoje. Lentelės pabaigoje cheminių elementų branduoliai labai perkrauti neutronais: pastarųjų skaičius 1,5 ir daugiau kartų viršija protonų skaičių. Pavyzdžiui, urano ${}^{238}_{92}U$ branduolyje 92 protonams tenka 146 ($238-92=146$) neutronai. Tokie branduoliai esti nestabilūs ir gali skilti, išskirdami energiją. Nestabilūs elementai vadinami radioaktyviaisiais.

Vienodo krūvio (nesiskiria protonų skaičius), bet skirtingos masės (skiriasi neutronų skaičius) branduoliai vadinami **IZOTOPAI**. Uranas turi 12 izotopų. ${}^{233}_{92}U, {}^{235}_{92}U, {}^{238}_{92}U$ yra žinomiausi; šiuos izotopus vadina uranas 233 (U 233), uranas 235 (U 235) ir uranas 238 (U 238). Visi urano izotopai sudaro nuklidų grupę. **NUKLIDAS** - vieno cheminio elemento atomų rūšis, kurios branduolyje yra tam tikras protonų ir neutronų skaičius. Radioaktyviųjų elementų nuklidai vadinami

RADIONUKLIDAIŠ.

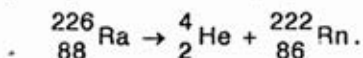
Dabar žinoma apie tris šimtus stabilų ir apie du tūkstančius nestabilių (radioaktyviųjų) izotopų. Gamtoje randama tik maža jų dalis (apie 10 proc., pavyzdžiui, toris, uranas, plutonis ir kt.), kiti gaunami dirbtinai (branduoliniuose reaktoriuose, laboratorijose, branduolinių sprogimų metu).

RADIOAKTYVUMAS (lot. radio - spinduliuoju, radius, - spindulys, actyvus - veiksmingas) - savaiminis vieno elementų branduolių virsmas kitų elementų branduoliais, lydymas jonizuojančio spinduliavimo.

Reikia skirti natūralųjį radioaktyvumą nuo dirbtinio (kai neutronų veikiami stabilūs elementai virsta radioaktyviais). Natūraliųjų ir dirbtinių radionuklidų jonizuojantis spinduliavimas nesiskiria. Žinoma maždaug 1700 dirbtinių radionuklidų. Natūralūs radionuklidai yra paplitę gamtoje, prie jų prisitaikiusi visa biosfera. Dirbtinių radionuklidų gamtoje paprastai nėra, todėl gyvieji organizmai sąveikauja su jais kaip su svetimkūniais. Nustatyta, kad radioaktyviojo virsmo energija išsiskiria sunkesniai cheminiam elementui virstant lengvesniu. Judant pagal poslinkio taisyklę, radioaktyvieji branduoliai galų gale pavirsta stabiliu švinu (1 lentelė).

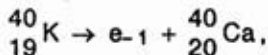
Išskiria tokius radioaktyvius virsmus:

1. **ALFA VIRSMAS.** Būdingas natūraliems radioaktyviems elementams, turintiems didelį eilės numerį (t.y. elementams su maža ryšio energija). Tokio tipo virsmo reakciją galima parodyti radžio skilimo pavyzdžiu:



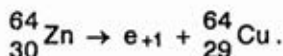
Tokiu būdu alfa virsmas dviem vienetais sumažina medžiagos eilės numerį ir keturiais - masės vieneta. Skilimo metu gali atsirasti sujaudrinti branduoliai (skilimo produktai), kurie, pereinant į stacionarinę būseną, spinduliuoja gama kvantą.

2. **ELEKTRONINIS BETA VIRSMAS.** Būdingas natūraliems ir dirbtiniams radionuklidams. Šį radioaktyviojo virsmo tipą galima parodyti tokiu pavyzdžiu:



t.y. branduolys spinduliuoja elektroną ir atsiranda naujo elemento branduolys, nepakitęs masės skaičiumi. Spinduliuojant beta dalelės, atomų branduoliai gali būti sujaudrintoje būsenoje. Jų perėjimas į stacionarinę būseną lydymas gama kvantu spinduliavimu.

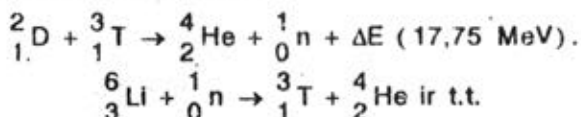
3. **POZITRONINIS BETA VIRSMAS.** Pastebimas kai kuriuose dirbtiniuose izotopuose, pavyzdžiui:



Taigi pozitroniniame beta skilime vienetu mažąja skytančio atomo eilės numeris, o masė praktiškai nekinta (žr. priedai, 1 lentelė "Natūralių ir dirbtinių radionuklidų pagrindinės charakteristikos").

4. BRANDUOLIŲ SAVAIMINIS DALIJIMASIS. Šis procesas pastebimas didelių atominių numerių radioaktyviuosiuose elementuose (pavyzdžiui, U 235, Pu 239 ir kt.), kai jų branduoliai absorbuoja lėtusius neutronus. Skytant sunkiesiems branduoliams, susidaro skeveldros su neutronų pertekliumi. Susidarantieji lengvųjų elementų branduoliai turi didelę ryšio energiją, todėl skytant išsiskiria energija, atitinkanti sunkiųjų ir lengvųjų branduolių dalelių ryšio energijos skirtumą. Šis reiškinys naudojamas branduolinės energijos gavyboje. Jeigu skytant branduoliui, atsiradusieji neutronai vėl panaudojami kitų branduolių dalijimuisi, vyks grandininė reakcija. Kai grandininė reakcija vystosi kaip lavina, išsiskiriant per trumpą laiką energijai, įvyksta sproginimas. Šis sproginimas galimas tiksliai tuo atveju, kai susidaro skytančios medžiagos kritinė masė (pavyzdžiui, sprogstant branduoliniam užtaisui).

5. TERMOBRANDUOLINĖS REAKCIJOS. Šios reakcijos vyksta tiksliai esant labai aukštomis temperatūroms (keli milijonai laipsnių) ir labai aukštiems slėgiams (milijonai atmosferų). Šiomis sąlygomis lengvųjų atomų branduoliai, judėdami didelėmis kinetinėmis energijomis, prisitartin mažais nuotoliais ir jungsis į sunkesnių elementų branduolius, pavyzdžiui:



Šiuo principu pagrįsta termobranduolinių užtaisų sandara. Jie sudaryti iš plutonio sprogdiklio (aukštai temperatūrai ir slėgiui sudaryti) ir lengvojo elementų izotopų mišinio.

Radioaktyviojo virsmo metu ne visi radioaktyviojo izotopo branduoliai skyla kartu, o kiekvienu laiko tarpu skyla tik tam tikra radioaktyviojo elemento dalis. Ši nekintanti kiekvieno radioaktyviojo elemento charakteristika, kuri apibūdina skilimo tikimybę, vadinama skilimo konstanta (pastoviaja) ir žymima λ . Tuomet radioaktyviojo skilimo dėsnis gali būti formuluojamas taip: lygiais laiko tarpais įvyksta aktyviųjų atomų izotopų lygių dalių branduolinių virsmai. Šis dėsnis matematiškai išreiškiamas taip:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

čia N - aktyviųjų atomų skaičius;

dN - branduolinių virsinių per T laiką skaičius.

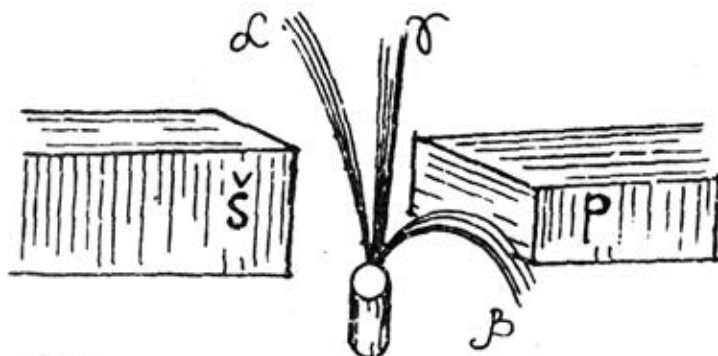
Integruojant ir logaritmuojant šią lygtį, gauname:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

čia $T_{1/2}$ - pusėjimo trukmė, arba pusamžis - laiko tarpas, per kurį su-
yra pusė branduolių, arba per kurį radioaktyviosios medžiagos aktyvu-
mas sumažėja du kartus.

Pusamžio periodas - pagrindinė charakteristika, apibūdinanti radioaktyviojo
skilimo greitį. Skirtingų medžiagų skilimo pusamžis labai nevienodas. Štai U 238
 $T_{1/2}$ - apie 4,5 mlrd. metų. Kaip tik dėl to urano radioaktyvumas per keletą metų
pastebimai nepakinta. Radžio 226 $T_{1/2}$ = 1860 metų. Todėl radžio aktyvumas daug
didesnis už urano. Juo mažesnis pusamžis, juo intensyvesnis skilimas. Yra radi-
oaktyviųjų elementų, kurių pusamžis lygus kelioms milijoninėms sekundės da-
lims. Priklausomai nuo pusėjimo trukmės išskiria trumpaamžius izotopus, kurių
pusamžis skaičiuojamas sekundės dalimis, minutėmis, valandomis, paromis, ir li-
gaamžius izotopus, kurių pusamžis trunka nuo kelių mėnesių iki milijardų metų.

Radioaktyvieji izotopai skleidžia alfa, beta daleles, gama kvantus (porcijas),
neutronus ir kitokias daleles (2 pav.). Kuo jos skiriasi ir kuo pavojingos žmogui?



2 pav.

ALFA DALELĖS (α dalelės), išspinduliuojamos alfa virsmo, - tai teigiamų
elektrinių dalelių, helio branduolių (He) srautas. Sąveikaudama su medžiaga, al-
fa dalelė jaudrina ir jonizuoja apinkos atomus. Retais atvejais alfa dalelę gali ab-
sorbuoti branduolys, tuomet įvyks branduolinė reakcija. Alfa dalelė turi labai

didelę jonizuojančią galią (1 cm oro kelyje sukuria apie 50 000 jonų porų), todėl jos skvarbumas, arba siekis (atstumas, kuriuo ji įsiskverbia į medžiagą), labai mažas - ne daugiau kaip 2,5 cm ore ir iki 31 mm biologiniuose audiniuose (gyvoje ląstelėje). Net popieriaus lapas visiškai sulauko šias daleles.

Išorinio švitinimo atveju alfa dalelės tiesiogiai veikia tik odą ir akių gleivines, atviras žaizdas, nudėgusias ar nušalusias kūno vietas. Labiausiai pavojingas apšvitinimas, kai patekusios į organizmą su maistu, vandeniu ar kvėpuojant alfa dalelės gali smarkiai sužaloti skrandžio gleivinę bei kitus organus. Dėl savo labai didelio radioaktyvumo alfa spinduliuojančios dalelės buvo pavadintos "karštosiomis" dalelėmis.

BETA DALELĖS (β dalelės) - elektronai ir pozitronai, šimtus kartų silpniau jonizuojantys aplinką (tik 50 jonų porų 1 cm oro kelyje), tačiau kur kas skvarbesni už alfa daleles. Jų siekis (kai dalelės energija 4 MeV) ore - 17,8 m, vandenyje - 2,6 cm, aliuminyje - 9,8 mm.

Beta spinduliuavimo poveikį pusiau sumažina žmogaus drabužiai. Jį beveik sulauko langų ir automašinių stiklai, bet koks kelių milimetrų metalinis ekranas. Bet patekusios ant odos (kontaktinis poveikis) arba į organizmą beta dalelės taip pat pavojingos kaip ir alfa dalelės.

Skaičiuojant apsaugą nuo mažos energijos beta dalelių, reikia, kad apsaugos ekrano storis būtų ne mažesnis kaip didžiausias dalelės siekis šioje medžiagoje. Geriausiai naudotinos medžiagos su mažu Z. Didelės energijos beta dalelėms (apie 10 MeV) reikia organizuoti apsaugą nuo stabdymo rentgeno spinduliuavimo.

Černobylyje alfa daleles išspinduliuavo šie išsiveržę iš reaktoriaus radionuklidai: plutonis 238, 239, 240, 242, kiuris 242, neptūnis 239. Didžiuma radionuklidų (apie 46 proc.) išspinduliuoja beta daleles.

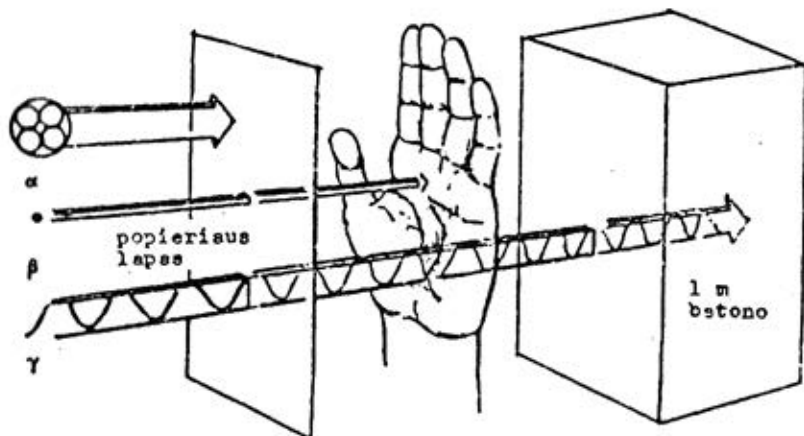
Černobylyje dėl elektroninio beta virsmo susidarė: jodas 131, 132; cезis 141, 144; stroncis 89, 90; cirkonis 95; rutenis 103, 106; baris 140 ir kt. Pasitaiko tokių radionuklidų, kuriuose vyksta alfa ir beta virsmas (pavyzdžiui, bismuto ir polonio izotopai).

Alfa ir beta virsmas dažnai sukelia nematomą elektromagnetinį spinduliuavimą - **gama spinduliuavimą** (γ spinduliuavimas). Turėdami mažą jonizuojančią galią (tūkstančius kartų silpnesnę už alfa spinduliuavimą), gama spinduliai nueina oru kelis šimtus metrų. Jie laisvai prasiskverbia pro drabužius, žmogaus kūną ir storus įvairių medžiagų sluoksnius.

Vertinant gama spinduliuavimo skvarbumą vartojamas terminas **pusėjimo sluoksnis**, t.y. medžiagos sluoksnis, kuris du kartus susilpnina spinduliuavimą. Tokį sluoksnį sudaro švinas - 1,3 cm, betonas - 13, gruntas - 14, vanduo, polietil-

lenas - 24, mediena - 33. Gama spinduliavimas, kaip išorinio apšvitinimo šaltinis, pavojingiausias yra žmogui. Pagrindinės alfa, beta ir gama spindulių charakteristikos pateiktos 2 lentelėje ("Natūraliųjų radionuklidų alfa, beta ir gama spindulių charakteristikos").

Taigi radioaktyviojo virsmo sukurtos alfa, beta dalelės, gama kvantai, neutronai, sąveikaudami su atomais ir molekulėmis, juos jonizuoja ir jaudrina. Todėl toki spinduliavimas vadinamas jonizuojančiu (arba radiacija).



3 pav. Alfa, beta ir gama spindulių skverbumas.

JONIZUOJANTIS SPINDULIAVIMAS (radiacija) - spinduliavimas, kurio sąveika su aplinka sukuria skirtingų ženklų jonus.

Jonizuojantis spinduliavimas, kurį sudaro pakankamai didelės energijos įkrautos dalelės, pavyzdžiui, elektronai, protonai, alfa dalelės, vadinami tiesioginiu jonizuojančiu spinduliavimu. Jonizuojantis spinduliavimas, kurį sudaro neįkrautos dalelės, pavyzdžiui, neutronai arba fotonai, ir kurie savo ruožtu gali sukurti tiesioginį jonizuojantį spinduliavimą ir (arba) sukelti branduolinį virsmą, vadinami netiesioginiu jonizuojančiu spinduliavimu.

Fotonų jonizuojančiam spinduliavimui priklauso gama ir rentgeno spinduliavimas, dalelių (korpuskulių) - alfa, elektronų, protonų, neutronų, mezonų spinduliavimas.

Pažvelkime, kokie radionuklidai susidarė Černobylio avarijos atveju, kiek laiko truko radioaktyvusis virsmas, kokie gaunami našji (neradioaktyvieji) arba nestabi-

lūs (radioaktyvieji) cheminiai elementai ir kiek jie dar gyvuos?

Černobylio situacijoje pavojingiausi radionuklidai neturi ilgos virsmo grandinės ir greitai virsta stabiliais izotopais: jodas 131 (spinduliuojantis beta, gama), kurio pusamžis 8 paros, virsta kseronu 131; cezis 134 (spinduliuojantis beta, gama), kurio $T_{1/2}=2$ metai, virsta bariu 134; cezis 137 (spinduliuojantis beta, gama), kurio $T_{1/2}=30$ metų, virsta bariu 137; ir tik stroncis 90 (spinduliuojantis beta, gama), kurio $T_{1/2}=28$ metai, virsta itriu 90 (spinduliuojantis beta, gama), kurio $T_{1/2}=64$ val., o jau pastarasis virsta stabilium izotopu cirkoniu 90.

Beveik visi radionuklidai užterštoje teritorijoje jau visai suskilo ir tapo stabiliais izotopais. Liko tiktai ilgamažiai radionuklidai: cezis 134, 137 ir stroncis 90. Kitų ilgamažių izotopų - plutonio ir kt. pradinis aktyvumas bei skaičius buvo nepaprastai mažas. Tačiau patekusios į organizmą, šios "karštosios" dalelės labai pavojingos.

II skyrius

AKTYVUMAS, APŠVITINIMO DOZĖ IR JŲ MATAVIMO VIENETAI

Branduolių virsmo intensyvumą apibūdina aktyvumas.

Radionuklido aktyvumas A - spontaniško (savaiminio) branduolių virsmo skaičiaus dN_0 per laiko tarpą dt santykis šiuo laiko tarpu:

$$A = dN_0 / dt .$$

Radionuklido aktyvumo vienetas - bekerelis (Bq) - vienas virsmas per sekundę.

Nesisteminis aktyvumo vienetas - kiuris (Ci) - radionuklido aktyvumas šaltinyje, kuriame per 1 sekundę įvyksta $3,7 \cdot 10^{10}$ spontaniškų branduolio virsmų.

Taigi $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

Radionuklido aktyvumo šaltinyje santykis su šaltinio mase, tūriu (tūriniamis šaltiniams), paviršiaus plotu (paviršiniams šaltiniams) arba ilgiu (linijiniams šaltiniams) vadinamas lyginamuoju, apimties, paviršiniu arba linijiniu aktyvumu. Šių charakteristikų matavimui parenkami konkretų uždavinį atitinkantieji matavimo vienetai. Pavyzdžiui, leistiną radionuklido koncentraciją vandenyje patogiausia matuoti bekereliais litre (Bq/l), o ore - bekereliais kubiniame metre (Bq/m^3) todėl, kad žmogaus vartojamo per parą vandens kiekis paprastai išreiškiamas litrais, o oro - kubiniais metrais.

Taigi lyginamąjį arba apimties aktyvumą galima matuoti Bq/m^3 , Bq/kg , Bq/l , Ci/l , Ci/kg , Ci/m^3 ; paviršinį aktyvumą - Ci/km^2 , Bq/m^2 ; lyginamąjį aktyvumą - Ci/km , Bq/m ir t.t.

Iš anksto pažymėsime, kad radionuklido aktyvumą netiesiogiai rodo ir lydinčio gama spinduliavimo sugertosios (ekspozicinės arba ekvivalentinės) dozės galia, kuri matuojama miliradais (milirentgenais arba mikrozivertais) per valandą arba per sekundę (mrd/h , mR/h , $\mu\text{Sv/h}$, mrd/s , mR/s , $\mu\text{Sv/s}$).

Radiačinų pažeidimų laipsnis, pobūdis ir forma pirmiausia priklauso nuo sugertosios jonizuojančio spinduliavimo energijos. Tokio spinduliavimo poveikiui įvertinti naudojama apšvitinimo dozės sąvoka.

Išskirtinos sugertoji (absorbuojanti), ekspozicinė ir ekvivalentinė apšvitinimo dozės 4 pav matyti šių dozių ir jų matavimo vienetų ryšys.

Sugertoji (absorbuojanti) apšvitinimo dozė D - jonizuojančio spindulio energija, kurią sugėrė (absorbavo) švitinamos medžiagos masės vienetas. Ji atoj ter-

mino "sugertoji apšvitinimo dozė" galima vartoti terminą "apšvitinimo dozė".

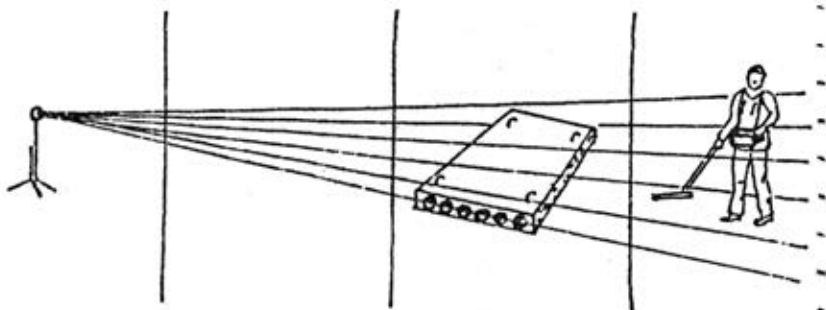
Sugertosios dozės vienetas - džaulis kilogramui (J/kg).

Džaulis kilogramui - sugertoji apšvitinimo dozė, matuojama bet kurio jonizuojančio spinduliavimo vieno džaulio energija, perduota apšvitinamos medžiagos vieno kilogramo masei.

Radiologijoje plačiai naudojamas nesisteminis sugertosios dozės vienetas - radas (rd; angl. radiafon absorbed dose - absorbuotoji spinduliavimo dozė). Vienam radui atitinka 100 erg sugertosios energijos vienam medžiagos gramui.

$$1rd = 100\text{erg/g} = 1 \cdot 10^{-2} \text{J/kg}.$$

Šaltinis	Laukas	Apšvitinimas	
		neorganinių kūnų	gyvų organizmų
Aktyvumas	Ekspozicinė dozė	Sugertoji (absorbuotoji) dozė	Ekvivalentinė dozė
kiuris (Ci)	rentgenas (R)	radas (rd)	biologinis rado ekvivalentas (rem)
bekerelis (Bq)	kulonas kilogramui (C/kg)	grėjus (Gy)	zivertas (Sv)



4 pav.

Lauko, dozės, radiacijos biologinio efekto ir jų matavimo vienetų ryšys.

Naujas sugertosios dozės vienetas SI sistemoje - grėjus (Gy). 1 grėjus prilygsta vienam džauliui, sugertam viename medžiagos kilograme:

$$1\text{Gy} = 1\text{J/kg} = 100\text{rd.}$$

Šiais vienetais matuojama ir įvertinama bet kurio spinduliavimo (bet kurioje medžiagoje) dozė.

Iki 1990 metų sausio 1 d. apšvitinimo dozės pagal jonizacijos efektą ore charakteristikai buvo naudojama fotonų (rentgeno ir gama spindulių) spinduliavimo **ekspozicinė dozė X**. Ji gali apibūdinti ir jonizuojančio spinduliavimo pavojingumą žmogui, kai tolygiai apšvitinamas visas žmogaus kūnas. Ekspozicinės dozės matavimo vienetas - kulonas kilogramui (C/kg). Kulonas kilogramui prilygsta tokiai ekspozicinei dozei, kai viename oro kilograme visi fotonų išlaisvinti elektronai ir pozitronai sukuria nešančius kiekvieno ženklo vieno kulono energijos krūvį jonus.

Iki šiolei praktikoje buvo naudojamas nesisteminis ekspozicinės dozės vienetas - rentgenas (R). Rentgenas - ekspozicinės fotonų spinduliavimo dozės vienetas; tokiam spinduliavimui praeinant pro oro 0,001293 g ir pasibaigus ore visiems jonizavimo procesams, sukuriama jonai, nešantieji kiekvieno ženklo vieną elementarųjį elektros krūvį e. Pastebėsime, kad 0,001293 g - 1 cm³ sauso atmosferos oro masė normaliomis sąlygomis: temperatūra 0°C ir slėgis 1,013·10⁵ PA (760 mmHg).

Iš ekspozicinės dozės vienetų sąvokos galima rasti jų energetinius ekvivalentus, kurie naudojami praktiniuose skaičiavimuose.

Kadangi vieno jono krūvis lygus 1,602·10⁻¹⁹C, tai, esant įkrautų dalelių pusei, vieno kulono kilogramui ekspozicinė dozė viename oro kilograme sukuria $1/1,602 \cdot 10^{-19} = 6,24 \cdot 10^{18}$ jonų porų.

Vienos jonų poros sukūrimui eikvojama vidutinė energija $w_0 = 33,85$ eV. Tuomet kulono kilogramui energetinis ekvivalentas bus toks:

$$X_{(1\text{ kg})} = 6,24 \cdot 10^{18} \cdot 3,385 \cdot 10^{-5} = 2,11 \cdot 10^{14} \text{ MeV/kg};$$

$$X_{(1\text{ m}^3)} = 8,07 \cdot 10^{18} \cdot 3,385 \cdot 10^{-5} = 2,73 \cdot 10^{14} \text{ MeV/m}^3.$$

Kadangi, 1eV=1,6 · 10⁻¹⁹ J, tai:

$$X_{(1\text{ kg})} = 33,85 \text{ J/kg ir}$$

$$X_{(1\text{ m}^3)} = 43,77 \text{ J/m}^3.$$



Atliekant panašius skaičiavimus, randame ir rentgeno energetinius ekvivalentus:

$$X(1\text{ g}) = 87,3\text{ erg/g};$$

$$X(1\text{ cm}^3) = 0,113\text{ erg/cm}^3.$$

Įkrautų dalelių spindulinės pusiausvyros sąlygomis 1 C/kg ekspozicinei dozei atitinka 33,85 Gy sugertoji dozė ore (33,85 J/kg=33,85 Gy/kg) arba 36,9 Gy - biologiniuose audiniuose; nesisteminiam vienetai 1 R atitinka sugertoji dozė 0,873 rd ore arba 0,95 rd biologiniuose audiniuose. Tokiu būdu darome prielaidą, kad ekspozicinė ir sugertoji dozės biologiniuose audiniuose sutampa (paklaida 5%):

$$1\text{ R} = 0,95\text{ rd} \approx 1\text{ rd}.$$

Nuo 1990 metų sausio 1 d. nerekomenduojama naudoti ekspozicinę dozę ir jos vienetus. Pagrindinės šio sprendimo priežastys yra tokios:

ekspozicinė dozė buvo įvesta tiksliai fotonų spinduliavimui ir negali būti naudojama mišraus įvairių rūšių spinduliavimo laukuose;

net ir fotonų spinduliavimui šios dozės naudojimas ribojamas 3 MeV energija; naudojant nesisteminius vienetus, ekspozicines dozės reikšmė rentgenais ir sugertosios dozės - radais skiriasi tik 1,14 kartų, o pereinant prie SI sistemos vienetų, paklaidos darosi kur kas didesnės.

Tačiau praktikoje dar plačiai naudojami dozimetriniai ir radiometriniai prietaisai, kurių skalės graduotos ekspozicinės dozės vienetais. Todėl, sprendžiant praktinius uždavinius, bus naudojama ekspozicinė dozė ir jos matavimo vienetai.

Įvairios spinduliavimo rūšys skirtingai veikia biologinius objektus. Pavyzdžiui, vienodos sugertosios dozės alfa spinduliavimas labiau pavojingesnis negu beta ar fotoninis spinduliavimas. Todėl biologinio efekto vertinimui buvo įvesta nauja dozės charakteristika.

Įvairių spinduliavimo rūšių vienodos sugertosios dozės biologinių efektų lyginimui naudoja spinduliavimo santykinio biologinio efektyvumo (SBE) sąvoką.

Spinduliavimo santykinis biologinis efektyvumas SBE - etaloninio rentgeno spinduliavimo sugertosios dozės, sukeliančios tam tikrą biologinį efektą, ir konkrečios spinduliavimo rūšies sugertosios dozės, sukeliančios tokį patį biologinį efektą, santykis:

$$SBE = \frac{\text{Rentgeno spinduliavimo (180 - 250 keV) dozė, sukianti tam tikrą biologinį efektą}}{\text{Bet kurio jonizuojančio spinduliavimo sugertoji dozė, sukianti tokį patį biologinį efektą}}$$

Chroniško apšvitinimo radiacinio pavojingumo nustatymui naudojamos reglamentuotos SBE reikšmės, kurias vadina apšvitinimo kokybės koeficientu k (žr. 3 lentelę "Jvairių jonizuojančių spinduliavimo rūšių kokybės koeficientai (k), kai chroniškai apšvitinamas visas kūnas (RSN-76/87)").

Pagrindinė bet kurio spinduliavimo biologinio poveikio charakteristika (lėtinio apšvitinimo mažomis dozėmis atveju, kai, apšvitinus visą žmogaus kūną, dozės neviršija penkių ribinių leistinų dozių (žr. IV skyrių) - ekvivalentinė dozė.

Ekvivalentinė dozė H - sugertosios dozės D ir jonizuojančio spinduliavimo vidutinio kokybės koeficiento k sandauga:

$$H = k \cdot D.$$

Ekvivalentinės dozės vienetas - zivertas (Sv). 1 Sv prilygsta 1 Gy, dalintam iš kokybės koeficiento:

$$1 \text{ Sv} = \frac{1 \text{ Gy}}{k} = \frac{1 \text{ J/kg}}{k} = \frac{100 \text{ rd}}{k}.$$

Nesisteminis ekvivalentinis dozės vienetas - biologinis rado ekvivalentas (rem; angl. rad equivalent man).

rem - bet kurio jonizuojančio spinduliavimo sugertoji dozė, kuri sukelia tokį pat biologinį efektą, kaip 1 rd etaloninio rentgeno spinduliavimo dozė. rem lygus ekvivalentinei dozei, kai sugertosios dozės biologiniuose audiniuose ir vidutinio kokybės koeficiento sandauga lygi 100 erg/g:

$$1 \text{ rem} = \frac{100 \text{ erg/g}}{k} = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ J/kg}}{k} = \frac{0,01 \text{ Gy}}{k} = 0,01 \text{ Sv}.$$

Taigi 1 Sv = 100 rem.

Jeigu matuojamas tiksliai gama spinduliavimas, tai

$$1 \text{ R} \approx 1 \text{ rd} = 1 \text{ rem}.$$

Sugertoji, ekspozicinė ir ekvivalentinė dozė, sukaupta per laiko vienetą, vadinama sugertosios, ekspozicinės ir ekvivalentinės dozės galia (radiacijos lygiu).

Ekspozicinės dozės galią matuoja rentgenais per valandą arba per sekundę (R/h, R/s), milirentgenais per valandą arba per sekundę (mR/h, mR/s) ir mikrorentgenais per valandą arba per sekundę ($\mu\text{R/h}$, $\mu\text{R/s}$).

Analogiškai sugertosios dozės galia matuojama rd/h (rd/s), mrd/h (mrd/s), μ rd/h (μ rd/s) ir ekvivalentinės dozės galia - Sv/h (Sv/s), mSv/h (mSv/s) ir μ Sv/h (μ Sv/s).

Jeigu visas žmogaus kūnas apšvitintas netolygiai, bendrąjį jonizuojančio spinduliavimo biologinį poveikį įvertina efektyvi ekvivalentinė dozė (H_{ef}). Ši dozė prilygsta ekvivalentinės dozės organe arba audinyje vidurkiui H_a , padaugintam iš tam tikro koeficiento ω_a :

$$H_{ef} = \sum \omega_a \cdot H_a .$$

ω_a koeficiento reikšmės įvairiems žmogaus organams ir audiniams yra tokios: lytinės liaukos - 0,25; pieno liaukos - 0,15; kaulų čiulpai - 0,12; plaučiai - 0,12; skydinė liauka - 0,03; kaulai (paviršius) - 0,03; kiti organai (audiniai) - 0,3; visas kūnas - 1,0. Pavyzdžiui, skydinės liaukos 200 rem apšvitinimo dozė atitinka $H_{ef} = 200 \times 0,03 = 6$ rem. Šiuo atveju skydinės liaukos apšvitinimas 200 rem doze tolygus viso organizmo apšvitinimui 6 rem doze (pagal biologinį efektą).

Skirtingi koeficientai naudojami todėl, kad vienos kūno dalys (organai, audiniai) jautresnės už kitas: pavyzdžiui, gavus vienodą ekvivalentinę dozę, plaučių vėžiu galima susirgti kur kas dažniau negu skydliaukės, o lytinių organų apšvitinimas ypač pavojingas dėl genetinių mutacijų (išsigimimų) rizikos; jonizuojantis spinduliavimas smarkiai veikia didesnio tankio kūno audinius - kaulus, akių lęšiuką ir t.t.

Efektiviai ekvivalentinei dozei naudojami tokie patys vienetai, kaip ir ekvivalentinei dozei.

Jonizuojančio spinduliavimo poveikį personalui arba gyventojams įvertinti naudojama kolektyvinė ekvivalentinė dozė H_k , kurią apskaičiuoja dauginant ekvivalentinės dozės galios vidurkį H iš apšvitintų individų skaičiaus N :

$$H_k = \sum_1^{\infty} \dot{H} \cdot N .$$

Kolektyvinės ekvivalentinės dozės specialus vienetas - žmogaus-zivertas (žm.-Sv) arba žmogaus-rem (žm.-rem).

Pavyzdžiui, Trijų Mylių salos AE avarijos metu 2 mln. žmonių, gyvenančių 80 kilometrų zonoje, gavo 32 žmogaus-ziverto (3200 žm.-rem) dozę. Kai kurie individai gavo iki 1 mSv (100 mrem), kiti - mažiau kaip 0,01 mSv (1 mrem).

Dažniausiai praktikoje naudojamų jonizuojančio spinduliavimo fizikinių charakteristikų matavimo vienetai surašyti 4 lentelėje ("Dažniausiai praktikoje naudojamų jonizuojančio spinduliavimo fizikinių charakteristikų matavimo vienetai").

III skyrius

RADIACIJOS FONAS

Mūsų Žemėje radiacija buvo visada. Ji nuolatot supa žmogų. Žmogaus organizme taip pat kaupiasi įvairūs radionuklidai. Radiacijos fonas tolydžio veikia visus Žemės gyventojus. Kiekvienoje vietovėje jis maždaug pastovus ir priklauso nuo vietovės sąlygų.

Radialcijos fonas (RF) - gamtos ir žmogaus sukurtų radiacijos šaltinių jonizuojantis spinduliavimas.

GAJNTINIAI ŠALTINIAI. Natūralusis (gamtinis) RF (5 pav.) būna išorinis (antriniai kosminiai spinduliai ir radionuklidai, pasiekiantę Žemės plutoje) ir vidinis (apėvilitinimas organizme esančiais radionuklidais)

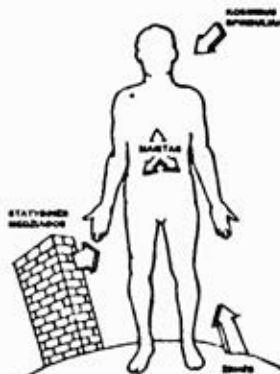
IŠORINIO APŠVITINIMO ŠALTINIAI.

Kosminė radiacija (0,3-0,5 mSv arba 30-60 mR per metus).

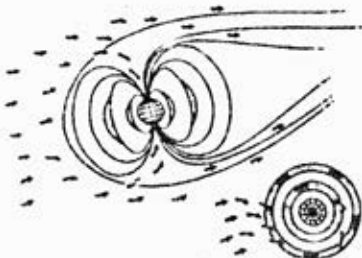
Kosminių spindulių, kurie pasiekia Žemės paviršių, intensyvumas priklauso nuo vietovės lygio virš jūros paviršiaus ir geografinės platumos.

Žemės magnetinis laukas (6 pav.) - galingas ir patikimas skydas, saugantis mūsų planetą nuo žudančios kosminės radiacijos. Tačiau dalis kosminių spindulių vis dėlto prasiskverbia į atmosferą, skaldo oro atomus, tad atsiranda daugybė naujų dalelių (tarp jų ir neutronų), sukeliančių antrinį kosminį spinduliavimą. Neutronai, reaguodami su atomais, sukuria radioaktyvius izotopus; pastarųjų poveikis tiesiog proporcingas atstumui nuo Žemės paviršiaus. Kylant aukštyn, radioaktyvumas pastebimai didėja.

Lygumų gyventojai gauna išorinio apėvilitinimo dozę apie 0,3 mSv per metus, o kalnietai, gyvenantys 4000 m virš jūros lygio



5 pav.



6 pav. Žemės magnetinio lauko ir kosminės radiacijos sąveika.

(aukščiau niekas negyvena), - jau 1,7 mSv. Lėktuvų įgulos ir keleiviai, akrisdami iš Vilniaus į Charkovą (apie 2400 km), gauna apšvitinimo dozę 10 μ Sv, akrisdami iš Vilniaus į Vašingtoną - jau 40-50 μ Sv. Didžiulę reikšmę turi ne tik skrydžio trukmė, bet ir aukštis. Taigi kosmonautai gautų labai dideles apšvitinimo dozes, jeigu nebūtų specialių apsaugos priemonių.

Kosminių spindulių intensyvumas keičiasi priklausomai nuo geografinės platumos todėl, kad Žemės magnetinis laukas kosminius spindulius nukreipia nuo pusiaujo ir surenka ašigalių srityje (6 pav.). Vadinasi, kosminių spindulių intensyvumas esti didžiausias ašigaliuose ir mažiausias pusiaujo platumoje. Saulės blyksnių veikiamas susidaro įkrautų dalelių srautas, kuris nukrypsta Žemės magnetiniame lauke, nes turi krūvį. Kai kurios dalelės praskrenda pro šalį, bet kitų dalelių trajektorija nukrypsta link polių. Todėl pažymimi žemesni radiacijos lygiai ties pusiauju ir aukštesni - poliuose. Šis reiškinys paaiškina ir šiaurės pašvaistę, kuri atsiranda vykstant intensyviai kosminio spinduliavimo sąveikai su atmosfera polių rajone. Paveikslėlio apačioje parodytas žemės vaizdas, žiūrint "iš viršaus". Sukdamasi planeta pritraukia įkrautas daleles, sudarydama pagal Žemės magnetinio lauko linijas radiacijos juostas. Kad paliktų Žemę, kosminis laivas turi įveikti nurodytus dalelių sluoksnius.

Žemiškoji radiacija (1,3-1,6 mSv per metus). Žemės plutos spinduliavimas yra įvairus, jis priklauso nuo RM koncentracijos toje vietoje. Daugumos Žemės gyventojų metinė apšvitinimo dozė - apie 1,3-1,6 mSv. Tačiau yra vietovių, kuriose žemiškosios radiacijos lygiai gerokai didesni (pietiniai Prancūzijos rajonai, Brazilija, Indija, Egiptas ir kt.). Pavyzdžiui, Brazilijos kurorto Gvarapario paplūdimyje vidutinė apšvitinimo dozė net 100 kartų viršija natūralųjį foną, o kalvoje, esančioje per 200 km nuo San Paulo miesto, - net 800 kartų.

Dozės galia patalpose priklauso nuo statybinių medžiagų (granitiniuose ir mūriniuose namuose didesnė, mediniuose - mažesnė, raudono molio plytų - labai didelė ir t.t.).

Vidinis žmogaus apšvitinimas. Apšvitinimo šaltiniai į žmogaus organizmą patenka per kvėpavimo takus bei virškinimo traktą maždaug taip: radioaktyvūs elementai iš uolienu patenka į dirvožemį, paskui į augalus, iš jų pereina į gyvulių raumenis ir galiausiai kaupiasi žmogaus organizme.

Ypač daug žmogaus organizme yra kalio (70 kg kūno masėje 0,19 proc., arba 130 g). Žmogaus vidinį radioaktyvumą labiausiai didina gamtinis radionuklidas kalis 40. Jo turi stabilus kalis, be kurio organizmas negali normaliai veikti. Ypač daug kalio žirniuose, pupose, jūrų gyvūnuose. Radioaktyvusis kalis daugiausia kaupiasi galvos smegenyse, raumenyse. Vyrų raumenyse kalio daugiau negu mo-

terų; didelė kalio koncentracija rasta sunkų fizinį darbą dirbančių žmonių organizme. Kalio kiekis priklauso ir nuo žmogaus amžiaus (senesnio žmogaus kūne kalio mažiau).

Anglis sudaro maždaug 18 proc. žmogaus kūno masės (apie 12,6 kg), o anglyje yra radionuklidai anglis $^{14}_6\text{C}$. Šis cheminis elementas tolygiai pasiskirsto audiniuose.

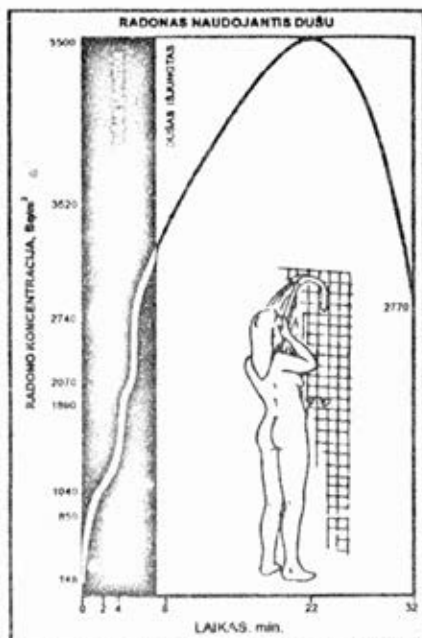
Žmogaus organizme randama bemaž 60 įvairių radionuklidų: urano, radžio, švino ir kt. Daugiausia urano bei radžio yra kerpėse, samanose, švino bei polonio - tabako lapuose, žuvyse, jūros moliuskuose ir kituose jūrų gyvūnuose. Uranas bei radis kaupiasi kauluose, švinas - plaučiuose. Palyginti didelės vidinio apšvitinimo dozės gali gauti tie žmonės, kurie valgo daug žuvies. Surūkiusio per dieną 20 cigarečių žmogaus plaučiuose susikaupia 10-100 kartų daugiau švino ir polonio negu nerūkančio žmogaus. Didelės papildomas dozės gauna žmonės, vaigantys elnių (elniai žiemą minta kerpėmis).

Natūralaus radiacijos fono susidarymas labai priklauso nuo inertinių dujų - radono; jos teikia apie pusę apšvitinimo dozės iš visų gamtinių radiacijos šaltinių. Radonas - nematomas, neturintis skonio ir kvapo, sunkios dujos (7,5 kartų sunkesnės už orą). Jis visad išsiskiria iš Žemės plutos, todėl didžiąją apšvitinimo dalį (iki 5 mSv per metus) žmogus gauna kvėpuodamas, ypač namų apatinių aukštų uždaroje nevedinamoje patalpoje, į kurias dujos prasiskverbia pro pamatus bei grindis. Radono koncentracija uždaroje patalpoje aštuonis kartus didesnė negu lauke, o viršutiniuose aukštuose - mažesnė negu pirmame (Energija: ekonomika, technika, ekologija, 1989, 7, p. 19).

Ypač pavojinga situacija susidaro tuomet, kai žmonės, taupydami šilumą, pradeda kruopščiai sandarinti patalpas. Anglijoje bei JAV buvo išaiškinta namų, kuriuose radono koncentracija 500 kartų viršijo atviros vietovės lygį. Apšvitinimo dozė, kurią gauna žmogus tokiu būdu taupydamas, daug kartų viršija dozę, kurią gautų iš tokį pat energijos kiekį gaminančio branduolinio reaktoriaus. Veiksmingos kovos su radonu priemonė yra rūšių vėdinimas.

Kiti radono šaltiniai - vanduo ir gamtinės dujos. Virinant vandenį, radonas išgaruoja, nevirintame vandenyje jo kur kas daugiau. Pavojingiausia įkvėpti vandens garus. Taip dažniausiai būna voniose (7 pav.), kur vidutinė radono koncentracija maždaug tris kartus didesnė negu virtuvėje ir apie 40 kartų - negu gyvenamuosiuose kambariuose.

Radonas po žeme susimaišo su gamtinėmis dujomis. Degdamas virtuvių viryklose, jis pasklinda po patalpas. Radono koncentracija labai didėja, jeigu blogai veikia vėdinimo sistema.



7 pav.

mas ne visada pateisintinas. Vidutinės efektyvių ekvivalentinių dozių reikšmės įvairių rentgenodiagnostinių procedūrų metu yra tokios: plaučių rentgenoskopija - 2,1 mSv, skrandžio - 2,5 mSv, žarnyno - 1,3 mSv, krūtinės ląstos rentgenoskopija ir fluorografija - 0,35-0,55 mSv, įvairių kaulų - 0,22-2,8 mSv, krūtų - 0,1 mSv.

Apšvitinimo šaltinių randame ir buityje. Spalvoto televizoriaus skleidžiamas švitinimo intensyvumas - 1,5 mSv/h. Spalvotos keramikos ir majolikos dirbiniuose yra itin atsparių karščiui urano junginių. Liečiant keraminį indą 90 minučių per dieną, rankos bus apšvitinamos 100 kartų viršijančia foninę beta spindulių dozę. Labiausiai paplitęs buitinis radiacijos šaltinis - laikrodis su švytinčiu ciferblatu. Jis sukaupia keturis kartus didesnę dozę negu atominės elektrinės išmetamos Rm. Savotišką radiacijos problemą sukėlė naujos medžiagos dirbtiniams dantis gaminti. Jose yra urano ir cezio junginių, kurie sukelia fluorescensinį porceliano dantų švytėjimą. Dėl to įsidėjusių tokius dantis žmonių dantenos gana intensyviai švitinamos.

DIRBTINIAI ŠALTINIAI. Be natūralios radiacijos, atsiranda ir žmogaus sukurtų šaltinių. Rentgeno ir radiodiagnostinės aparatūros naudojimas, gyvenimas šiuolaikiniuose pastatuose, televizijos laidos, skrydžių lėktuvuose, atmosferos užteršimas, deginant akmens anglį, branduoliniųjų bandymai atmosferoje, atominė energetika - visa tai smarkiai padidino gamtinio fono dozes.

Radiologinės medicinos procedūros - diagnostika ir gydymas rentgeno, gama spinduliais bei radioaktyviomis medžiagomis sudaro didžiąją technogeninių radiacijos šaltinių sukeltamos apšvitinimo dozės dalį (iki 50 proc. iš visų gamtinių šaltinių, t.y. 1-2 mSv per metus). Radiologinės medicinos paskirtis yra gydyti ligonį, tačiau dažnai dozė būna pernelyg didelė, ir apšvitinimas

Kiekvieno žmogaus organizme yra radionuklidų, skleidžiančių gama spindulius, kurie veikia ir greta esančius žmones. Žmogus minioje yra papildomai švitinamas kitų žmonių 0,1 Sv/h dozės galia.

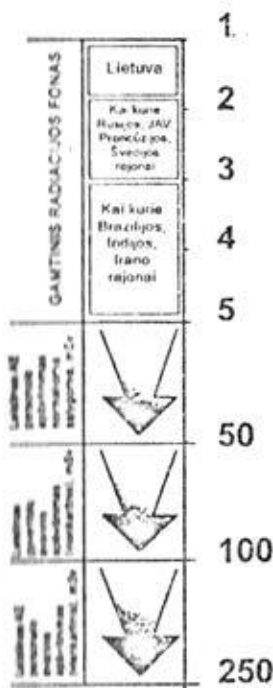
Iš visų radiacijos šaltinių Žemės gyventojai kasmet vidutiniškai gauna 2-3 mSv (0,2-0,3 rem) ekvivalentinę apšvitinimo dozę (8 pav.)

Vidutinis radiacijos fonas Lietuvos Respublikoje - 0,1-0,2 μ Sv/h (10-20 μ R/h).

Išvairiose vietovėse jis nevienodas, svyruoja nuo 6 iki 15-16 mikrorentgenų per valandą (nuo 0,06 iki 0,15-0,16 mikrozivertų per valandą).

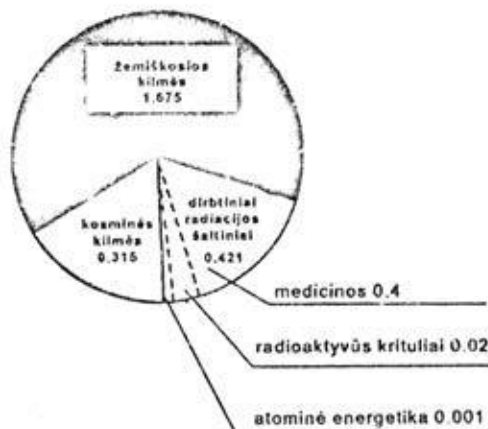
EKVIVALENTINĖ DOZĖ

(mSv per metus)



RADIACIJOS ŠALTINIAI

(vidutinė metinė ekvivalentinė dozė, mSv)



8 pav. Ekvivalentinės apšvitinimo dozės, kurias gauna gyventojai iš visų radiacijos šaltinių.

IV skyrius

RADIACINIO SAUGUMO NORMOS

Beveik visose šalyse, naudojančiose branduolinę energiją gamyboje, moksle, medicinoje, veikia nacionalinės radiacinio saugumo normos ir taisyklės. Jų pagrindą sudaro Tarptautinės radiacinės komisijos rekomendacijos. Saugumo normos privalo garantuoti, kad naudojant, saugant bei pervežant radioaktyviasias medžiagas ir jonizuojančio spinduliavimo šaltinius, žmonės išvengtų nepalankių apšvitinimo padarinių.

Lietuvos Respublikoje veikiančios radiacinio saugumo normos atitinka Tarptautinės radiacinės komisijos nustatytąsias normas. Jose išsiskiria trys apšvitinamų žmonių kategorijos ir trys kritinių žmogaus organų grupės.

A kategorija - radiacijos atžvilgiu pavojingų objektų personalas (profesionalūs darbuotojai): radiologai, rentgenologai, AE darbuotojai ir kiti asmenys, nuolatos arba laikinai dirbantys su RM.

B kategorija - ribota gyventojų dalis, t.y. tie asmenys, kurie tiesiogiai nedirba su jonizuojančio spinduliavimo šaltiniais, bet pagal gyvenimo ar darbo vietų išdėstymo sąlygas gali būti veikiami radioaktyviųjų medžiagų ir kitų spinduliavimo šaltinių, kurie naudojami įstaigoje ir (arba) pašalinami į aplinką (pavyzdžiui, AE ir elektrinės rajonai ir kt.). B kategorijos asmenų apšvitinimo lygis nustatomas pagal gyventojų kritinę grupę, t.y. tokią grupę, kuri gyvena ar dirba pavojingiausiose iš visų gyventojų ar darbuotojų sąlygose.

Darbo vieta - personalo buvimo vieta (patalpa), kurioje gamybinės funkcijos vykdomos ne mažiau kaip pusę darbo laiko arba be pertraukos dvi valandas.

C kategorija - visi kiti gyventojai.

Ne visi organai vienodai jautrūs radiacijai. Pagal jautrumą radiacijai žmogaus kūno organai skirstomi į tris grupes.

I grupė - visas kūnas, lytiniai organai, kaulų čiulpai;

II grupė - raumenys, skydinė liauka, kepenys, inkstai, virškinimo organai, plaučiai, akių lęšiukai ir kiti, nepriskirti prie I ir II grupės, organai;

* Lietuvos Respublikoje iki 1993 metų sausio 1 d. naudojamos buvusios TSRS Sveikatos apsaugos ministerijos 1987 05 26 patvirtintos "Radiacinio saugumo normos - RSN - 76/87".

III grupė - kaulų audiniai, oda, plauštas, žastai, pėdos.

A kategorijos žmonėms nustatyta ribinė leistina dozė (RLD) - tai tokia didžiausia individuali ekvivalentinė metų dozė, kuri, tolygiai veikdama 50 metų, nesukels profesionalių darbuotojų sveikatai nepalankių pokyčių. Tokia RLD sudaro 60 mSv (5 rem) per metus (JAV - 3 rem per 3 mėnesius, arba 12 rem per metus vyresniems negu 18 metų darbuotojams, o aštuoniolikmečiams - ne daugiau kaip 6 rem per metus).

B kategorijai nustatyta dozės riba - didžiausia metinė ekvivalentinė dozė. Iš 6 lentelės matyti, kad tokia dozės riba yra 5 mSv (0,5 rem) per metus; ji 10 kartų mažesnė negu leistinas profesionalų apšvitinimas ir prilygsta radiacijos fonui (0,2 0,3 rem per metus). Į dozės ribą neįeina natūraliojo fono ir medicininio apšvitinimo sudaromos dozės.

C kategorijos žmonėms leistina dozė nenustatyta (JAV - 0,17 rem per metus) ir apšvitinimas neturi viršyti radiacijos fono. (žr. 5 lentelę - "Išorinio ir vidinio apšvitinimo dozės ribos, mSv/metus (rem/metus)").

Ypatingais atvejais (žmonių gelbėjimas, stambių avarijų padarinių likvidavimas ir kt.) A kategorijai nustatytos du ir penkis kartus didesnės leistinos avarinės dozės: 0,1 Sv (10 rem) ir 0,25 Sv (25 rem). Tokios dozės buvo leistinos ir likviduojant Černobylio AE avarijos padarinius.

Leidžiama viršyti RLD 2 kartus per kalendorinius metus tam tikrais atvejais ir 6 kartus per kalendorinius metus vieną kartą per visą darbo laiką. Visais atvejais personalas turi būti įspėtas apie papildomą apšvitinimą. Toks apšvitinimas leistinas tikslai gavus įstaigos vadovo raštišką leidimą ir asmenišką darbų vykdytojo sutikimą.

Planuojamą apšvitinimą iki 2 RLD leidžia miestų (rajonų) higienos centrai, o apšvitinimą iki 5 RLD - Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija.

Draudžiama viršyti nustatytą RLD asmenims, anksčiau gavusiems apšvitinimo dozę, 6 kartus viršijančią metinę RLD, ir moterims iki 40 metų amžiaus.

Ypač įsidėmėtina, kad visiškai nepavojingų apšvitinimo dozių nėra. Atliekant medicinines procedūras nuo nepagrįsto apšvitinimo reikia saugoti visus žmones ir ypačingai neščias moteris. Vaikams iki 16 metų amžiaus, jeigu palanki epidemiologinė situacija, - nepatartinos ir profilaktinės rentgenologinės procedūros.

Kalifornijos universiteto profesorius Dž. Holas moterims duoda tokių patarimų: pirmąjį mamografinį tyrimą (pieno liaukų rentgenologinis tyrimas) atlikti 35-40 metų amžiaus, po to kartoti kas 1-3 metai, vyresnėms kaip 50 metų moterims - kasmet;

laikytis 10 dienų taisyklės - rentgenologinius tyrimus atlikti tikslai per pirmąsias

dešimt dienų po normalaus intensyvumo menstruacijos pradžios, t.y. tada, kai moteris visiškai įsitikinusi, jog ji nėra nėščia. Ši taisyklė negalioja neatidėliotinais atvejais, kai nėščios moters gyvybei ar sveikatai gresia pavojus.

Atskirai nustatyti leistini įvairių paviršių radioaktyviojo užteršimo lygiai (žr. lentelę 6 - "Leistini paviršių užteršimo lygiai, dalelė/(cm²·min)" ir lentelę 7 - "Leistini transporto priemonių paviršių radioaktyviojo užteršimo lygiai, dalelė/(cm²·min)").

Vietovės užteršimo normos (pagal cezij 137):

iki 5 Ci/km² - nepavojingas užteršimas;

5-15 Ci/km² - taikoma aktyvioji dezaktyvacija ir intensyviai agronomelinės priemonės, kad sumažėtų vidinio apšvitinimo dozė nuo maisto produktų;

daugiau kaip 15 Ci/km² - gyventojai evakuojami į neužterštą vietovę.

BIOLOGINIS RADIACIJOS POVEIKIS

Jonizuojantis spinduliavimas kenkia organizmui, jeigu RM patenka į organizmą arba veikia jį iš aplinkos. Alfa, beta dalelės ir gama spinduliai bei neutronai jonizuoja ir sužadina gyvųjų ląstelių atomus bei molekules. Ląstelėje daugiausia yra vandens molekulių (vanduo sudaro apie 70 proc. žmogaus kūno masės), todėl didžiausia tikimybė yra jonizuotis ląstelėje esančioms vandens molekulėms. Pavyzdžiui, netekusi elektrono, vandens molekulė virsta teigiamu jonu H_2O^+ ; laisvąjį elektroną prisijungia kita molekulė, pavirsdama neigiamu jonu H_2O^- . Tačiau nauji jonai yra nestabilūs, greitai suskyla į vandenilio (H) ir hidroksidų grupės (OH) jonus. Kartu vyksta ir kitas procesas - susidaro vandenilio ir vandenilio peroksido molekulės.

Taigi organizme kaupiasi vandenilio peroksidas ir labai chemiškai aktyvūs laisvieji radikalai (H, OH, O). Tas aktyvumas, esant didesnėms dozėms, būna pražūtingas ląstelėms. Sutrinka medžiagų apykaita, nutrūksta cheminiai ryšiai, organizme keičiasi biocheminiai procesai, nuslopinamas fermentų aktyvumas, lėčiau auga audiniai, organizme atsiranda toksinų (mikroorganizmų gaminamų nuodingų medžiagų).

Nepaprastai mažas absorbuotos energijos kiekis pražūtingai veikia ląstelę todėl, kad fiziškai, chemiškai ir biochemiškai stiprinamas jonizuojančio spinduliavimo radiacinis efektas. Pagrindinį vaidmenį šiame procese vaidina labai jautri radiacijai viršmolekulinių struktūrų pažeidimas. Todėl net mikroskopinė jonizuojančio spinduliavimo energija pražūtingai veikia organizmą (9 pav.). Pavyzdžiui, mirtinga jonizuojančio spinduliavimo energija bus gerokai mažesnė už gaunamą šiluminę energiją išgėrus puodelį karštos kavos arba saulėtą dieną pasikaitinus keletą minučių paplūdimyje; ir bus mažesnė už mechaninę energiją, kuri atitiktų darbą, įdėtą pakeliant žmogaus kūną nuo žemės vos 40 cm.

Šiluminę ir mechaninę energiją audiniai absorbuoja tolygiai ir vienodai. Todėl organizmui sužioti reikia daug daugiau tokios energijos negu jonizuojančio spinduliavimo energijos.

Biologinio radiacijos poveikio ypatumai:

didelis jonizuojančio spinduliavimo energijos efektyvumas; mažas tokios energijos kiekis gali sukelti stiprius organizmo biologinius pakitimus;

slaptasis (latentinis) periodas; jo trukmė priklauso nuo apšvitinimo do-

zės;

mažos dozės sumuojasi ir kaupiasi (kumuliacinis efektas);

genetinis radiacijos poveikis;

nevienodas įvairių organų jautrumas ir reagavimas į apšvitinimą;

radiacinis efektas priklauso nuo švitinimo dažnumo. Vienkartinis (tokios pačios dozės) apšvitinimas pavojingesnis už daugkartinį;

žmogus iki tam tikros ribos nejaučia spinduliavimo poveikio. Jonizuojantys spinduliai ir radioaktyviosios medžiagos aptinkamos dozės matuokliais ir radiometrais;

apšvitinimo dozės kaupiasi nepastebimai.

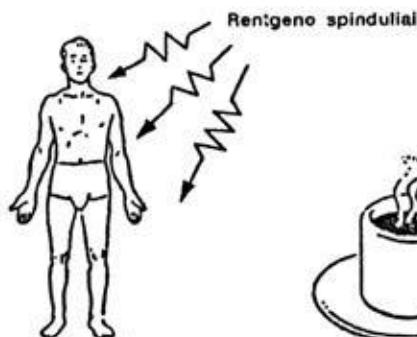
A. VISO KŪNO APŠVITINIMAS

Kūno masė - 70 kg

$LD_{50/60} = 4 \text{ Gy (400rd)}$

Absorbuojanti energija -

$70 \times 4 = 280 \text{ J (67 kal)}$



B. KARŠTOS KAVOS PUODELIS

$t = 60^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C} = 23^{\circ}\text{C}$

$V_{\text{kavos}} = 67:23 = 3 \text{ ml}$

(1 arbatinis šaukštelis)



C. DARBAS, KELIANT ŽMOGAUS KŪNĄ

Masė - 70 kg

$H_{\text{kėlimo}} = 280:(70 \times 0,981) = 0,41 \text{ m}$



9 pav.

Jonizuojantis spinduliavimas gali sukelti ūmines arba lėtines ligas. Žmogaus organizmo veikla ūmai sutrinka, kai jis per trumpą laiką gauna didelę apšvitinimo dozę. Lėtiniai sutrikimai pasireiškia tada, kai organizmą daug kartų veikia mažos apšvitinimo dozės, kai RM patenka į organizmą arba organizmą ilgai veikia užteršta aplinka.

Biologiniai apšvitinimo padariniai priklauso nuo apšvitinimo dozės, švitinimo laiko, žmogaus fizinės būklės, švitinimo pobūdžio (išorinis, vidinis apšvitinimas, tiesioginis kontaktas su RM, mišrus poveikis) ir kt.

Žmogaus organizmą skirtingai veikia didelės ir mažos apšvitinimo dozės.

Mažas dozės (iki 1 Sv) žmogus gauna veikiamas gamtinio radiacijos fono ir visų kitų natūraliųjų jonizuojančių šaltinių:

gamtinis radiacijos fonas per visą žmogaus gyvenimą (70 metų) sukau-
pia apie 0,1 Sv dozę;

visi kiti pagrindiniai radiacijos šaltiniai duoda apie 0,5 Sv;

profesionalaus apšvitinimo ir gamtinių bei buitinių šaltinių apšvitinimo
dozės per visą žmogaus gyvenimą paprastai neviršija 1 Sv.

Tokios dozės (iki 1 Sv) nesukelia ūminės spindulinės ligos ir tiesiogiai neveikia žmogaus organizmo. Vis dėlto jos padidina tikimybinių efektų (kūno ir gen-
tinių) atsiradimo riziką, gali sukelti lėtinę spindulinę ligą.

Visų rūšių jonizuojantis spinduliavimas veikia kancerogeniškai (gali sukelti pik-
tybinius auglius), sukelia lėtines kraujo ligas - įvairių tipų leukemijas, nevaisingu-
mą, paveldimus pakitimus ir organų sutrikimus. Piktybiniai augliai atsiranda po
tam tikro latentinio periodo (5-10 arba daugiau metų).

1991 metų rugpjūčio mėnesį TATENA peržiūrėjo jonizuojančio spinduliavimo
poveikį žmogaus organizmui ir nustatė, kad 1 milijonas žmogaus-remų (žm.-rem)
sukels 730 mirčių (500 nuo piktybinių navikų ir 230 nuo genetinių pakenkimų).
Kad visiškai realizuotųsi šis efektas, būtina gauti 5 rem per metus, o bendra do-
zė turi būti 100 rem per trumpą laiko tarpą.

Istorija žino daug žmonių, kurie nuo jonizuojančio spinduliavimo susirgo leu-
koze (baltakraujyste) ir vėžiu. Antai Anglijoje 1930-1940 metais daugiau kaip 14
tūkstančių žmonių buvo gydomi nuo sunkios ligos (ankilozinio spondilito) šviti-
nant didelėmis rentgeno spindulių dozėmis. Gydymas buvo sėkmingas, skausmai
praėjo ir ligoniai daugelį metų gyveno ramiai. Vis dėlto šioje ligonių grupėje bu-
vo daugiau tokių, kurie mirė nuo leukozės (plg. viena mirtis iš 200 ligonių ir vie-
na mirtis iš 7000 kitų grupių gyventojų).

Nuo plieno liaukų piktybinių auglių iš milijono moterų kasmet miršta apie
1910. Jeigu kiekviena krūtis gaus vos 0,01 Sv (vieno rentgeno) vienkartinę ap-

švitinimo dozę, tai papildomai numirė dar 6 moterys.

Iš 113 tūkstančių Hirošimoje ir Nagasakyje apšvitintų žmonių (išlikusių po bombardavimo) maždaug 100 numirė nuo leukozės ir nuo 300 iki 500 - nuo plaučių, pieno liaukų, skydliaukės vėžio. Vėžiu serga net ir dabar, po 45 metų.

ČERNOBYLIO KATASTROFA. Nuo 1985 metų susirgimų TSRS teritorijoje padaugėjo 7 proc., Rusijoje - 7 proc., Ukrainoje - 10 proc., Baltarusijoje - net 23 proc. (Kauno tiesa, 1991 09 27).

Jonizacija veikia ir paveldimumą. Tačiau išsigimimų ir be radiacijos poveikio pasitaiko gana dažnai: vienas iš 100 naujagimių būna išsigimęs, o dar penki serga kitokiomis ligomis. Radiacija tik padažnina išsigimimus. Jeigu visi gyventojai gautų 0,5-2,5 Sv apšvitinimo dozę, tai išsigimimų padvigubėtų. Ypač pavojinga apšvitinti lytinius organus. Motinos apšvitinimas labiau veikia būsimumus vaikus negu tėvo apšvitinimas. Tačiau nuo tėvo labiau priklauso anūkų ir proanūkių genai. Beje, į kosmosą paprastai skrenda 40-50 metų žmonės, jau turintys vaikų.

Išdėmėtinas pavojus, kurį sukelia radiacija dar negimusiam kūdikiui, jeigu būsimoji motina buvo apšvitinta nėščia. Iš 7649 Anglijos vaikų, mirusių nuo leukozės iki 10 metų amžiaus, 1140 buvo apšvitinti rentgeno spinduliais motinos kūne (nėštumo metu) medicinos įstaigose.

Kūdikio vystymąsi iki gimimo galima skaidyti į tris tarpsnius:

Pirmasis - nuo apvaisinimo iki 9-osios dienos: pakankamai didelė apšvitinimo dozė paprastai užmuša embrioną, o tai daugeliu atveju nepastebima, nes žuvs embrionas rezorbuojasi.

Antrasis - organogenezė - nuo 9-osios dienos iki 6-osios savaitės: formuojasi organai, galūnės, kūdikį labiausiai veikia motinos infekcijos, vaistai ir radiacija. Net nedidelės apšvitinimo dozės šiuo tarpsniu gali turėti katastrofiškų padarinių. Būna įvairių išsigimimų: neišsivysčiusios galūnės, pažeistos smegenys ir kt. Šiuo laiku organai ir galūnės vystosi ypač nuosekliai, todėl radiacija paveiks tas struktūras, kurios turi vystytis radiacijos poveikio metu. Apšvitinimas organogenezėje gali sustabdyti organizmo augimą, gali gimti negyvas kūdikis.

Trečiasis - nuo 6-osios savaitės iki kūdikio gimimo. Didelės radiacijos dozės sulauko organizmo vystymąsi, todėl gali gimti mažesnis (negu paprastai) kūdikis ir likti mažesnis negu vidutinio ūgio visą savo gyvenimą.

Apšvitinimas didelėmis radiacijos dozėmis (daugiau kaip 1 Sv) žmogus susergera ūmine spinduline liga arba miršta. Tiesioginė mirties ir gyvenimo trukmės sumažėjimo po apšvitinimo priežastis - apšvitinimo dozės dydis. Iširta, kad kiekviena 1,5 Sv dozė sutrumpina žmogaus gyvenimą pusmečiu. Galima kalbėti apie trejopas mirtinas dozes: labai dideles, vidutines ir mažesnes.

Labai didelės dozės (daugiau kaip 100 Sv) - žmogus miršta per keletą valandų Mirties priežastis - centrinės nervų sistemos pažeidimas arba smegenų neuronų sunaikinimas (centrinės nervų sistemos sindromas). Tuoj pat po apšvitinimo (po kelių minučių) pradeda smarkiai pykinti ir vėrcia vemti. Žmogus netenka orientacijos, judesių koordinacijos, jam sunku kvėpuoti, jis ima viduriuoti, prasideda konvulsiniai priepuoliai, pagaliau - mirtis. 1964 metais JAV 38 metų vyras, dirbantis urano perdirbimo gamykloje, gavo 88 Sv dozę ir po 49 valandų mirė.

Vidutinės dozės (apie 10 Sv) - žmogus miršta po kelių dienų. Priežastis - žarnyno gleivinės sužalojimas (žarnyno sindromas). Požymiai: pykinimas, vėmimas, ilgalaikis viduriavimas. Apšvitintieji netenka apetito, nusilpsta, darosi mieguisti. Kelias dienas trunkantis viduriavimas rodo, kad apšvitinimo dozė viršijo 10 Sv ir mirtis neišvengiama. 1946 metai į ligoninę pakliuvo 32 metų vyras, gavęs nenustatytą apšvitinimo dozę. Liga progresavo pagal žarnyno sindromo požymius ir ligonis po devynių dienų mirė.

Mažesnės dozės (2-5 Sv) - negydomas žmogus miršta per kelias savaites. Mirties priežastis - kraujodaros organų pažeidimas (kaulų čiulpų sindromas ir spindulinė liga) Žmogui, gavusiam kelių zivertų (kelių šimtų rem) apšvitinimo dozę, pasireiškia ūminė spindulinė liga. Jeigu žmogus miršta, mirties priežastis - kraujodaros organų pažeidimas.

Kraujodaros organai - tai kaulų čiulpai, įvairios liaukos. Jie gamina įvairius kraujo kūnelius: leukocitus, trombocitus, eritrocitus ir kt.

Leukocitai lemia organizmo imunitetą, eritrocitai aprūpina deguonimi visus kūno audinius, o trombocitai laiduoja kraujo krešėjimą.

Ląstelių jautrumas radiacijai labai priklauso nuo vykstančių jose apykaitos procesų greičio. Jonizuojančiam spinduliavimui jautriausios tos ląstelės, kuriose labai didelė medžiagų apykaita, kurios greitai auga. Pagal didėjantį jautrumą radiacijai žmogaus organizmo audinius ir organus galima išdėstyti tokia tvarka: 1) nervai, 2) kaulai, 3) muskulai, 4) jungiamieji audiniai, 5) skydinė liauka, 6) virškinimo liaukos, 7) plaučiai, 8) oda, 9) gleivinės, 10) lytinės liaukos, 11) limfiniai mazgai ir kaulų čiulpai. Tokiu būdu jautriausi radiacijai yra kraujodaros bei lytiniai organai ir, be abejonės, gemalo ląstelės.

Net labai didelės apšvitinimo dozės, pavyzdžiui, 4 Sv, visai arba beveik neveikia cirkuliuojančių kraujo kūnelių. Užtat tokia dozė pažeidžia kaulų čiulpų, limfinių mazgų ir kitas pagrindines ląsteles; organizmas netenka naujų skytančių ląstelių, kurios vėliau turi pakeisti atgyvenusius kraujo kūnelius.

Tarkim, organizmas gavo 4 Sv apšvitinimo dozę, iš karto arba po kurio laiko

pradeda pykinti, greitai tas pykinimas išnyksta ir jokių organizmo pažeidimo požymių nebelieka. Ir taip trunka maždaug mėnesį, tą laikotarpį, per kurį cirkuliuojantys kraujo kūneliai atgyvena, miršta ir išmetami iš kraujotakos. Kadangi dauguma kraujodaros ląstelių apšvitintos žūva, naujų ląstelių nebeatsiranda arba atsiranda mažai:

- prasideda kraujavimas - trūksta trombocitų;
- žmogus nusilpsta nuo anemijos (mažakraujystės) - trūksta eritrocitų;
- organizmas nebekovoja su infekcijomis - trūksta leukocitų;

Jeigu dozė pakankamai didelė - žmogus miršta, jei mažesnė - gali pasveikti. Ištirta, kad vidutinė mirtina (letalinė) dozė - 3,5 Sv, ją žymi $LD_{50/50}$ *; visiškai mirtina dozė - 6 Sv, - $LD_{100/30}$ **.

Pažymėtina, kad gavus tokias apšvitinimo dozes, negydomi žmonės miršta. Laiku intensyviai gydant, letalinių ir pasveikimo atvejų santykis gali būti kitoks.

Gydymo metodika neįeina į mūsų kursą, todėl tik priminsime, kad apšvitintiems žmonėms reikalingos tokios priemonės:

- kraujo perpylimas (laikiniai sustabdomas kraujavimas ir anemija);
- stropus slaugymas, izoliavimas ir antibiotikų vartojimas (išvengiama infekcijų).

Šios priemonės padeda žmogui pergyventi krizę, kol jo organizmas vėl pradės gaminti kraujo kūnelius. O tiems, kurie gavo palyginti dideles dozes, reikia persodinti kaulų čiulpus ir taikyti kitas specialias priemones.

Labai paplitusios ir profilaktikos priemonės, galinčios gerokai padidinti organizmo atsparumą radiacijai. Tai labai svarbu žmogui, kuris gavęs 4-10 Sv dozę, todėl, kad tokia dozė nulemia organizmo gyvybę ar mirtį.

Smulkiau išnagrinėsime spindulinę ligą (žr. 8 lentelę - "Spindulinės ligos charakteristikos").

Spindulinė liga gali būti ūminė ir lėtinė. Ūminė spindulinė liga atsiranda dėl vienkartinio arba kelių kartų radioaktyviojo apšvitinimo. Mažesnė kaip 1 Sv apšvitinimo dozė tokios ligos paprastai nesukelia.

Ūminės spindulinės ligos sunkumo laipsniai priklauso nuo apšvitinimo dozės:

- 1-2 Sv (100-200 rem) - pirmojo laipsnio, lengva;

* $LD_{50/50}$ - 50 proc. žmonių miršta per 50 dienų;

** $LD_{100/30}$ - 100 proc. žmonių miršta per 30 dienų.

2-4 Sv (200-400 rem) - antrojo laipsnio, vidutinio sunkumo;

4-6 Sv (400-600 rem) - trečiojo laipsnio, sunki;

daugiau kaip 6 Sv (600 rem) - ketvirtojo laipsnio, labai sunki.

Skiriami keturi spindulinės ligos periodai.

Pirmasis - pirminių reakcijų į apšvitinimą periodas. Prasideda pirmosiomis valandomis (minutėmis) po apšvitinimo, trunka nuo 1 iki 3-4 parų (tai priklauso nuo apšvitinimo dozės ir individualių organizmo savybių). Pirminės reakcijos požymiai: ligonis jaučia didelį silpnumą, svaigsta, skauda galva, pykina, verčia vemti, oda išblykšta, kaitaliojasi arterinis kraujospūdis, karščiuoja, gali netekti sąmonės.

Antrasis - latentinis (slaptasis arba tariamojo sveikimo) periodas. Atlėgus pirminėms reakcijoms, laikinai jaučiasi geriau. Jo trukmė yra atvirkščiai proporcinga apšvitinimo dozei (juo didesnė dozė, juo trumpesnis šis periodas) ir svyruoja nuo kelių parų iki 3-5 savaičių. Ligonis dar gali jausti šiekį tokį silpnumą, prakituoti, neturėti apetito, blogai miegoti, bet organizme atsiranda ir kraujo pakitimų. Smarkiai apšvitinti ligoniai nenustoja viduriuoti. Labai didelės apšvitinimo dozės sukelia ūminę spindulinę ligą be slaptosio periodo: po pirminės reakcijos iš karto prasideda trečiojo periodo reiškiniai.

Trečiasis - ryškių klinikinių požymių periodas. Išryškėja visi spindulinės ligos požymiai: pakyla temperatūra, odoje ir gleivinėje atsiranda kraujosrūvų, būna ir vidinių kraujosrūvų, burnos gleivinėje atsiveria opos, pasireiškia nekrozinė angina, sumažėja kraujospūdis. Sergantiems sunkia forma po 3-4 savaičių pradeda slinkti plaukai, sustiprėja kraujavimas, sutrinka kraujo krešėjimas, susilpnėja apsauginės organizmo jėgos, todėl susergama ar užsikrečiama kitomis ligomis (plaučių uždegimu, dizenterija, viduriavimu, bendruoju kraujo užkrėtimu ir kt.)

Ketvirtasis - ligos baigties arba sveikimo periodas. Sergantys lengva spindulinės ligos forma, ketvirtąją savaitę pasveiksta. Sergantys vidutinio sunkumo ir sunkia forma tuo metu pradeda jaustis geriau, bet galutinai pasveiksta tik po 2-10 mėnesių. O vėliau šiems ligoniams gali pasireikšti mažakraujystė (anemija), baltakraujystė (leukozė), hipertoniya ir su jomis susijęs bendras organizmo nusilpimas. Gavę ganėtinai dideles dozes ligoniai šiuo laikotarpiu miršta.

Žmogus, kasmet gaunantis 0,5-1 Sv (50-100 rem) išorinio ir vidinio apšvitinimo dozę, gali susirgti lėtine spinduline liga. Toji liga vystosi pamažėle, dažnai nepastebimai. Priklausomai nuo išorinio apšvitinimo dozės, patekusių į organizmą RM kiekio ir rūšies, apšvitinimo trukmės, lėtine spinduline liga gali būti lengva, vidutinio sunkumo, sunki ir labai sunki.

Lengva spindulinė liga. Ligonis silpnas, irzlus, jam svaigsta galva, jį kamuoja nemiga, sumažėja jo kraujospūdis (nuolatiniai galvos skausmai kartais sukelia

pykinimą ir vėmimą), suretėja pulsas, pasireiškia kvėpavimo aritmija, atsiranda nežymūs kraujo pakitimai.

Vidutinio sunkumo spindulinė liga. Žmogus liesėja, žyla, jam krinta plaukai, smarkiai pakinta jo kaulų čiulpai ir kraujas, mažėja leukocitų kiekis, organizmo atsparumas infekcijoms. Reikalingas ilgas gydymas.

Sunki ir labai sunki lėtinė spindulinė liga. Sergant tokia liga gali pasireikšti visi ūminės spindulinės ligos požymiai ir pražūtingi padariniai.

Tiesioginis kontaktas su radioaktyviosiomis medžiagomis. Kai RM patenka ant atviros odos arba gleivinių, pažeidžiamos neapsaugotos kūno dalys, atsiranda radiaciniai nudegimai.

Radiaciniai nudegimai, kaip ir spindulinė liga, turi keturis periodus: pirminės organizmo reakcijos, latentinį, klinikinį ir sugijimo. Išskiriami trys radiacinių nudegimų laipsniai (žr. 9 lentelę "Radiacinių nudegimų charakteristika").

Vidinis apšvitinimas. RM patenka į organizmą kvėpuojant (inhaliacinis kelias) ir per virškinimo takus kartu su maistu bei vandeniu (peroralinis kelias).

Radionuklidams patekus į plaučius, labai svarbu, koks kitų, absorbuotų ant dulkių, dalelių dydis, tirpstamumas vandenyje, radionuklidų pašalinimo pusamžis ir kt. Pavyzdžiui, beveik visos stambios dalelės (daugiau kaip 5 mikronų) užsilaiko viršutiniuose kvėpavimo takuose ir nepatenka į kraują. Smulkesnės dalelės (mažiau kaip 1 mikrono) iš dalies iškvepiamos, užsilaiko viršutiniuose kvėpavimo takuose ir apie 25 proc. susigeria kraujyje. Radionuklidai be paliovos kaupiasi kvėpavimo organuose. Todėl kai kuriais atvejais plaučiai gali pasidaryti kritiniais organais.

Patekę į organizmą su maistu ir vandeniu, radionuklidai kaupiasi organizme.

Vidinio apšvitinimo ypatumai:

labai padidėja švitinimo laikas;

radiacijos šaltinis yra nepaprastai arti švitinamo audinio, todėl smarkiai padidėja apšvitinimo dozės;

ypač pavojingos "karštosios" alfa dalelės, kurios išorinio švitinimo metu beveik nekelia pavojaus;

RM organizme kaupiasi nevienodai atskiruose audiniuose, dar labiau didindamos jų vietinį apšvitinimą;

visiškai netaikomi tradiciniai apsaugos metodai (apsauga laiku, atstumu, ekranu - žr. III dalies 10 skyrių).

Mokslo literatūroje aprašyta daug atsitikimų, kai žmonės nukentėdavo nuo patekusių į organizmą RM. Ypač daug tokių atvejų pasitaikydavo iki tol, kol ne viskas buvo žinoma apie RM kenksmingumą žmogui (nors ir mūsų dienomis

pakanka panašių tragiškų įvykių). 1924 m. Niu Džersio (JAV) laikrodžių gamykloje²⁸⁰⁰ darbininkų gamino laikrodžius su tamsoje švytinčiais ciferblatais. Švytinčiuose dažnuose buvo radžio. Po kelerių darbo metų kai kurie darbininkai pajuto vis didėjančią nuovargį, jiems pradėjo kristi dantys, daugelis susirgo žandikaulio nekroze, piktybine mažakraujyste ir vėžiu, 41 darbininkas mirė. Priežastis - į organizmą patekęs radis. Mat dažydami ciferblatus, darbininkai neretai leptukus vilgydavo sėlėmis, dėl to kiekvieną kartą šiek tiek radžio patekdavo į organizmą. Mirusiųjų nuo vėžio kūnuose rasta 10-800 μg radžio (o leistinas kiekis neturi viršyti 0,1 μg organizme). Toks menkas RM kiekis sukėlė mirtį.

Radiacijos pavojingumas priklauso:

- nuo to, kaip RM pateko į organizmą (pavojingiausia - kvėpuojant, nes aerolinišės ir kitos labai smulkios dalelės lieka plaučiuose ir kraujas išnešioja jas po visą kūną);
- kaip RM išsiskirstė organizme;
- per kiek laiko RM susikaupė organizme;
- kiek laiko RM buvo organizme;
- nuo radionuklido spinduliavimo energijos per laiko vienetą;
- nuo apšvitinamo audinio masės (pavyzdžiui, suaugusio žmogaus skydliaukė sveria apie 20 g, vaiko - tik 2 g);
- nuo apšvitinamo audinio ir viso kūno masės santykio;
- nuo RM kiekio organizme, jų pašalinimo iš organizmo laiko ir kt.

Radionuklido buvimo organizme laikas sąlygoja audinių, kuriuose kaupiasi izotopas, apšvitinimo laiką. Šis laikas priklauso nuo izotopo skilimo pusamžio $T_{1/2}$ ir jo pašalinimo iš organizmo greičio, kuris charakterizuojamas biologiniu pašalinimo pusamžiu T_b , t.y. laiku, per kurį iš organizmo pašalinama pusė patekusių radioaktyviosios medžiagos. RM pašalinimo iš organizmo kiekybinė charakteristika - efektyvus pusamžis - T_{ef} - laikas, per kurį izotopo aktyvumas organizme sumažėja du kartus. Efektyvų pusamžį apskaičiuoja pagal formulę:

$$T_{ef} = \frac{T_{1/2} \cdot T_b}{T_{1/2} + T_b}$$

Įvairių RM efektyvus pusamžis labai skiriasi: nuo kelių valandų (Na 24, Cu 64) ir dienų (I 131, P 32, S 35) iki dešimčių metų (Ra 226, Sr 90). Juo ilgesnis izotopo efektyvus pusamžis, juo didesnis jo radiotoksiškumas, todėl, kad kitose lygiuose sąlygose dozė didėja augant T_{ef} .

Ypač pavojingų radionuklidų, paplitusių aplinkoje per Černobylio AE avariją, biologinio poveikio ypatumai:

Jodas 131 į organizmą patenka kvėpuojant bei per virškinimo takus ir greitai įsigeria į kraują. Pavojingiausi šio radionuklido šaltiniai - augalinės ir gyvulinės kilmės maisto produktai, ypač pienas, švieži pieno produktai ir kai kurios daržovės (kopūstai, krapai, petražolės, šalotos, rūgštynės ir kt.). Jodo 131 koncentracija ožkų ir avių piene kelis kartus didesnė negu karvių piene. Didelis jodo kiekis kaupiasi ir paukščių kiaušiniuose, mėsoje - tik šimtosios dalys.

Daugiausia jodo būna skydliaukėje (net iki 10 000 kartų daugiau negu kituose organuose). Kur kas mažesnis jo kiekis patenka į inkstus, kepenis, raumenis ir kaulus. Itin pavojingas jodo kaupimasis vaikų skydliaukėje, kuri apie dešimtį kartų mažesnė už suaugusiojo skydliaukę. Todėl vaikų skydliaukės gali gauti nuo dviejų iki dešimties kartų didesnes apšvitinimo dozes negu suaugusiųjų. Biologinio pašalinimo iš žmogaus organizmo ir skydliaukės pusamžis - 138 paros, kepenų, inkstų - 7 paros, stuburo - 12 parų. Iki šių dienų jodas 131 visiškai suskilo. Jis buvo pavojingas tik pirmuosius 1,5-2 mėnesius po avarijos.

Cezis 137 (jo cheminės savybės panašios į kalio) patenka į organizmą per kvėpavimo ir virškinimo takus, greitai susigeria, patenka į kraują ir tolygiai kaupiasi minkštuose audiniuose: raumenyse, smegenyse, kepenyse. Organizmas jį įsisavina su mėsa, daržovėmis, žuvimi, duona.

Cezis 137 šalinamas iš organizmo per inkstus, su šlapimu ir išmatomis. Biologinis pašalinimo pusamžis: iš žmogaus organizmo - 70 parų, iš raumenų, plaučių ir stuburo - 140 parų; iš vaikų organizmo, priklausomai nuo amžiaus, - 20-50 parų.

Stroncis 90 (cheminis kalcio analogas) patenka į organizmą per plaučius, virškinimo takus ir odą, gerai susigeria ir po truputį kaupiasi kauluose, beveik neužsilaiko raumenų audiniuose. Pavojingi stroncio 90 šaltiniai yra ankštiniai augalai (pupos, pupelės, žirniai), šakniavaisiai (morkos, ridikai, cukriniai runkeliai, petražolės ir kt.), bulvės ir grūdiniai augalai (kviečiai, rugiai, ryžiai, kukurūzai ir kt.). Augalai šaknimis godžiai siurbia iš dirvos kalcio druskas, kartu su jomis patenka ir stroncis 90. Šalinamas iš organizmo su šlapimu ir išmatomis. Biologinis pašalinimo pusamžis - $1,8 \cdot 10^4$ parų.

Biologiniai radiacinio apšvitinimo padariniai matyti 10 lentelėje - "Biologiniai jonizuojančio spinduliavimo padariniai".

Kai kurių pavojingų radionuklidų charakteristikos pateiktos 11 lentelėje - "Kai kurios jodo 131, stroncio 90 ir cezio 137 charakteristikos".

Literatūra

1. Заиченко А.И. Контроль радиационной безопасности. - М.: Медицина, 1989. - С. 15-18.
2. Кириллов В.Ф. и др. Радиационная гигиена. - М.: Медицина, 1988. - С. 20-95, 178-206.
3. Максимов В.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - С. 5-67.
4. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - С. 7-120.
5. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - С. 5-190, 198-205.
6. Нормы радиационной безопасности НРБ - 76/87. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 4-29, 89-90.
7. Основные санитарные правила ОСП - 72/87. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 93-96, 98-102, 109-115, 118-121, 123-124, 150-155, 148-149.
8. Радиация. Дозы эффекты риск. - М.: Мир, 1988.
9. Руководство по медицинским вопросам противорадиационной защиты. - М.: Медицина, 1975. - С. 12-125.
10. Сивинцев Ю.В. Насколько опасно облучение? - М.: Знание, 1988. - С. 6-74.
11. Холл Э.Д. Радиация и жизнь. - М.: Медицина, 1989. - С. 15-152, 234-254.
12. Энергия: экономика, техника, экология. - М.: Наука. - 1989. - № 7, 8, 9, 10.

II DALIS

RADIOAKTYVUSIS VIETOVĖS UŽTERŠIMAS IR JO PADARINIAI

Jonizuojantis spinduliuavimas yra vienas iš pagrindinių pažeidimo veiksnių, kurį sukelia:

branduoliniai sproginiai (akvarbioji radiacija);

antžeminiai branduoliniai sproginiai ir atominių objektų avarijos (radioaktyvusis vietovės užteršimas);

tyčinis arba neapdairus RM paskleidimas.

Branduoliniai sproginiai: Hirosimos ir Nagasakio atominiai bombardavimai (1945 m. rugpjūčio 6-9 d.); branduoliniai bandymai atmosferoje (iki 1963 metų) Semipalatinsko ir Naujosios Žemės (TSRS), Nevados ir kt. poligonuose (JAV), Kinijos ir Prancūzijos poligonuose.

1961 metų spalio 30 d. virš Naujosios Žemės buvo įvykdytas galingiausias bandymų istorijoje 58 megatonų termobranduolinis sproginas. Per 1961-1962 metų laikotarpį bendras sproginų šiame poligone galingumas sudarė 300 megatonų ir viršijo visų kitų atominių ginklų turinčių valstybių sprogdinimų 1945-1980 metais galingumą. Šie sproginiai padarė Žemės gyventojams globalų radiacinį poveikį, tolygų keturiems normaliems metiniams radiacijos fonams, arba apie 30 milijonų zivertų (20 Sv sukelia vieną mirtį nuo onkologinės ligos, 30 MSv - $1,5 \cdot 10^6$ mirčių). Branduolinių bandymų padariniai bus juntami 5600 metų. Vienos megatonos galingumo sproginas atmosferoje per penkis tūkstantmečius bus maždaug tūkstančių mūsų ainių mirties priežastis.

Atominių objektų avarijos: Čeliabinsko RM gamykloje "Majak" (1957), Trijų Mylių salos AE (1979), Černobylio AE (1986) ir kt.

Tyčinis ar neapdairus RM paskleidimas. 1968 m. sausio 21 d. Grenlandijoje, Tulės apylinkėse, sudežęs degantis JAV bombonešis B-52 su keturiomis vandenilinėmis bombomis, paskleidė radioaktyvųjį plutoną ir tritį. Netrukus susirgo danų darbininkai, padėję likviduoti avarijos padarinius. Kankino odos ligos, krito nagai, diagnozuota ir retai pasitaikantis vėžys. 17 žmonių mirė. Iš 1060 civilių Tulės gyventojų daugiau kaip 500 sirgo įvairiomis ligomis, 98 - vėžiu, 22 - po sunkios ligos mirė. Vėžiu serga ir kai kurie iš 14 000 amerikiečių kareivių, dirbusių avarijos padarinių likvidavimo darbuose.

1987 metais du Gajanos (Brazilija) miesto bedarbiai surado ir išardė "cezio patranką" (100 kg patranka ir 100 g Cs 137). Padariniai buvo tokie: 4 žmonės mirė, 3000 apšvitinti, 248 pažeisti radiacijos, 76 200 atliekama radiologijos kontrolė. "Radioaktyvusis purvas" rastas už 52 km nuo miesto, šeši radiacijos šaltiniai - už 200 km esančiame didžiausiam Pietų Amerikos mieste - San Paule. Buvo nugriauti dideli gyvenamieji kvartalai, o RM laidojimas kainavo kelis milijardus dolerių.

1989 metais Kramatorske (Ukraina) gyvenamojo buto sienoje buvo atrastas galingas radiacijos šaltinis, nuo kurio per keletą metų žuvo čia gyvenusios dvi šeimos. Nukentėjo apie 300 žmonių, daugiausia vaikai. O kiek dar žmonių lankėsi šiame name: statė, remontavo, svečiavosi?

Lietuvos Respublikos higienos centro radiologijos laboratorija vykdo ilgą statybinių medžiagų radiologinio tyrimo programą. Tiriama visi Lietuvos statybinių medžiagų karjerai ir mūsų statybos pramonės bei importiniai gaminiai. Randamos RM koncentracijos neviršija leistinų lygių. Tačiau reikėtų tikrinti radiacijos ir radioaktyviojo užterštumo lygį kiekviename naujame name, bute, statinyje, statybinėse medžiagose, statybai skirtame žemės sklype. Kiekvienas gyventojas ir be dozimetrinių prietaisų galėtų patikrinti savo gyvenamojo būsto radiacinį saugumą. Tam kiekvienoje patalpoje reikėtų pakabinti neapšviestą fotografinio popieriaus lapą, įvyniotą į neperšviečiamą popierių, ir po kelių dienų jį išryškinti. Jeigu lapas švarus arba jame yra tik nedaug juodų taškelių - radiacijos lygis patalpose neviršija radiacijos fono ir yra nepavojingas. Jeigu lape atsirado daug juodų taškų ar net juodų dėmių - eksperimentą reikia pakartoti, o rezultatui pasikartojus, kreiptis į Higienos centro specialistus.

Lietuvos Respublikoje veikia Ignalinos atominė elektrinė, beveik 500 pramonės ir medicinos įstaigų, kuriose yra jonizuojančio spinduliavimo šaltinių, 650 rentgeno kabinetų. Jonizuojančio spinduliavimo šaltiniai ir RM naudojamos pramonėje elektrostatiniais krūviams neutralizuoti tekstilės ir popieriaus fabrikuose, suvirinimo siūlių kokybei patikrinti tiesiant dujotiekius, kaip storio, lygio ir tankio matuokliai agresyviose ir triukšmingose gamybose ir kt.

1989 metais Lietuvoje buvo inventorizuoti visi jonizuojantys šaltiniai. Šių šaltinių įsigijimas, gabenimas, naudojimas ir laidojimas griežtai kontroliuojamas - kiekviena mašina, prietaisas turi specialų pasą. Gerai būtų, kad mūsų Respublikoje neatsirastų neįaučiančių atsakomybės, aplaidžių darbuotojų.

VI skyrius

BRANDUOLINIAI REAKTORIAI IR BRANDUOLINIAI UŽTAISAI

Branduolinių reaktorių veikimas pagrįstas savaimine grandinine reakcija. Kad vyktų grandininė reakcija, reikia turėti branduolinį kurą, neutronų srautą ir neutronų lėtiklį.

Gamtinis uranas (99,3 proc. U 238 ir 0,7 proc. U 235) branduoliniam kurui netinka, jį reikia prisodrinti bent 2-3 proc. U 235. JAV AE naudojamas 3 proc. sodrumo uranas, buvusioje TSRS - 2 proc. (po Černobylio AE avarijos - 2,4 proc.). Iš branduolinio kuro neutronai išsiskiria savaime, bet jų energija per didelė (greitieji neutronai). Todėl neutronų greitį reikia sulėtinti iki šiluminės energijos greičio. Branduoliniuose reaktoriuose kaip lėtikliai naudojami lengvasis vanduo (H_2O), sunkusis vanduo (D_2O) ir grafitas (C).

Štuotakliniai reaktorių tipai:

LWR (Light Water Reactor) - lengvojo (paprasto) vandens reaktorius;
LWGR (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor) - lengvojo vandens reaktorius su grafitiniu lėtikliu. Šio reaktoriaus pavadinimo atitikmuo RBMK (rus.);

FBR (Fast Breeder Reactor) - greitųjų neutronų reaktorius;
ateilės reaktoriai - termobranduoliniai - patikimiausi.

Palyginsime LWR ir RBMK tipo reaktorius.

Lengvojo vandens reaktorius - energetinis reaktorius, kuriame paprastas vanduo yra vienu metu ir lėtiklis, ir šilumnešis. Jeigu reaktoriuje netikėtai dingtų vanduo, tai grandininė reakcija savaime nutrūktų. Jei dėl kokių nors priežasčių padidėtų vandens temperatūra arba jis užvirtų, tuomet sumažėtų vandens tankis, vadinasi, ir lėtiklio kiekis; sulėtėtų grandininė reakcija ir energijos išsiskyrimas. Temperatūra mažėtų. Taigi LWR yra stabilus temperatūros padidėjimui.

Nepaisant to, 1979 metais įvyko Trijų Mylių salos AE avarija. Kodėl?

Tos avarijos metu grandininė reakcija nebuvo nevaldoma, ji nutrūko per kelias sekundes. Čia buvo kita priežastis - likusio radioaktyvumo išskiriama šiluma. Prapuolus aušinimui, tos šilumos pakanka, kad būtų išlydyta reaktoriaus šerdis. Tačiau tas procesas vyksta gana ilgai ir nesukelia stipraus sprogdimo.

LWR - 20 cm storio plieninis kabinas, pripildytas 3 proc. sodrumo urano kuro. Reaktorius visiškai uždarytas 1 m sustiprinto betono gaubtu, į kurį įklotas plieninis lakštas. Gaubtas suprojektuotas taip, kad apsaugotų reaktorių nuo gamtinių ne-

laimių, viesulo pakeltų daiktų (automobilis, medis, namas), krintančio lėktuvo arba žetoli laikomų sprogmenų sproginimo ir pan. Avarinėje situacijoje visos RM pasilieka po gaubtu. Trijų Mylių salos AE avarijos metu gaubte buvo skylė, pro kurią RM išsiveržė į atmosferą.

RBMK (didelio galingumo kanalinis reaktorius) tipo reaktoriai veikia Nepriklausomų Valstybių Sandraugoje (Černobylio AE ir kt.), Lietuvoje (Ignalinos AE), kai kuriose Rytų Europos valstybėse. Reaktoriaus lėtklis - tai 1700 tonų grafito, perverto 1693 vamzdžiais, kuriais siurbiamas vanduo. Į šiuos vamzdžius įleidžiami vamzdžiai, kuriuose yra 192 tonos 2-2,4 proc. sodrumo urano kuro. Esant tokiam mažam sodrumui, vanduo yra "nuodas" (išgaudo dalį neutronų), slopinantis grandininę reakciją. Vadinas, nesant vandens, grandininė reakcija suintensyvėja ir susiklosto pavojinga situacija. Jei dėl kokios nors priežasties pakyla temperatūra, reaktoriuje intensyvėja virimo procesas ir sumažėja vandens kiekis. Kartu mažėja "nuodų", paspartėja grandininė reakcija, išsiskiria daugiau energijos ir dar labiau pakyla temperatūra. Žodžiu, reaktorių nestabilus temperatūros padidėjimui.

Šiems trūkumams kompensuoti ir grandininei reakcijai reguliuoti naudojami valdymo strypai, pagaminti iš gerai sugeriančios neutronus medžiagos. Suleidus tokius strypus į reaktorių, grandininė reakcija sulėtėja, o ištraukus juos - paspartėja. Kad reaktorių veikimą stabiliau, dalis valdymo strypų nuolat suleisti į reaktoriaus aktyviąją zoną.

LWR saugumą avarijos atveju laiduoja fizikos dėsniai, o RBMK - aktyvi valdymo sistema. Tokia valdymo sistema kartais gali ir sutrikti.

Kodėl buvo statomi tokie nepatikimi reaktoriai? Todėl, kad:

- juose galima pasiekti didelį vienetinį galingumą (1000-1500 MW);
- galima gaminti plutonį (branduolinio ginklo kuras), kurio gamtoje nėra, bet lengva pagaminti iš U 238 ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$);
- galima keisti kurą, nestabdant reaktoriaus (kai garr namas plutonis - kas 30 dienų).

LWR plutonio gamybai netinka, nes naudojamas labai scdrus uranas (daug U 235). Kuro keitimui sugaištama apie mėnesį. Todėl netikslinga kas 30 dienų keisti kurą. Visas kuras keičiamas kas keleri metai.

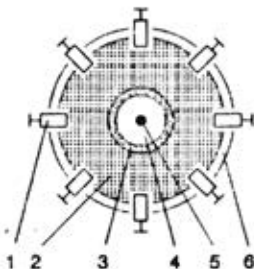
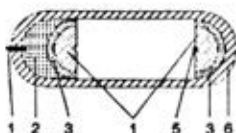
RBMK tipo reaktoriai sukonstruoti taip, kad kuras gali būti keičiamas nuolatos. Tam reikia didelio darbinio ploto virš reaktoriaus ir nebeįmanoma reaktoriaus uždengti apsauginiu gaubtu.

Branduoliniai užtaisai. Branduoliniam užtaisui naudojama branduolinė sprogstamoji medžiaga U 235 ir Pu 239. Užtaisai sprogstą tuomet, kai jame susidaro

masė, viršijanti kritinę, t.y. tokia masė, kurioje prasideda nevaldoma grandininė sprogstamoji reakcija. Kritinė masė priklauso nuo to, kiek branduolinėje sprogstamojoje medžiagoje yra U 235 arba Pu 239 (paprastai iki 90 proc.), taip pat nuo medžiagos tankio, kiekio, užtaiso geometrinės formos ir t.t. Užtaise branduolinės sprogstamosios medžiagos yra nedaug - nuo kelių iki keliolikos kilogramų.

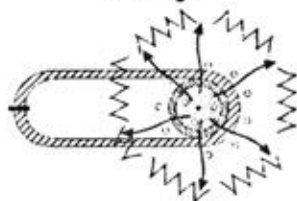
Branduolinis užtaiso kuras yra padalintas į kelias dalis (10 a pav.), kurios specialiu užtaisu sujungiamos - įšaunamos viena į kitą (patrankos tipo branduolinis užtaisas). Gali būti gaminamas kuras, kurio tankis mažesnis už kritinį (10 b pav.); sprogimo metu jis spaudžiamas - taip susidaro viršijanti kritinė masė (implozinio tipo branduolinis užtaisas). Branduolinis užtaisas - tai greitis reaktorius, kuriame sprogimas įvyksta per milijonines sekundes dalis, o reakcijoje dalyvauja greitieji neutronai.

Iki sprogstamosios medžiagos sprogimo

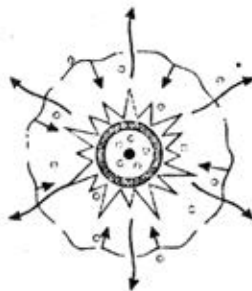


Iki sprogstamosios medžiagos sprogimo

Sprogus sprogstamajai medžiagai



a



b

Sprogus sprogstamajai medžiagai

10 pav.

a - patrankos tipo; b - implozinio tipo. 1 - detonatorius; 2 - sprogstamosios medžiagos užtaisas; 3 - neutronų atšvaitas; 4 - branduolinė sprogstamoji medžiaga; 5 - neutronų šaltinis; 6 - korpusas.

IŠVADOS:

1. Branduoliniame užtaise yra nuo kelių iki keliolikos kilogramų branduolinio kuro, branduoliniame reaktoriuje - keli šimtai tonų;

2. Branduoliniame reaktoriuje branduolinis sprogimas neįmanomas (negalima sustabdyti kritinės masės);

3. RBMK tipo branduolinis reaktorius yra nestabilus, jam reikia patikimos valdymo sistemos. Negalima palikti reaktoriaus be vandens (be aušinimo).

VII skyrius

IGNALINOS ATOMINĖ ELEKTRINĖ

Ignalinos AE veikia 2 RBMK-1500 tipo reaktoriai. RBMK-1500 yra galingiausias pasaulyje energetinis reaktorius (šiluminis galingumas 4800 MW, elektrinis - 1500 MW). Pirmasis Ignalinos AE energetinis reaktorius pradėtas eksploatuoti 1983 metų gruodžio 31 d., antrasis - 1987 metų rugpjūčio mėnesį. Projektinė eksploatavimo trukmė - 25-30 metų, tad blokų darbo ištekliai baigsis 2010-2015 metais. 1988 metų pradžioje priimtas sprendimas, kad pirmasis Ignalinos AE blokas leidžiamas eksploatuoti 1050 MW galingumu, o antrasis - 1250 MW. Bendrasis elektrinės galingumas - 2300 MW.

Reaktorius. Pagrindinė reaktoriaus dalis - grafito statinys su branduoliniu kuru ir valdymo strypais - patalpinta betoninėje šachtoje. Reaktoriaus aktyvioji zona uždengta 12 m biologinės apsaugos vandens cisterna, kuri uždengta metaline konstrukcija.

Branduolinė reakcija vyksta specialiuose strypuose (šilumą išskiriančiuose elementuose - ŠIEL), kuriuose yra po 16 kg 2,4 proc. sudrums urano dioksido tablečių 18 strypų sujungiami į šilumą išskiriantį rinkinį, o du tokie rinkiniai sudaro šilumą išskiriančią kasetę. Vienos tokios kasetės pakanka 1,5-3 metams. Naudojant kitą kurą, tokios elektrinės darbui per parą reikėtų 12 000 tonų mazuto (trijų ešelonų po 60 cisternų kiekviename).

Kuras kraunamas dirbant reaktoriui, reaktoriaus galingumas nemažinamas. Centrinėje reaktoriaus salėje yra pakrovimo ir iškrovimo mašina, kurios aukštis maždaug 20 m. Mašina automatiškai hermetizuojasi su technologiniu kanalu, išima didelio aktyvumo panaudotą kasetę, krauna naują kasetę, o naudotą gabena į saugojimo vietą. Naudotas kuras saugomas gretimose salėje įrengtame 10 m gylio vandens baseine - dvejus metus kasetėse ir dar aštuonerius metus - be kasetių (iš viso dešimt metų). Visas naudotas kuras nuo AE eksploatavimo pradžios saugomas elektrinėje.

Reaktoriuje įkaitinti vandens garai suka du generatorius. Dviejų reaktorių bendroje mašinos salėje veikia keturi generatoriai.

Blokiniame valdymo pulte valdomi visi reaktoriuose vykstantys procesai. Į valdymo pultą įvesta apie 30 000 įvairių parametru. Čia automatiškai reguliuojama branduolinė reakcija, elektros energijos gamyba, vandens tiekimas aušinti ir t.t. Dirba vos keli operatoriai.

Reaktoriaus galingumas valdomas 211 strypų, pagamintų iš boro karbido. 24 strypai nuolat įvesti į aktyviają zoną, likusieji sudaro avarinę apsaugą. Elektrinėje patobulinta avarinės apsaugos sistema: avariniai strypai panardinami į aktyviają zoną automatiškai - per 2 sek., rankiniu valdymu - per 3,5 sek. (iki Černobylio AE avarijos tai užtrukdavo 18 sek.).

Darbo slėgis vandens garo separatoriuose - 74 kgf/cm^2 ; slėgiui sumažėjus iki 60 kgf/cm^2 , ima veikti apsauga. Prasidėjus žemės drebėjimui pirmiausia trūktų vamzdynai, sumažėtų slėgis ir pradėtų veikti apsauga.

IGNALINOS AE RADIACINĖ SAUGUMAS

AE padalyta į tris zonas:

- 1 zona neaptarnaujama;
- 2 zonoje radiacijos lygis viršija $4 \mu\text{R/s}$, lankymas apribotas;
- 3 zonoje radiacijos lygis mažesnis negu $4 \mu\text{R/s}$, darbo laikas neribojamas.

Ignalinos AE darbuotojams nustatyta ribinė leistina apšvitinimo dozė - 5 rem per metus. Leistina dozė neviršijama. Daugiausia apšvitinama, atliekant profilaktikos ir remonto darbus.

Elektrinėje veikia radiacijos kontrolės punktas. Visuose įmanomuose taškuose įrengti automatiniai davikliai, kurie kontroliuoja aerozoles, dujas, vandenį, gama spinduliavimą.

Aplinkos radiacinę būklę kontroliuoja IAE išorinės dozimetrijos laboratorija, Lietuvos Respublikos MA fizikos institutas.

Lietuvoje veikia radiologinio monitoringo sistema, kurioje dirba:

1. Lietuvos MA fizikos instituto radiologijos grupė;
2. Respublikiniai, Vilniaus, Kauno, Šiaulių, Klaipėdos, Panevėžio miestų, Zarasų, Ignalinos, Utenos bei pietvakarių Lietuvos rajonų higienos centrai;
3. Žemės ūkio ministerijos respublikinės veterinarijos laboratorijos radiologijos grupė;
4. Aplinkos apsaugos departamento radiologijos laboratorija.

Pagrindinės veiklos kryptys:

- Ignalinos AE įtaka aplinkai;
- Černobylio AE avarijos įtaka pietvakariniams Lietuvos rajonams;
- Importinės maisto produkcijos kontrolė;
- Gamtinio gama fono matavimai.

Ignalinos AE turi tiesioginį ryšį su Respublikos Vyriausybe ir Respublikos ci-

vilinės saugos departamentu.

IGNALINOS AE RADIACINIS POVEIKIS APLINKAI.

Į aplinką per 150 m aukščio kaminą patenka inertinės dujos - kriptonas ir ksenonas. Jos laikomos ir valomos specialioje kameroje, jų aktyvumas mažinamas anglies kolonose. Į atmosferą išmetama 5-12 proc. nustatytų normų.

Visos patalpos, kuriose gali nutekėti RM, yra sandarios, su specialiais įrenginiais.

Užterštas vanduo kaupiamas specialiose talpose, filtruojamas, RM nusodinamos. Nuosėdos surenkamos į bitumo apvanką ir gabenamos į laidojimo vietą.

Eksploatuojant Ignalinos AE, per 1984-1990 metų laikotarpį radioaktyviųjų medžiagų koncentracija Drūkšių ežero ir viso AE regiono ekologinių sistemų organiniuose ir neorganiniuose komponentuose, vietinės gamybos maisto produktuose ryškiau nepakito. Ignalinos, Zarasų ir pietvakarinių Lietuvos rajonų pagrindiniuose maisto produktuose ir geriamajame vandenyje RM Sr 90, Cs 137 koncentracija šimtus kartų mažesnė už reglamentuotą. Aplinka švaresnė negu prie šiluminės elektrinės. Pavojų kelia ne dabartinė aplinkos radiacinė būklė, o nepatikima AE energotechnika, valdymo sistema. Kelia nerimą galutinai neišspręstos radioaktyviųjų atliekų laidojimo bei baigusią darbą reaktorių baigimo eksploatuoti problema.

VIII skyrius

ATOMINIŲ OBJEKTŲ RADIACINĖS AVARIJOS IR JŲ PADARINIAI

Atominės elektrinės, kuriose įvyko avarijos, gali tapti pavojingais radioaktyviojo užteršimo šaltiniais. Avarinės situacijos susidaro tada, kai:

sutrinka technologinės valymo sistemos ir branduolinio skilimo produktai (BSP) išmetami su dujomis arba vandeniu į tvenkinius ir upes;

šiluminis sproginas sugriauna aktyviają reaktoriaus zoną ir labai daug BSP patenka į aplinką.

Branduolinių objektų avarijos gali būti:

ribotos (lokalios), kai RM nepatenka už reaktoriaus pastato ribų;

objektinės, kai RM nepatenka už objekto (atominės elektrinės) ribų;

bendrosios, kai RM patenka už atominės elektrinės ribų ir užteršia aplinką.

Pirmoji stambi atominio objekto avarija (apie ją visuomenė sužinojo tiktai po 30 metų) vyko 1957 metais Čeliabinsko radioaktyviųjų medžiagų gamykloje "Majak". Sprogo didelio aktyvumo radioaktyviųjų atliekų saugykla. Į aplinką išsiveržė apie 20 MCi aktyvumo RM, užteršta 23 000 kv. kilometrų teritorija, evakuota daugiau kaip 10 000 gyventojų, apie 3000 susirgo ūmine spinduline liga. Į Karačajaus ežerą ir Tečos upę pateko 120 MCi aktyvumo RM, t.y. 50 kartų daugiau nei per visą Černobylio avariją.

1979 metų kovo 28 d. įvyko radiacinė avarija Trijų Mylių salos AE. Sutriko aušinimo sistema. Reaktorių sustabdė, bet jis ir toliau nenustojo skirti šilumos. Išjungus avarinę aušinimo sistemą, sprogo vandenilis. Išsilydė aktyvioji zona, reaktorius atsivėrė. Apie 70 proc. sukauptų aktyvioje zonoje skilimo produktų perėjo į pirmojo kontūro šilumnešį. Reaktoriaus korpuse radiacijos lygis pasiekė 80 R/h. Bet techninė hermetizacijos ir valymo sistema sulaukė didesniąją RM dalį, į atmosferą pateko tik inertinių dujų (ksenono ir kriptono) bei nedidelis jodo radionuklidų kiekis. Radiacijos lygis už AE tvoros sudarė 20-25 mrem/h. Nors 7,5 km nuotoliu nuo AE gyventojai per visą avarijos laiką gavo tik 85 mrem apšvitinimo dozę (neviršijančią natūraliojo radiacijos fono dozės), tačiau iš pavojingos zonos turėjo pasišalinti apie 60 000 žmonių (nėščios moterys, vaikai ir kt.), dar milijonas ruošėsi evakuotis.

Avarija ir jos padarinių likvidavimas kainavo 130 milijardų dolerių. Tai buvo

rimčiausia avarija per visą JAV atominės energetikos istoriją. Iš jos pasimokė visų pasaulio valstybių atominė energetika, tik ne TSRS atominė energetika. Pastaroji neišvengiamai ėjo prie Černobylio avarijos.

1986 metų Černobylio AE avarija - tai pati didžiausia XX a. katastrofa, nulėmusi milijonų žmonių, gyvenančių didžiulėse teritorijose, likimą.

Balandžio 26 dieną 1 val. 24 min. sprogo Černobylio AE ketvirtasis reaktorius. Sprogimo metu buvo sugriautas reaktoriaus pastatas ir mašinų salės stogas. Reaktoriaus salėje kilo gaisras, kuris persimetė ant mašinų salės stogo. Į atmosferą išsiveržė apie 3,5 proc. branduolinio kuro (maždaug 6 tonos).

Avarijos priežastis - netinkami specialistų veiksmai mažinant reaktoriaus galiną turbogeneratorių darbo režimų bandymų metu. Operatoriai išjungė avarinę apsaugą ir, staigiai padidėjęs galingumui, reaktorius tapo nevaldomas. Reaktoriaus aktyvioje zonoje ir šilumnešio kontūre ūmai pakilo temperatūra ir slėgis, įvyko šiluminis sprogamas, kuris ir sugriovė reaktorių. Štai tada ir išryškėjo RBMK tipo reaktoriaus pagrindiniai trūkumai: reaktorius nestabilus temperatūros padidėjimui, nepatikima jo valdymo sistema (nėra apsaugos nuo "kvailių").

Tučiuojau po sprogimo grandininė reakcija nutrūko todėl, kad iš aktyviosios zonos buvo išmestas lėtiklis ir dalis branduolinio kuro. Susidarė daugialypis skylančių medžiagų lydinys, kurio temperatūra siekė 1000°C. Sugriautas reaktorius pavirto be paliovos veikiančiu RM garavimo atmosferoje šaltiniu. Radioaktyvaus lydinio temperatūra ir RM veržimosi į atmosferą intensyvumas mažėjo labai lėtai, o bandymas nutraukti išsiveržimus užpilant reaktorių įvairiomis medžiagomis iš sraigatarnių buvo neveiksmingas. Tik gegužės mėn. viduryje pavyko sumažinti radioaktyviųjų išsiveržimų aktyvumą ir tankį.

Štai toks radiacijos lygis buvo Černobylio AE teritorijoje (R/h):

Matavimo vieta	04 30	05 09	05 16	06 04	06 30	07 06	07 22
Virš ketvirtojo reaktoriaus (200 m aukštyje)	340	300	300	90	94	70	50
Prie reaktoriaus	iki 1000	iki 500	400	400	400	400	400
Per 100-150 m nuo reaktoriaus pastato	200	-	135	30	30	30	8

Avarijos metu radioaktyvusis debesis, kuriame buvo aerozolinis radionuklidų mišinys (apie 20 proc. sukaupto aktyvumo), pakilo į 1500 m aukštį. Šis pirmasis debesis pagal bendrąją ekvivalentinę apšvitinimo dozę (iki 10 000 - 15 000 rem) galėjo sukelti masinius radiacinius pažeidimus 10-20 km nuotoliu nuo avarijos vietos Laimėi, šis debesis slinko nuošalyje nuo gyvenviečių; kitomis sąlygomis vien Pripetėje galėjo būti iki 30 000 aukų.

Per pirmąsias 4-5 paras susidarė ilgalaikis vietovės radioaktyvusis užteršimas artimajame pėdsake (iki 100 km). Tačiau galutinai radioaktyvusis pėdsakas formavosi iki gegužės mėn. pabaigos.

Susidarė užteršimas pavieniais židiniiais tolimajame pėdsake (iki 1000 ir daugiau kilometrų). Radioaktyviosios medžiagos iškrito daugumoje TSRS vakarinių rajonų. Oro užteršimas arba 131 iškritimas buvo įregistruotas iki gegužės 2 d. Ukrainoje (Kijeve, Vinicoje, Ivano Frankovske, Rovne), Baltarusijoje (Minsko, Breste, Mogiliove). Radiacijos lygis pakilo ir Baltijos šalyse.

Žymios radioaktyviosios nuosėdos su lietuvi iškrito Austrijoje, Vokietijoje, Italijoje, Norvegijoje, Švedijoje, Lenkijoje, Rumunijoje, Suomijoje. Tačiau tolimuosiuose rajonuose užteršimas pagal Cs 137 neviršijo 1 Ci/km², jis buvo trumpalaikis ir nepavojingas gyventojams.

Kur kas sudėtingesnė padėtis susidarė artimajame pėdsake, į kurį pateko kai kurios Baltarusijos, Ukrainos ir Rusijos Federacijos sritys.

AVARIJOS PADARINIAI

Tarybų Sąjungos vadovybė ir politinės organizacijos ilgą laiką slėpė tiesą apie Černobylio katastrofos padarinius. Oficialiais duomenimis 31 žmogus mirė (du nuo sprogimo, kiti nuo nudegimų ir spindulinės ligos) avarijos metu ir likviduodamas jos padarinius, 209 susirgo spinduline liga, o daugiau susirgusių nuo radiacijos poveikio nebuvo. Iš 30 km zonos buvo evakuota apie 135 tūkstančių žmonių, kurie gavo vidutiniškai po 12 rem dozę.

Iš tikrųjų jau 1986 m. gegužės 12 d. buvo hospitalizuota ir viso 10 198 žmonių, 345 (tarp jų 35 vaikai) turėjo spindulines ligas požymių. Iki 1992 metų mirė nuo septynių iki dešimties tūkstančių žmonių (tarp jų 69 Lietuvos gyventojai, dirbę avarijos padarinių šalinimo darbuose).

Cs 137 užteršta apie 140 tūkstančių kv.km. Užterštoje teritorijoje gyvena apie 5 milijonai gyventojų. Nuo radiacijos nukentėjo kas ketvirtas Baltarusijos gyventojas. Pažeista ir dešimt Rusijos Federacijos sričių.

Padidėjo žmonių sergamumas. Pavyzdžiui, Baltarusijoje iki 1986 metų leukoze susirgdamo vidutiniškai 25-30 žmonių per metus (tarp jų nebuvo vaikų). Leukozės

dinamika šioje Respublikoje tokia: 1986 m. - 25, 1987 m. - 54, 1988 m. - 30, 1989 m. - 42, 1990 m. - 65. Nuo leukozės 1988 metais mirė 13 vaikų, 1989 metais - 40. 1990 metų pirmąjį ketvirtį - 11. Maždaug 200 tūkstančių Baltarusijos vaikų padidėjusi skydylaukė, dėl to gali pasireikšti piktybiniai susirgimai.

Milžiniškų nuostolių patyrė ekonomika: iki 2000 metų daugiau kaip 200 milijardų rublių 1989 metų kainomis.

PAMOKOS IR IŠVADOS

1. Įvykus avarijai ir likviduojant jos padarinius buvo galima išvengti žmonių aukų. Bet daug žmonių žuvo, buvo sužalota. Kodėl taip įvyko?

Černobylio AE vadovybė nepaprastai sudėtingoje situacijoje neįvertino avarijos pavojingumo, nevykdė iš anksto sudaryto gyventojų apsaugos plano. Pavėluotai ir nenašiai veikė radiacinė žvalgyba. Žmonės, ypač ugniagesiai, dirbo, nežinodami realios radiacinės būklės, rizikuodami savo gyvybe ir sveikata.

Reikiamai nebuvo organizuota dozimetrinė kontrolė. Nesugebėta registruoti gaunamų apšvitinimo dozių, kad operatyviai būtų galima reaguoti į jų poveikį žmonių sveikatai. Tai buvo viena iš pagrindinių AE darbuotojų, ugniagesių ir kitų žmonių, dalyvavusių avarijos padarinių likvidavimo darbuose, radiacinio pažeidimo priežasčių.

Trūko dozimetrinių prietaisų ir tie patys buvo nepritaikyti darbui, įvykus avarijai. Vidinio apšvitinimo dozės buvo nustatomos tikslai iš radioaktyviojo jodo koncentracijos skydylaukėje; koncentracija buvo tiesiogiai matuojama prietaisais DP-5 (B, V, A). Nebuvo ir nėra matavimo prietaisų bei metodų, kuriais matuotų žmonių odos ir viso kūno užterštumą beta RM, vidinį apšvitinimą alfa radionuklidais.

Pirmas ir galingiausias RM išsiveržimas įvyko naktį, o tik praėjus parai gyventojai sužinojo tikrąjį avarijos pobūdį. Todėl neįmanoma vertinti, kaip žmonės pa veikė apšvitinimas pirminio radioaktyviojo debesies slinkimo kelyje.

2. Įvykus bet kuriai nelaimei, gyventojai turi gauti laiku ir objektyvią informaciją. Kiekvienas žmogus turi žinoti, kas įvyko, kaip elgtis konkrečiomis sąlygomis, ką daryti ir t. t. Taip nebuvo per Černobylio AE avariją. Todėl gyventojai nepasinaudojo apsauginiais statiniais, gyvenamųjų namų apsauginėmis savybėmis, individualiomis apsaugos priemonėmis. Laiku neatlikta ir jodo profilaktika, nors didžiausią pavojų pirmosiomis po avarijos dienomis ir savaitėmis kėlė radioaktyvusis jodas.

Radioaktyviojo užterštumo, gautų apšvitinimo ir kiti avarijos padarinių duomenys ilgą laiką buvo įslaptinti, užterštosios vietovės gyventojai nežinojo realios padėties ir neretai būdavo dezinformuojami.

3. Dauguma gyventojų visiškai arba beveik nieko nežinojo apie jonizuojančio spinduliavimo poveikį ir apsaugą nuo jo, nemokėjo vykdyti elementarių apsaugos nuo radiacijos reikalavimų.

4. Pavėluotai buvo evakuoti gyventojai. Gyventojai transporto priemonių laukdavo atviroje vietovėje, kur gaudavo papildomas apšvitinimo dozes. Tuoj pat po avarijos nebuvo blokuota pavojingo užteršimo zona, todėl RM nekontroliuojamai plito už šios teritorijos ribų.

5. Gelbėjimo, specialaus švarinimo ir kitokia technika, dozimetriniai prietaisai, dauguma individualios apsaugos priemonių buvo techniškai pasenę ir netinkami darbui didelių radiacinių avarijų sąlygomis.

ČERNOBYLIO AE AVARIJOS PADARINIAI LIETUVOJE

Radioaktyviųjų dulkių debesis pasiekė Vilnių balandžio 27 d. Balandžio 28-ąją radiacijos fonas Vilniuje apytikriai buvo 0,1 mR/h, o tai maždaug 5-10 kartų daugiau už gamtinį foną. Padidėjęs fonas balandžio 29-ąją sumažėjo iki 0,03 mR/h, balandžio 30 d. vėl padidėjo iki 0,07 mR/h, vėliau svyruodamas ėmė artėti prie normalaus dydžio. Gamtinis radiacijos fonas Lietuvoje grįžo į normalų lygį jau gegužės mėnesį ir nuo to laiko neviršija 8-20 μ R/h.

Buvo padidėjusi ir kai kurių RM koncentracija. Pavyzdžiui, pietiniuose rajonuose jodo 131 koncentracija piene buvo per 1000 Bq/l. Maksimaliai leistina jodo koncentracija piene suaugusiam žmogui yra 1000 Bq/l. Tačiau tokia didelė jodo 131 koncentracija piene aptikta tik epizodiškai 1988 metų balandžio mėn. pabaigoje - gegužės mėn. pradžioje. Maždaug po 40 dienų pienas ir iš jo pagaminti produktai jau nebebuvu radioaktyvūs, nes baigėsi jodo pavojaus laikas.

Labiausiai užteršti buvo pietiniai ir vakariniai Lietuvos rajonai. Atrodo, viršum jų praslinko radioaktyvūs debesis, nešę daugiausia radionuklidų, kurie nusėdo žemės paviršiuje, ant augalų ir susigėrė į dirvą.

Tiriant užterštumą buvo nustatytas pievų dėmėtumas: išsiskyrė karštųjų dėmių sritys, kuriose žemės paviršiaus radioaktyvumas, palyginti su bendruoju fonu, buvo padidėjęs. Šios dėmės buvo nedidelės, kelių metrų skersmens, tačiau jose buvo susikaupusi didelė visų radionuklidų koncentracija. Daug tokių dėmių buvo pastebėta ežerų pakrantėse ir toliau nuo vandens telkinių.

Užteršta aplinka teršia maisto produktus - tiek augalinės, tiek gyvulinės kilmės. Tačiau produktų užterštumas buvo kur kas mažesnis už leistinas vartoti normas.

1987 metais atmosferoje jau neberasta tų radionuklidų, kurie į ją buvo patekę po Černobylio AE avarijos. Dabar krituliuose ant žemės aptinkame tik tai tų radi-

onuklidų, kurių skilimo pusamžis didesnis, tačiau jų kiekio beveik negalima išmatuoti.

Černobylio AE avarijos likvidavimo darbus dirbo apie 8000 Lietuvos žmonių.

Pažymėtina, kad į Lietuvą nuolatos įvežama tūkstančiai tonų žaliavų, maisto produktų iš Ukrainos, Baltarusijos, kitų buvusių TSRS respublikų. Atrodytų, niekuo nekalta žaliava iš Tolimųjų Rytų irgi gali būti pavojinga - juk ten urano kasyklos. Mūsų muitinės dar neturi radiologijos postų, visų įsivežtų maisto produktų nespėja patikrinti ir Higienos centro radiologai. Todėl neretai turgavietėse, kitose prekyvietėse prekiaujama radioaktyviais grybais, spanguolėmis ir kitais produktais. Reiškia, radiacinė šių produktų kontrolė, atliekama Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimu, labai aktuali. Šiame darbe dalyvauja ir Civilinės saugos departamento pajėgos, talkinančios higienos centrams.

IX skyrius

RADIOAKTYVUSIS VIETOVĖS UŽTERŠIMAS

Radioaktyvųjį vietovės užteršimą sukelia antžeminiai (požeminiai) branduoliniai sproginiai ir radiacinės atominių objektų avarijos. Radioaktyviojo pėdsako formavimosi, radiacijos kitimo ir su tuo susiję gyventojų apsaugos organizavimo dėsningumas ir principai, įvykus sproginams bei avarijoms, yra skirtingi, todėl jie nagrinėjami atskirai.

BRANDUOLINIS SPROGIMAS

RM iškrinta iš branduolinio sproginio debesies ir užteršia vietovę, vandenį, vandens šaltinius, orą.

Paskutinis didesnio galingumo branduolinis sproginas atmosferoje įvykdytas Kinijoje. Šio sproginio produktai Lietuvoje aptikti 1980 metais: Cs 137 ir Sr 90 koncentracija padidėjo 100 kartų.

Orinio branduolinio sproginio metu RM nesusimaišo su gruntu, pakyla į stratosferą ir labai smulkių aerozolių pavidalu lėtai (per kelerius metus) iškrinta ant žemės paviršiaus.

Radioaktyviojo užteršimo šaltiniai: grandininės reakcijos skilimo produktai, neskilę branduolinio užtaiso elementai (U 235, Pu 239) ir radioaktyviosios medžiagos, susidariusios grunte (indukuotas aktyvumas). Radioaktyvūs darosi (veikiami neutronų) dirvoje esantys silicio, natrio, magnio, kalcio ir kt. atomai, kurie spinduliuoja beta daleles ir gama spindulius. Tačiau indukuotas aktyvumas ir neskilę branduolinio užtaiso elementai sudaro tik nedidelę dalį visų RM, kurios susidarė per sproginą.

Pagrindinis jonizuojančio spinduliavimo šaltinis yra branduolinio sproginio produktai, kurie iškrinta iš radioaktyviojo debesies.

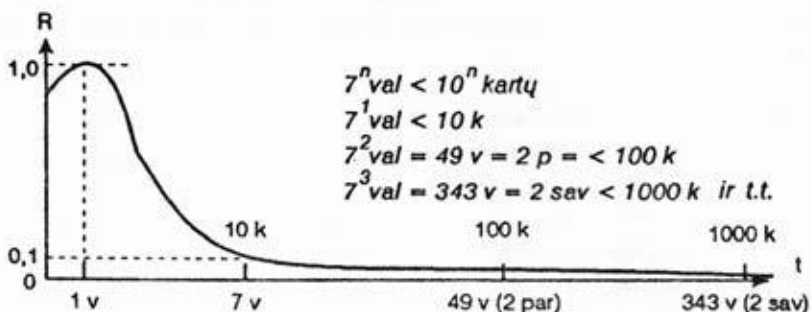
Dauguma RM yra trumpaamžės (turi mažą skilimo pusamžį).

Radioaktyvusis pėdsakas susidaro per kelias valandas, priklausomai nuo vėjo krypties ir greičio.

Artimajame pėdsake RM ant žemės paviršiaus nusėda palyginti stambiomis šlako pavidalo dalelėmis, todėl pagrindinis radiacijos poveikis yra išorinis švitinimas.

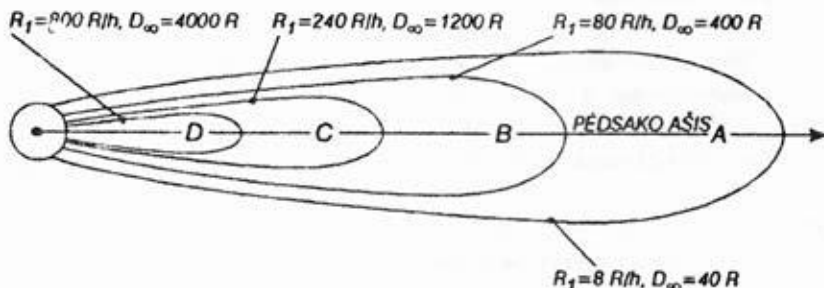
Svarbiausias radioaktyviojo užteršimo ypatumas yra nepertraukiamas ir spartus radiacijos lygio mažėjimas (11 pav.) Per 7ⁿ valandas radiacijos lygis sumažėja 10ⁿ kartų. Pavyzdžiui, praėjus valandai po sproginio radiacijos lygis buvo pradi-

nis, o po 7 valandų jis sumažės 10 kartų, po 49 valandų (dviejų parų) - 100 kartų, po 14 parų (dviejų savaitių) - 1000 kartų ir t.t.



11 pav. Radiacijos lygio mažėjimas po branduolinio sprogdimo.

RM, iškritusios iš radioaktyviojo debesies, palieka radioaktyvųjį pėdsaką, kurį sąlygiškai galima skirstyti į keturias zonas (12 pav.): A - vidutinio užteršimo, B - stipraus užteršimo, C - pavojingo užteršimo ir D - ypač pavojingo užteršimo.



12 pav. Radioaktyviojo užteršimo zonos po branduolinio sprogdimo:

R_1 - radiacijos lygis praėjus 1 valandai po sprogdimo;

D_{∞} - ekspozicinė (sugertoji) apšvitinimo dozė, sukaupta nuo užteršimo pradžios iki visiškai suskyla RM.

BRANDUOLINIŲ OBJEKTŲ RADIACINĖS AVARIJOS

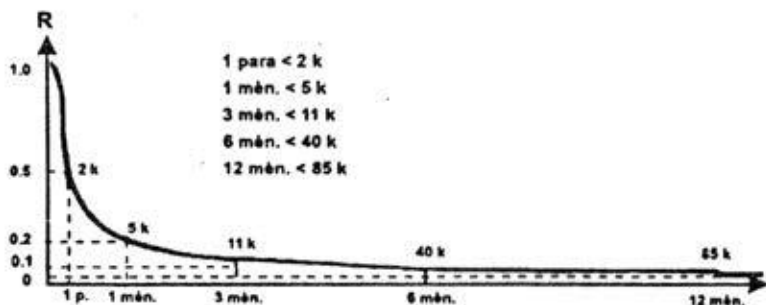
Vietovė užteršiama įvykus bendrai avarijai, kai RM patenka už atominės elektrinės ribų.

Radioaktyviojo užteršimo ypatumai:

1. Didelis RM kiekis. Per Černobylio AE avariją į atmosferą išsiveržė bemaž 6 tonos RM.
2. Pagrindiniai užteršimo šaltiniai: stambios radioaktyviosios nuolaužos (grafito gabalai, branduolinio kuro fragmentai ir kt.); palyginti stambūs nusėdantys aerosoliai, iškrintantys per 50 km nuo avarijos vietos; labai smulkūs nenusėdantys aerosoliai, iškrintantys per 100-1000 ir dar daugiau kilometrų.
3. Aplinkoje pasklinda daugiausia ilgąamžiai elementai, kurių skilimo pusamžis yra toks: I 131 - 8,05 paros, Sr 90 , Cs 137 - 28-30 metų, U 235 - 700 milijonų metų, U 238 - 4,5 milijardų metų.
4. Radioaktyvusis pėdsakas susidaro per kelias paras arba net savaites. Tai priklauso nuo RM išsiveržimų kiekio bei trukmės. Po Černobylio avarijos pėdsakas susidarė iki gegužės mėn. pabaigos. Vietovėje RM iškrito nevienodai. Vietovė buvo užteršta pavienėmis dėmėmis. Didžiausias RM kiekis nusėdo žemose ir drėgnose vietose, kartais per dešimtis, šimtus kilometrų nuo AE. "Švaresnės" buvo aukštumos, mažiau apaugusios miškais ir krūmais vietovės. Dėmėtąjį vietovės užteršimą sąlygoja mažas RM išmetimo aukštis (iki 1,5 km), jų aerosolinis pobūdis, nepastovus vėjas žemutiniuose atmosferos sluoksniuose. RM daugiausia pasiskirsto ir plėtojasi žemutiniame atmosferos sluoksnyje, o branduolinio sprogo metu dalis RM patenka į troposferą ir stratosferą, vėliau iškrinta kritulių pavidalu įvairiuose Žemės rutulio rajonuose.
5. RM nusėda ant žemės aerosolių ir dulkių pavidalu. Todėl pagrindinis radiacijos poveikis - vidinis apšvitinimas - gerokai pavojingesnis. RM prasiskverbia pro įvairius plyšius, nusėda ant atvirų kūno dalių, o tai sunkina sanitarinį švarinimą ir dezaktyvaciją.
6. Radiacijos lygis mažėja daug lėčiau negu branduolinio sprogo atveju. Tai aiškina daugkartiniais radiacijos išsiveržimais iš sugriauto reaktoriaus, radionuklidų rinkiniu, kuriame vyrauja ilgąamžiai elementai. Radiacijos lygio mažėjimas AE avarijos atveju (jeigu buvo tik vienas RM išsiveržimas) parodytas 13 pav.; jis sumažėja per 1 parą 2 kartus, per 1 mėnesį 5 kartus, per 3 mėnesius 11 kartų, per 6 mėnesius 40

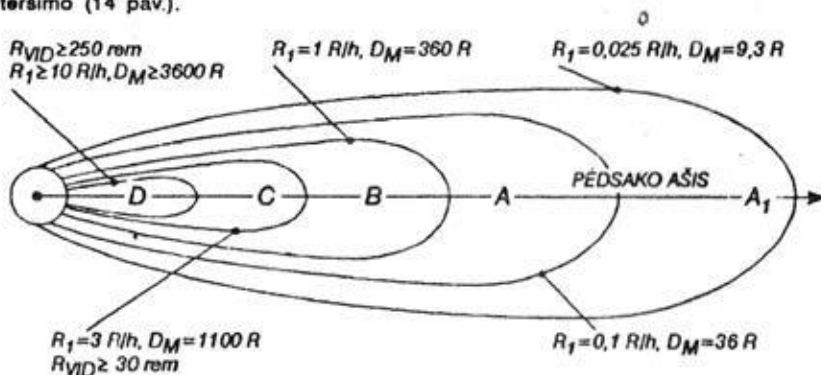
kartų ir per 12 mėnesių 85 kartus.

Po Černobylio avarijos, kai sugriautas ketvirtasis reaktorius daugelį mėnesių "maitino" aplinką RM, per pirmuosius metus radiacijos lygis sumažėjo vos 10 kartų, o vėliau stabilizavosi. Taip įvyko todėl, kad suskilo trumpaamžiai elementai, o išlikę ilgaamžiai Cs 137, Sr 90 yra daugiamečiai stabilūs teršalai.



13 pav. Radiacijos lygio mažėjimas po AE radiacinės avarijos.

7. Radioaktyviojo užteršimo pėdsakas sąlygiškai skirstomas į penkias zonas: A₁ - silpno, A - vidutinio, B - stipraus, C - pavojingo ir D - ypač pavojingo užteršimo (14 pav.).



14 pav. Radioaktyviojo užteršimo zonos po AE radiacinės avarijos.

Radioaktyviojo užteršimo teritorijų charakteristikos nurodytos 12 lentelėje - "Radioaktyviojo užteršimo zonų charakteristikos").

Jvykus Černobylio AE avarijai gama spinduliavimas žmonėms ir gyvuliams buvo ne itin pavojingas, todėl, kad radiacijos lygiai buvo maži: labiausiai užterštoje, už 30 km nuo AE teritorijoje, neviršijo 25 mR/h. Apšvitinimo dozė, kurią dėl padidėjusio gama fono gavo gyventojai, neviršijo 0,5 rem per metus.

Didžiausią pavojų sukėlė vidinis RM poveikis. Per pirmuosius du mėnesius pavojingiausias buvo jodas 131; jo indėlis į bendrąjį pėdsako aktyvumą sudarė 20-80 proc. Tai buvo labai ryškus "jodo pavojaus" laikotarpis, į kurį tada TSRS civilinės gynybos vadovai bei mokslininkai neatkreipė dėmesio. Gyventojų apsauga buvo organizuojama kaip po branduolinio sprogo, kur jodo 131 indėlis į bendrąjį branduolinio užtaiso skilimo produktų aktyvumą sudaro tik 6,5 proc.

Literatūra

1. Mūsų nerimas - Ignalinos AE. - V.: Žinija, 1991.
2. Ašmantas L. Branduolinės energetikos vystymo tendencijos. - V.: Žinija, 1989.
3. Mokslas ir gyvenimas. 1988, - Nr.4. - P.7-9; 1989. - Nr.4. - P.6-8.
4. Kisinas E., Varnas B. Radioaktyviojo užteršimo ir cheminio užnuodijimo įvertinimas. - K.: Technologija, 1992.
5. Холл Э.Д. Радиация и жизнь. - М.: Медицина, 1989. - С. 161-207, 223-234.
6. Кириллов В.Ф. и др. Радиационная гигиена. - М.: Медицина, 1988. - С. 206-310.
7. Хефлинг Г. Тревога в 2000 году. - М.: Мысль, 1990. - С. 239-268.
8. Атомная энергетика сегодня и завтра. - М.: Высшая школа, 1989.
9. Матвеев А.В., Рудик А.П. Почти все о ядерном реакторе. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Максимов М.И., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения. - М.: Энергоатомиздат 1989., - С. 258-262.
11. Защита от оружия массового поражения. - 2-е изд перераб. и доп. М.: Воениздат, 1989. - С. 44-54, 70-81.
12. Гражданская оборона на объектах агро-промышленного комплекса. - М.: ВО "Агропромиздат", 1990. - С. 32-46.
13. Звиченко А.И. и др. Контроль радиационной безопасности. М.: Медицина 1989. - С. 163-177.

III DALIS

RADIACINĒS APSAUGOS PRINCIPAI, BŪDAI IR PRIEMONĒS

X skyrius

RADIACINĖS APSAUGOS PRINCIPAI IR BŪDAI

Nagrinėdami radiacinės apsaugos problemas, aptarsime tikrai alfa ir beta dalelių, taip pat gama spindulių jonizuojantį spinduliavimą, susipažinsime su apsaugos priemonėmis, kurios taikomos skirtingoms žmonių kategorijoms: profesionaliems darbuotojams (A kategorija) ir gyventojams (B kategorija). A kategorijos darbuotojų leistina apšvitinimo dozė per metus yra 5 rem, B kategorijos gyventojų - 0,5 rem. Todėl vienodomis sąlygomis (toks pats radiacijos lygis, radionuklidų aktyvumas arba koncentracija ir kt.) gyventojų apsauga turi būti 10 kartų veiksmingesnė už gamybos personalo apsaugą. Tai suprantama: tarp gyventojų gali būti nėščią moterų ir vaikų, kurie ypač jautrūs apšvitinimui, taip pat profesionalių ligonių ir invalidų, kurių daugiau apšvitinti iš viso negalima. Ypač svarbu, kad B kategorijos gyventojų būna kur kas daugiau negu A kategorijos darbuotojų. Radiacinės apsaugos problemą nagrinėsime normaliomis branduoliniu reaktoriaus eksploatavimo sąlygomis ir avarinėmis situacijomis.

Alfa dalelės ore sklinda tik apie 10 cm atstumu. Nuo jų apsaugo net popieriaus lapas ir raginis odos sluoksnis, kuris sudarytas iš mirusių ląstelių. Šio odos sluoksnio visiškai pakanka, kad būtų sulaikytos net didžiausios energijos alfa dalelės. Todėl normaliomis arba avarinėmis sąlygomis išorinis alfa spinduliavimas pavojingas tikrai atvirų žaizdų, nudegimų, nušalimų bei atvirų kaulų lūžių atvejais.

Veikiant išoriniam beta spinduliavimui žmogaus organizme yra trys kritiniai organai: oda, raumenys ar akies lęšiukas. Jeigu AE dirba normaliai, ypatingos apsaugos nuo beta dalelių nereikia. Kitokia situacija susidaro prie avarinio reaktoriaus, kai iš apšvitinto kuro išsiskiria daug beta aktyvių elementų, kurie gali užteršti AE pastatą. Jeigu užteršimas didelis, tai išorinio švitinimo intensyvumas gali būti pavojingas, ypač akies lęšiukui. Šiuo atveju akims apsaugoti naudojami akiniai. Akiniai turi būti pagaminti iš paprasto, o ne šviniinio stiklo (pastarasis ne saugos, o papildomai švitins žmogaus akis). Išvis apsaugai nuo beta spinduliavimo naudojami ekranai, pagaminti iš mažą atominį svorį turinčių medžiagų - organinio stiklo, plastmasių, aliuminio.

Vis dėlto didžiausią pavojų sukelia išorinis gama spinduliavimas, nuo kurio galima apsisaugoti keturiais būdais:

- riboti švitinimo laiką (apsauga laiku);
- didinti nuotolį nuo švitinimo šaltinio (apsauga atstumu);

ekranizuoti šaltinį (apsauga ekranu);

darbo vietoje laikyti tikrai minimalų RM kiekį, reikalingą technologiniam procesui (apsauga RM kiekiu).

Kas matė Černobylio AE avarinių darbų kino kroniką, negalėjo neįsivelti mašinų salės stogą einančių dezaktyvuoti žmonių išankstinio instruktažo: "Kai tik išėsi iš angos, pradėk skaičiuoti: vienas, du, trys ir taip iki devyniasdešimt. Kai suskaičiuosi, ką bedarytum - mesk darbą ir bėgte prie angos!" Tai bene ryškiausias apsaugos laiku pavyzdys. Radiacinė žvalgyba nustato gama spinduliavimo galią visose būsimo darbo vietose. Žinant, ką ir kur reikia atlikti, nustatomas leistinas darbo užterštoje vietoje laikas T, kartu atsižvelgiama į dozės galią R ir leistiną apšvitinimo dozę D_1 :

$$D_1 = R \cdot T.$$

Kai balandžio 27-ąją (antrą dieną po avarijos) Pripetės mieste dozės galia padidėjo iki 1 R/h ir paaiškėjo, kad kitą parą gyventojai gaus viršijančią 25 R apšvitinimo dozę, buvo nutarta miestą evakuoti. Tai irgi apsauga laiku: sutrumpinamas žmonių buvimo laikas reaktoriaus avarinio išsiveržimo gama spinduliavimo lauke.

Kitas radiacinės apsaugos būdas toks pat paprastas ir akivaizdus - apsauga atstumu. Žinoma, kad nedidelio radioaktyvaus šaltinio spinduliavimas sklinda tolygiai į visas puses. Tai reiškia, kad spinduliavimo intensyvumas I mažėja didinant atstumą R nuo šaltinio pagal atvirkščių kvadratų dėsnį, t.y. $I = 1/R^2$. Jeigu padidinsime atstumą nuo šaltinio du kartus, jo intensyvumas sumažės keturis kartus ir t.t.

Štai kai kurie šios apsaugos taikymo pavyzdžiai: ilgos dozimetrinių prietaisų rankenos leidžia matuoti galingą atstumą, nesukeliant pavojaus dozimetrininkui; dozės galia virš avarinio reaktoriaus matuojama sraigtasparniuose, skrendančiuose dideliame aukštyje.

Trečiasis būdas - apsauga ekranu - pagrįsta spinduliavimo sąveika su įvairiomis medžiagomis. Jeigu nustatyti darbo laikas, šaltinio aktyvumas A ir nuotolis nuo jo, o dozės galia R_0 darbo vietoje viršija leistiną R_1 , tai nėra kito būdo, kaip sumažinti R_0 iki reikiamos reikšmės ($n = R_0 : R_1$), tarp šaltinio ir dirbančio žmogaus padarius apsaugą iš sugeriamos medžiagos.

Medžiagų apsaugines savybes rodo gama spinduliavimo slopinimo koeficientas K_{slop} . Pasinaudojus tokiais koeficientais, galima apibūdinti apsaugines medžiagas tokiomis charakteristikomis - perpus $\Delta_{0,5}$ arba dešimteriopai $\Delta_{0,1}$

slopinančiu sluoksniu. Naudinga atminti, kad

**perpus slopinantį gama spinduliavimą sluoksnį sudaro
1,3 cm švino arba 13 cm betono.**

Kitų medžiagų apsauginės savybės tiek kartų didesnės ar mažesnės už šiuos du "etalonus", kiek kartų jų tankis skiriasi nuo švino ar betono tankio. Juo lengvesnė medžiaga, juo daugiau jos reikia. Kaip jau minėjome, lengvesnio betono reikia 10 kartų daugiau. Todėl ir neįmanoma pagaminti "lengvų apsauginių" drabužių nuo apšvitinimo. Jeigu mažai atomų - mažai sąveikos aktų, jeigu mažas atominis svoris, maža sąveikos aktų tikimybė, ir jokiais gudrybėmis gamtos dėsnių nepakeisi (iki šiolei pavyko pagaminti specialius ugniagesių apsauginius drabužius, kurie tik 1,5-2 kartus sumažina apšvitinimo dozes; to visiškai nepakanka likviduojant reaktorių avarijas!).

Apsaugos ekranų pavyzdžiai: mašinų kabinos uždengiamos švininiais lakštais; apsauginiai statiniai sumažina apšvitinimo dozes ir t.t.

Radiacinį saugumą veikiančiame reaktoriuje, kuriame yra nepaprastai didelis radionuklidų kiekis, gali užtikrinti tikta daugialapsnė apsauga, vadinamoji giluminė apsauga. Kiekvienoje AE pagrindinis radiacinio pavojaus šaltinis - besikaupiantys "degančiame" branduoliniame kure skilimo produktai, kol panaudotas kuras nebus iškrautas iš reaktoriaus. Pavyzdžiui, RBMK tipo reaktoriuje ciklo pabaigoje (prieš kuro perkrovimą) susikaupia apie 1500 MCi. Pažymėsime, kad 1 Ci aktyvumo šaltinis 1 m nuotoliu sudaro 1 R/h dozės galią. Palyginę šiuos skaičius, galime apytikriai įvertinti radiacijos būklę, kurią sąlygoja aktyvioji tokio reaktoriaus zona. Ne tikta prie neapsaugotos zonos, bet ir už dešimčių metrų y spinduliavimo dozės galia viršija tūkstančius rentgenų per valandą. Tai reiškia, kad neapsaugotas reaktorius mirtinai pavojingas žmogui (būtent todėl žuvo ugniagesiai, didvyriškai gesinę degantį bitumą ant Černobylio AE mašinų salės atogo, greta sprogsio ir netekusio apsaugos reaktoriaus).

Aktyviosios reaktoriaus zonos gama spinduliavimo apsaugą sudaro daugelio metrų storio betono sluoksnis (o nuo neutronų papildomai apsaugo 12 metrų vandens sluoksnis). Apsaugos sluoksnis parenkamas toks, kad aptarnaujamose patalpose dozės galia neviršytų leistinų normos ribos. Jeigu ši sąlyga vykdoma, tai personalas gali dirbti neribotą laiką ir apšvitinimo dozės neviršys leistinų. Paprastai AE personalas gauna gerokai mažesnes už nustatytąsias apšvitinimo dozes. Ir beveik visas dozės krūvis atitenka planiniams profilaktikos darbams, kai

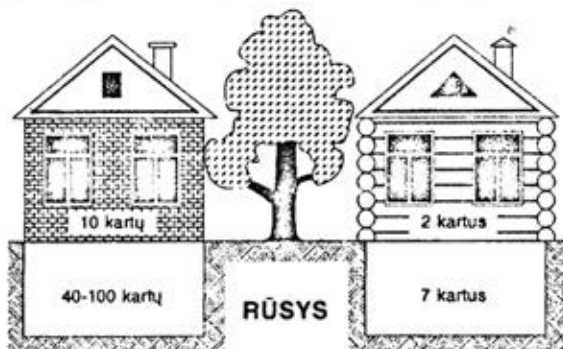
reaktorius neveikia. Pagrindiniais radiacinio pavojaus veiksniais tampa remontuojami vamzdynai ir įrenginiai, kurių paviršiuje nusėda ilgaaamžiai beta aktyvūs elementai.

Normaliai veikianti AE, kaip išorinio ir vidinio apšvitinimo šaltinis, mažai pavojinga personalui ir gyventojams. Aplinkiniai gyventojai izoliuojami nuo branduolinio kuro keliais apsaugos barjerais: branduolinio kuro matrica, šilumą išsiskiriančių elementų sandariu apvalkalu, išmetamo oro valymo sistemomis ir t.t. Šias kolektyvinės apsaugos nuo radioaktyviųjų aerosolių ir dujų priemones (nuo vidinio apšvitinimo) personalas papildo individualios kvėpavimo organų apsaugos priemonėmis, paprastai "Lepestok" tipo respiratoriais. Jie kaip tik buvo naudojami Černoblio AE avarijos likvidavimo darbuose.

Avarinio RM išsiveržimo metu taikomos specialios AE personalo bei gyventojų alfa, beta ir gama spinduliavimo radiacinės apsaugos priemonės.

Stambioje AE radiaciniėje avarijoje (išsilydo aktyvioji zona, sugriūva reaktorius ir t.t.) išskiriamos trys stadijos.

Pirmoji stadija - lakių skilimo produktų mišinio išsiveržimas iš reaktoriaus. Susidariusiame debesyje iš pradžių vyrauja radioaktyviosios inertinės dujos - kriptonas ir ksenonas. Sulaikyti šių dujų praktiškai neįmanoma, o galingas gama spinduliavimas (kurį sąlygoja didelė trumpaamžių elementų dalis) leidžia naudotis tik vieninteliu gyventojų apsaugos būdu - apsauga ekranu, t.y. prisidengti nuo radioaktyviojo debesies gama spinduliavimo. Bet kur visiems gyventojams staigiai gauti tokią apsaugą? Išėjti vis dėlto yra: reikia pasinaudoti gyvenamųjų namų apsauginėmis savybėmis. Taip galima sumažinti slenkancio debesies išorinį spinduliavimą nuo 2-7 iki 40-100 kartų. 15 pav. parodytos pastatų ekranizuojamosios savybės (apšvitinimo slopinimo koeficientai patalpose).



15 pav. Medinio ir mūrinio namų ekranizuojamosios savybės.

Pirmosiomis valandomis po Černobylio AE avarijos gyventojai negavo nurodymų slėptis už namų sienų ar rūsiuose. Šiuo apsaugos būdu nebuvo pasinaudota. Stambios gyvenvietės evakuacija buvo pradėta tada, kai dozės galia pasiekė 1 r/h. Dėl evakuacijos nutrūko gyventojų apšvitinimas iš praslenkančio radioaktyviųjų dulkių debesies.

Antroje stadijoje didžiausią pavojų sudaro jodo izotopai, kurie daugiausia patenka į organizmą per maisto grandinę "žolė - karvė - pienas - skydinė liauka". Šis kelias ypač pavojingas vaikams. Per Černobylio AE avariją radioaktyviojo jodo problema labai paaštrėjo todėl, kad išsiveržimo laikas sutapo su galvijų ganymo pradžia. Kad būtų išvengta gyventojų apšvitinimo ilgaamžiu jodu 131, buvo uždrausta vartoti piena iš užterštų rajonų ir sudarytas pieno produktų radiometrinės kontrolės tinklas.

Kad gyventojai būtų apsaugoti nuo per didelio vidinio apšvitinimo, papildomai buvo vartojami stabiliojo jodo preparatai (kalio jodido tabletės), kurie prisotindavo skydliaukę ir apsaugodavo ją nuo radionuklidų kaupimosi. Deja, gyventojai buvo blogai informuoti apie didelių jodo dozių žalą, ir nedozuotas šių tablečių ar jodo lašų vartojimas neretai sukeldavo cheminį organizmo apsinuodijimą (toksikozę). Gyventojai taip pat nežinojo, kad išvis reikalinga jodo profilaktika. Todėl daug Baltarusijos, Ukrainos, kai kurių Rusijos sričių gyventojų (visų pirma vaikų) gavo dideles skydliaukės apšvitinimo dozes.

Gyvieji organizmai švitinimo lauke ne tokie jau beginkliai. Žmogus ir viso organinio pasaulio evoliucija sukūrė gyvųjų struktūrų poradiacinio atgavimo mechanizmus ir todėl apšvitinimas iki tam tikros ribos nesukelia kenksmingų pakitimų biologiniuose audiniuose. Kai apšvitinimas peržengia šias ribas, pagrindinis profilaktikos ir gydymo priemonių tikslas - apsaugoti organizmą ir atgauti jėgas.

Šių priemonių spektras pakankamai platus - geresnis ir labiau vitaminizuotas (ypač vitaminais B₁₂ ir C) maistas, dozuotas fizinis krūvis, ilgesnis buvimas lauke, sportas ir sauna, jeigu neviršijamas leistinas apšvitinimas. Kai apšvitinimo dozės sukelia kraujodaros organų pakitimus, perpilamas kraujas. Pagaliau apšvitinus pavojingomis gyvybei dozėmis (8-10 Sv), persodinami kaulų čiulpai. Deja, po Černobylio AE avarijos kaulų čiulpų persodinimas buvo neveiksmingas todėl, kad operatoriai ir ugniagesiai buvo ne tik smarkiai apšvitinę, bet ir gavę smarkius kūno paviršiaus šiluminius ir radiacinius nudegimus (nuo to galėjo pagelbėti specialūs apsauginiai drabužiai).

Kai RM patenka į žmogaus organizmą, vartotinos įvairios medžiagos, absorbuojančios kai kuriuos elementus (pavyzdžiui, ilgaamžį cezį 137) arba sujungiančios juos į junginius, kurie trukdo radionuklidams kauptis žmogaus organizme.

Trečiojoje - balgiamojoje - stadijoje didžiausią pavojų sukelia radioaktyvusis dirvos ir žemės ūkio produktų užteršimas rajonuose, kuriuose radionuklidų (ypač ilgaamžių stroncio 90 ir cezio 137) koncentracija viršija leistiną. Pavojingų rajonų gyventojai evakuojami ten, kur žmonės lieka gyventi, taikomos apsauginės priemonės nuo vidinio apšvitinimo.

IŠVADOS. Apsauga nuo jonizuojančio spinduliavimo priklauso nuo apšvitinimo pobūdžio.

A. Išorinis apšvitinimas. Pagrindiniai apsaugos būdai:

apsauga laiku;

apsauga atstumu;

apsauga ekranu;

apsauga RM kiekiu.

B. Vidinis apšvitinimas. Pagrindiniai apsaugos būdai:

organizmo apsauga nuo RM patekimo (individualios apsaugos priemonės, jodo profilaktika, švarus maistas ir vanduo);

patekusių į organizmą RM pašalinimas.

C. Tiesioginis kontaktas su RM. Pagrindiniai apsaugos būdai:

individualios kvėpavimo organų ir odos apsaugos priemonių naudojimas;

sanitarinis švarinimas ir dezaktyvacija;

higienos reikalavimų vykdymas.

RADIACINĖS APSAUGOS PRIEMONĖS

Prognozuojant radiacinius padarinius ir planuojant gyventojų apsaugos priemones, reikia išskirti tris avarijos vystymosi etapus.

Pirmasis - ankstyvusis etapas (AET) - nuo avarijos pradžios iki RM išsiveržimo į atmosferą ir radioaktyviojo pėdsako formavimosi vietovėje pabaigos. Šio etapo trukmė priklauso nuo avarijos pobūdžio ir masto ir gali būti nuo kelių valandų iki kelių parų (ir daugiau). Šiame etape išorinio apšvitinimo dozė sudaro esančių debesyje RM gama ir beta spinduliavimas. Vidinį apšvitinimą sąlygoja radioaktyviųjų produktų, krintančių iš radioaktyviojo debesies, inhaliacinis patekimas į organizmą.

Antrasis - tarpinis etapas (TET) - nuo radioaktyviojo pėdsako formavimosi pabaigos iki gyventojų visų apsaugos priemonių įgyvendinimo. Priklausomai nuo avarijos pobūdžio ir masto tarpinio etapo trukmė gali būti nuo kelių dienų iki vienerių metų. TET išorinio apšvitinimo šaltinis - RM, nusėdusios iš debesies ant žemės, pastatų, statinių ir kt. paviršiaus bei suformavusios radioaktyvųjį pėdsaką. RM daugiausia patenka į organizmą peroraliniu keliu, vartojant užterštą maistą ir vandenį.

Trečiasis - vėlyvasis etapas (VET) - tęsiasi iki to momento, kai nebereikia vykdyti gyventojų apsaugos priemonių. Etapas baigiasi, kai nutraukiami visi gyventojų gyvensenos užterštoje teritorijoje apribojimai ir pereinama prie įprastos sanitarinės dozimetrinės radiacijos būklės kontrolės, būdingos "kontroliuojamo apšvitinimo" sąlygomis. VET išorinio ir vidinio apšvitinimo šaltiniai tie patys, kaip ir TET.

Kai kurios apsaugos priemonės galimos Igalinos AE radiacinės avarijos atveju nurodytos 13 lentelėje - "Apsaugos priemonės Igalinos AE avarijos atveju".

Kad apsaugos priemonės būtų veiksmingos, nustatomos radioaktyviojo užteršimo zonos (žr. 14 lentelę - "Radioaktyviojo užteršimo zonos").

Organizuojant gyventojų apsaugą nuo radiacinės avarijos padarinių, reikia vadovautis doziniiais kriterijais, nurodytais 15 ir 16 lentelėse (žemutiniam ir viršutiniam radiacinio poveikio lygiui). Jeigu prognozuojamas apšvitinimas neviršija žemutinio lygio, išvardintos 15 ir 16 lentelėse apsaugos priemonės nereikalingos. Jeigu prognozuojamas apšvitinimas viršija žemutinį, bet nesiekia viršutinio lygio, sprendimas apie apsaugos priemonių naudojimą gali būti atidėtas ir priimamas atsižvelgiant į konkrečią radiacinę situaciją ir vietines sąlygas. Ir jeigu progno-

zuojamas apšvitinimas siekia arba viršija viršutinį lygį, išvardintų 15 ("Ankstyvojo avarijos etapo doziniai kriterijai") ir 16 ("Tarpinio avarijos etapo doziniai kriterijai") lentelėse priemonių naudojimas - privalomas.

Priklausomai nuo konkrečios radiacinės situacijos gyventojų apsauga garantuojama tokiomis priemonėmis:

gyventojų buvimo atviroje vietoje apribojimas, laikinai slepiantis namuose ir slėptuvėse ir sandarinant gyvenamąsias ir tarnybines patalpas (jeigu nėra filtrų - atjungiamas vėdinimas, sandariai uždaromos durys, langai, dūmtraukiai ir vėdinimo angos) radioaktyviojo užteršimo išsisklaidymo ore metu;

radioaktyviojo jodo kaupimosi skydinėje liaukoje profilaktika, priimant stabilaus jodo gydomuosius preparatus (jodo profilaktika);

gyventojų evakuacija;

užterštų maisto produktų vartojimo apribojimas arba visiškas draudimas;

gyventojų gabenimas į neužterštus rajonus;

atvykimo į užterštą rajoną reguliavimas, autotransporto judėjimo ribojimas;

žmonių sanitarinis švarinimas;

paviršinis užterštų RM maisto produktų paprasčiausias apdorojimas (plovimas, viršutinio sluoksnio nuvalymas ir kt.);

kvėpavimo organų apsauga parankinėmis (geriau sudrėkintomis) priemonėmis (nosinėmis, rankšluosčiais, popierinėmis servetėlėmis ir kt.);

neatididiotina medicinos pagalba suteikiama pagal klininius duomenis;

naminiai gyvuliai pervedami į neužterštas ganyklas arba jiems duodami neužteršti pašarai;

užterštos vietovės dezaktyvacija.

RADIACINĖS APSAUGOS PRIEMONIŲ TAIKYMO TVARKA

1. Apie įvykusią avariją ir gyventojų veiksmus Respublikos gyventojus informuoja radijas ir televizija, o gyvenviečių ir gyvenamųjų vietovių, esančių 10 km spinduliu aplink AE - ir Ignalinos AE vadovybė per vietinius radiotransliacijos tinklus.

2. Vietovės, kuria gali slinkti radioaktyvusios debesis ir iškristi RM, gyventojai slepiasi apsauginiuose statiniuose, namų požeminėse patalpose ir ten išbūna ne

mažiau kai 4 valandas. Įvedami radiacinės apsaugos režimai.

3. Radiacinę žvalgybą atlieka AE išorinės dozimetrijos tarnyba ir hidrometeorologijos stotys (postai). Visuose Respublikos objektuose pradeda darbą radiacinio ir cheminio stebėjimo postai.

4. Individualios apsaugos priemonių naudojimas:

- gyventojai ir AE personalas nedelsdami apsaugo kvėpavimo organus vatiniais marlės raiščiais, dulkekaukėmis, respiratoriais;
- per 1-2 valandas išduodamos apsaugos priemonės iš objektų atsargų (respiratoriai, dujokaukės, dozimetrai, dozimetriniai prietaisai);
- per 4-6 valandas išduodamos apsauginės priemonės iš savivaldybių atsarginių sandėlių.

5. Medicinos apsaugos priemonės.

Jodo profilaktika. Efektyviausias skydinės liaukos apsaugos nuo radioaktyviųjų jodo izotopų metodas - stabilus jodo gydomųjų preparatų vartojimas. Didžiausias apsaugos efektas pasiekiamas priimant stabilųjį jodą iš anksto arba kartu su radioaktyviojo jodo patekimu į organizmą. Apsaugos efektas labai mažėja, jeigu jodo preparatas priimamas vėliau kaip per 2 val. nuo radioaktyviojo jodo patekimo į organizmą. Tačiau ir po 6 val. nuo vienkartinio 131 jodo patekimo į organizmą, stabilus jodo preparatas gali maždaug 2 kartus sumažinti potencialią skydinės liaukos apšvitinimo dozę. Todėl jodo profilaktika turi būti atlikta kaip galima anksčiau. Jodo profilaktikos efektyvumas priklausomai nuo stabilus jodo preparatų priėmimo laiko parodytas lentelėje.

Stabilus jodo preparatų priėmimo laikas	Mažėja skydliaukės apšvitinimo dozė (kartų)
Prieš 6 val. iki inhaliacijos	100
Inhaliacijos metu	90
2 val. po vienkartinio patekimo	10
6 val. po vienkartinio patekimo	2

Vienkartinis 100 mg stabilus jodo (130 mg kalio jodido arba 170 kalio jodato) priėmimas 24 val. garantuoja gerą apsaugos efektą. Stabilus jodo preparatus vartoja 1 kartą per parą visą galimo radioaktyviojo jodo patekimo laikotarpį.

bet ne ilgiau kaip 10 parų suaugusieji ir ne ilgiau kaip 2 paras nėščios moterys ir vaikai iki trejų metų amžiaus. Jeigu jodo pavojus išsilaikys ilgesnį laiką, tai reikia naudoti kitas apsaugos priemones, pavyzdžiui, evakuaciją.

Visiems 50 km teritorijos aplink IAE gyventojams sudarytos 10 parų stabilaus jodo preparatų individualių ir šeimyninių dozių atsargos, kurios saugomos šios teritorijos gydymo įstaigose bei išduodamos per 2-3 val. po pranešimo apie avariją.

Stabilus jodo preparatų dozavimas:

suaugusieji - 130 mg kalio jodido (0,5 tabletės) vieną kartą per dieną, bet ne daugiau kaip 10 parų (nėščios moterys - ne daugiau kaip 2 paras);

vaikai - 65 mg (0,25 tabletės) vieną kartą per dieną, bet ne daugiau kaip 10 parų (vaikai iki 3 metų amžiaus - ne daugiau kaip 2 paras);

krūtimi maitinami kūdikiškai gauna pakankamą preparato dozę su motinos, priėmusios 130 mg stabilaus jodo, pienu.

Jeigu nėra tablečių, galima vartoti jodo vandens spiritinį tirpalą. Tirpalas ruošiamas ir vartojamas taip:

suaugusieji vartoja po 3-5 lašus 5 proc. jodo tirpalo, praskiesto pieno arba vandens stiklinėje, tris kartus per dieną po valgio, iš viso septynias paras (nėščios moterys - ne daugiau kaip 2 paras);

vaikai - po 2-3 lašus tris kartus per dieną, iš viso septynias paras (vaikai iki 3 metų amžiaus - ne daugiau kaip 2 paras).

Pirmoji medicinos pagalba suteikiama apsauginiuose statiniuose ir nukentėjusių surinkimo vietose.

Pirmąją gydymo pagalbą suteikia greitosios medicinos pagalbos brigados.

Specializuotą medicinos pagalbą suteikia Vilniaus, Kauno ir rajonų ligoninės bei klinikos, į kurias guldomi ligoniai, turintys ryškių spindulinės ligos požymių arba gavę dideles apšvitinimo dozes (0,75 Sv išorinis ir 4,0 Sv vidinis suaugusiųjų apšvitinimas; 0,75 Sv išorinis ir 2,5 vidinis vaikų apšvitinimas).

6. Visuomeninės tvarkos apsauga. Per 2-4 valandas blokuojama galimo pavojingo užteršimo zona ir avarijos šaltinis.

7. Evakuacijos priemonės įgyvendinamos pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės potvarkį. Evakuacija gali būti staigi ir planinė. Evakuojami gyventojai iš 30 arba 50 km teritorijos. Visagino gyvenvietė evakuojama per 4 valandas. Evakuojama dviem etapais:

pirmasis etapas: gyventojai transportu vyksta nuo gyvenamųjų namų laiptinių, apsauginių statinių iki galimo pavojingo užteršimo teritorijos

ribos (30 km);

antrasis etapas: po dozimetrinės kontrolės ir sanitarinio švarinimo (jeigu reikia) vyksta švari transportu iki apgyvendinimo vietų.

8. Profilaktikos ir gydymo priemonės.

Vartojami preparatai iš individualios vaistinės AI-2;

radioapsaugos preparatas Nr. 1 (cistaminas) - 6 tabletės iš karto, po 4-5 valandų - dar 6 tabletės;

priešbakterinis preparatas Nr. 2, jeigū viduriuojam - 7 tabletės pirmąją parą ir po 4 tabletes kitas dvi paras;

radioapsaugos preparatas Nr. 2 - po 1 tabletę 10 parų;

preparatas nuo vėmimo - tuoj po apšvitinimo 1 tabletę.

Jeigu nėra vaistinės, 1-2 valandas prieš apšvitinimą galima vartoti cistamino, cidokaino, lambatreno ir kt. tabletes kas 4-5 valandas. Labiau tinka cistamino injekcijos (jos buvo daromos JAV astronautams skrydžio į Mėnulį metu).

Kaip profilaktikos priemonės vartojami radioprotektoriai, t.y. cheminės priešspindulinio veikimo medžiagos. Jų yra keletas: buvusioje Tarybų Sąjungoje - cistaminas (atrastas JAV 1955 metais), JAV - gamafosas. Nukentėjusieji nuo Černobylio avarijos vartojo cistaminą. Šis radioprotektorius sukėlė vėmimą, kitus šalutinius reiškinius. Amerikiečiai atsiuntė gamafosą, kurio privalumai buvo aki-vaizdūs. Labai veiksmingi radioprotektoriai gaminami ir Lietuvoje, tačiau jie dar neištirti farmakologiškai (kaip veikia, ar nėra kancerogenai, ar nesukelia alergijos ir t.t.) ir iš jų nesukurti patogūs vartoti vaistai.

Norint sustabdyti pirminės reakcijos pasireiškimą, vartojamos raminančios bei kitokios priemonės: ciminazinas, barbamilas, dimedrolis, pipalfenas ir kt. Vėmimą galima numalšinti praplovus skrandį fiziologiniais skiediniais arba įšvirkštus aminazino.

Jeigu apšvitinimo dozė viršija 2 Sv, vartojami antibiotikai, tik kas 8 dienas juos reikia keisti.

Tam tikri preparatai padeda šalinti RM iš organizmo. Nukentėjusiam žmogui duodama adsorbentų (25-30 g anglies, 50 g bario sulfato, 25-30 g molio su 1-3 g sajudino) ir vandens užsigerti; adsorbentai sujungia RM ir trukdo joms susigerti kraujyje. Po 15-20 minučių plaunamas skrandis: išgeriama 2-3 l vandens, pas-
kui, pirštu padirginus liežuvio šaknį, sukliamas vėmimas. Išvalius skrandį, vėl išgeriama adsorbento ir dar vidurius laisvinančių druskų, kad RM greičiau pašalintų iš skrandžio ir žarnų.

Ramybė yra svarbiausias sergančių spinduline liga žmonių slaugymo reikalavimas. Ligoniams, kuriuos pykina, verčia vėmti, kuriems svaigsta ir skauda galva,

duodama etaperazino arba aersono tablečių. Praėjus 3-4 valandoms nuo pirmųjų spindulinės ligos požymių, būtina reguliariai vartoti antibiotikus arba sulfamidus (tetracikliną, biomiciną, sulfademiziną, ftalazolį, etazolį ir kt.).

Išgalėjus spindulinei ligai, dažniausiai 7-10 dieną po apšvitinimo, ligonį reikia labai uoliai slaugyti. Vemiantį ligonį geriausia pasodinti, greta pastatyti dubenį arba kibirą vėmalams; gulinčių, negalinčių pasėdėti ligonių prieš vėmimą pakreipama į šoną galva. Po vėmimo burna išskalaujama silpnu boro rūgšties skiediniu (pusė šaukštelio į stiklinę vandens) arba virintu vandeniu. Sunkiems ligoniams reikia iššluostyti burną arba silpnu boro rūgšties skiediniu, arba rausvu kalio permanganato skiediniu suvilgyta vata arba audinio gabalėliu. Ligonius, vemiančiam krauju, reikia duoti nuryti smulkių ledo gabalėlių.

Prasidėjus kraujopūdžiui, ligonį reikia slaugyti itin atsargiai. Ligonis turi vengti staigių judesių, krestelėjimų, jam reikia duoti gerti 5 proc. kalcio chlorido skiedinio (po vieną šaukštą kas 4 valandas). Pernelyg sausą ligonio odą tepti kremu arba riebalais.

Visais spindulinės ligos tarpsniais ligoniai turi valgyti lengvai virškinimą, labai kaloringą, daug baltymų ir vitaminų turintį maistą. Patartina vartoti skystų valgių, daug gerti, ypač sulčių. Ligonius girdomi pasūdytu vandeniu (į 1 litrą vandens - 0,5 šaukštelio valgomosios druskos ir tiek pat geriamosios sodos), valgydinami mažomis porcijomis, bet dažniau nei įprasta.

Kai tikrai atsiranda galimybė, tokius ligonius reikia vežti į gydymo įstaigą nekračiomis transporto priemonėmis arba nešti neštuvais. Evakuacija pėsčiomis, peršalimas sukelia pavojų gyvybei.

XII skyrius

RADIACINĖS APSAUGOS REŽIMAI

Pavojingo radioaktyviojo užteršimo zonose pagrindinis gyventojų radiacinės apsaugos būdas yra apsauginių ir kitų statinių bei pastatų panaudojimas (apsauga ekranu). Kai vietovė užteršta RM, civilinės saugos organai įveda radiacinės apsaugos režimą.

Radiacinės apsaugos režimas - tai veiksmų ir apsaugos būdų taikymo tvarka, leidžianti smarkai sumažinti apšvitinimo dozes ir garantuoti tiksliausius žmonių veiksmus RM užterštoje vietovėje.

Kiekviename objekte (gyvenvietėje) radiacinės apsaugos režimai nustatomi iš anksto, atsižvelgiant į radiacijos lygį praėjus 1 valandai po avarijos, į nustatytus dozes kriterijus (žr. 25 lentelę - "Radiacinės situacijos vertinimo kontrolinių uždavinių sąlygos" ir 26 lentelę - "Dozės galios mažėjimo koeficientai (K_t) įvairiam laikui po branduolinio sprogdimo"), gyvenimo (darbo) sąlygas bei naudojamus apsauginius statinius.

Yra du gyventojų radiacinės apsaugos režimų etapai:

I etapas - gyventojai, kol nepraslenka radioaktyvusis debesis, bet ne mažiau kaip 4 valandas, slepiasi radiaciniuose slėptuvėse arba sandariose patalpose;

II etapas - gyventojai gyvena namuose, ribotą laiką (1-2 valandas per parą) būdami atviroje vietovėje.

Ūkio objektai RM užterštoje vietovėje gali tęsti savo gamybinę veiklą tikrai būdami.

Budėjimo metodas - tai objekto nenutrūkstamas darbas visą parą keturiomis pamainomis. Dvi pamainos 3,5 paros dirba objekte. Kiekviena pamaina dirba 6 valandas ir 6 valandas ilsisi objekto apsauginiuose statiniuose. Po 3,5 parų šios pamainos vyksta pailsėti į neužterštą vietovę. Budėti atvyksta kitos dvi pamainos.

Tipiniai darbuotojų radiacinės apsaugos režimai nustatomi pirmiesiems darbo po avarijos metams, atsižvelgiant į radiacijos lygį praėjus vienai valandai po avarijos, ribinę leistiną dozę arba dozes kriterijus (žr. 25 ir 26 lenteles), gamybinių pastatų ir apsauginių statinių pobūdį.

Jeigu darbuotojai gali gauti didesnę negu leistiną apšvitinimo dozę, įvertinamas objekto darbo užterštoje vietovėje tikslingumas. Jeigu objekto darbas užterštoje vietovėje neišvengiamas, darbuotojai nuolatos keičiami tais žmonėmis, kurie dirba neužterštoje vietovėje.

XIII skyrius

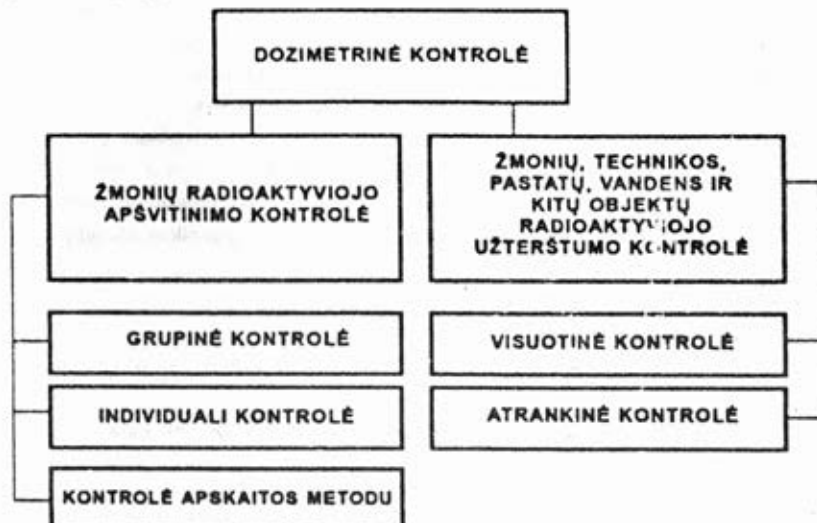
DOZIMETRINĖ KONTROLĖ

Dozimetrinė kontrolė įvertina:

- žmonių darbingumą, jų radiacinio pažeidimo pobūdį;
- gydymo, profilaktikos bei evakuacijos priemonių, sanitarinio švarinimo būtinumą;
- maisto produktų, vandens, kitų materialinių vertybių naudojimo galimybę;
- švarinimo darbų patikimumą.

Grupinė kontrolė - visų dirbančių žmonių, moksleivių, studentų, karių apšvitinimo dozių bei darbingumo (kovingumo) vertinimas. Atliekama įvairiais individualiais dozės matuoklais (ID-1, DPK-50A, DK-K,2 ir kt.), kurių po 1-2 skiriama maždaug 20 žmonių grupei, apsauginiam statiniui. Dozės matuokliai taip pat išduodami padalinių vadams, objektų, gamybinių padalinių vadovams, formuočių vadams ir atskirai dirbantiems asmenims.

Padalinių vadai ir gamybinių padalinių vadovai reguliariai matuoja gaunamas apšvitinimo dozes. Matuoklių parodymai registruojami ne rečiau kaip vieną kartą per parą ir įrašomi į kiekvieno žmogaus dozių apskaitos kortelę. Apšvitinimo dozių duomenys žymimi kontrolės žurnale.



Individuali kontrolė - tų pačių, jau išvardytų grupinės kontrolės atveju, žmonių apšvitinimo vertinimas, tačiau dozės matuokliai ID-11 išduodami kiekvienam pasirašius (atskirame žiniaraštyje). Dozimetrai ID-11 parodymai registruojami gydymo įstaigose specialiais matavimo prietaisais. Išmatuotos dozės įrašomos į medicininius dokumentus. Nustačius parodymus, dozimetrai plombuojami ir gražinami jų savininkams.

Kontrolės apskaitos metodas taikomas, norint apskaičiuoti apytikres gyventojų apšvitinimo dozės arba leistiną buvimo laiką užterštoje vietovėje. Šiam reikalui naudojamos tokios formulės:

$$D = R_{vid} \times T$$

$$T = D_1 : R_{vid}$$

kur D_1 - leistina apšvitinimo dozė;

T_1 - leistinas buvimo laikas užterštoje vietovėje;

R_{vid} - radiacijos lygio vidurkis.

Pavyzdys: Apskaičiuoti leistiną buvimo laiką RM užterštoje vietovėje, kai $D_1 = 0,1$ Sv, o $R_{vid} = 0,02$ Sv/h.

$$T_1 = 0,1 \text{ Sv} : 0,02 \text{ Sv/h} = 5 \text{ h.}$$

Radioaktyvojo užterštumo kontrolė atliekama išėjus iš užterštos zonos, norint nustatyti, ar reikia atlikti švarinimo darbus (ar neviršytos leistinos užteršimo normos), o po darbų - įvertinti švarinimo kokybę. Kontroluoja radiacinio ir cheminio stebėjimo postai, žvalgų grupės (grandys), cheminiai stebėtojai įvairiais dozimetriniais prietaisais (įvairių modifikacijų DP-5 ir kt.).

Kontrolė gali būti visuotinė ir atrankinė. Visuotinės kontrolės metu tikrinami visi žmonės ir visa technika; per atrankinę kontrolę - 1-2 technikos vienetai iš pa-našiomis sąlygomis dirbančių 10-ies.

Norint išmatuoti radioaktyvųjį užterštumą reikia:

stebėtojo darbo vietoje išmatuoti gama foną;

užterštus objektus pastatyti ne arčiau kaip 15-20 m nuo stebėtojo darbo vietos;

iš prietaiso parodymo atėmus gama matavimo rezultatą, gauti matavimo rezultatus;

palyginti užterštumą su tikrinamų objektų leistinomis užterštumo normomis.

XIV skyrius

SPECIALUS ŠVARINIMAS

Būtiniausios priemonės po vietovės užteršimo RM - žmonių sanitarinis švarinimas bei technikos, transporto, pastatų, teritorijos, maisto produktų, vandens ir kitų materialinių vertybių dezaktyvacija.

Sanitarinis švarinimas - RM pašalinimas nuo odos, gleivinių, drabužių, avalynės ir individualios apsaugos priemonių dezaktyvacija.

Žmonių sanitarinis švarinimas gali būti visiškas ir dalinis.

Dalinis švarinimas atliekamas užterštose zonose arba tuoj pat išėjus iš jų. Kiekvienas savarankiškai nuvalo RM, papuolusias ant atvirų kūno dalių, drabužių, avalynės ir individualios apsaugos priemonių. Švarinimo tvarka: išvalomi, išpurtojami ir išmušami drabužiai; drėgnu skuduru nuvalomas apavas; nuplaunamos atviros rankų ir kaklo dalys; nuvalomas dujokaukės antveidis, po to nuimama dujokaukė (respiratorius, vatinis marlės raištis, dulkekaukė); nuprausiamas veidas, išskalaujama burna ir gerklė. Dulkekaukė skalaujama arba skalbiama vandenyje. Užteršti vatiniai marlės raiščiai ir kitos nedezaktyvuojamos bei vienkartinio naudojimo priemonės laidojamos kaip radioaktyviosios atliekos. Jeigu nepakanka vandens, atviros kūno dalys ir dujokaukė nušluostomos drėgnu tamponu, žiemą - švarių sniegu. Švarintis reikia ne vėliau kaip praėjus 1 valandai po užteršimo pačioje zonoje. Švarinimas kartojamas išėjus iš užterštos zonos.

Dalinis švarinimas neužtikrina žmonių apsaugos nuo radiacinio pažeidimo, todėl atsiradus sąlygoms atliekamas visiškas švarinimas.

Visiškas sanitarinis švarinimas atliekamas stacionariuose sanitarinio švarinimo punktuose (SŠP), pirtyse, kriūnuose arba specialaus švarinimo punktuose, vasarą - ir neužterštuose tekančio vandens telkiniuose.

Švarinimo punktuose paprastai įrengiami trys skyriai: nusirengimo, prausimosi ir apsirengimo. Be to, įrengiamas drabužių švarinimo skyrius. Žmonės, atvykę į švarinimo punktą, prieš įeidami į nusirengimo skyrių, nusivelka odos apsaugos priemones, nusiima galvos apdangalus, viršutinius drabužius; nusirengimo skyriuje nusiauna, nusivelka kitus drabužius ir baltinius, nusiima kvėpavimo organų apsaugos priemones, atlieka medicinos apžiūrą ir dozimetrinę kontrolę; skalauja gleivinę 2 proc. geriamosios sodos skiediniu. Prausykloje išsimuilina rankas, veidą ir kruopščiai prausiasi po dušu šiltu vandeniu (visa tai daro du kartus), paskui išsimuilina ir plauna visą kūną. Iš viso prausiasi 10-15 minučių. Baigusių prautis laukia pakartotinė medicinos apžiūra ir dozimetrinė kontrolė. Jeigu radi-

oaktyvūsūs užterštumas viršija leistinas normas, sanitarinį švarinimą kartoja. Pas-
kui apsiveika švariais baltiniais, neužterštais drabužiais, apsiauna neužterštu apa-
vu (savais, po švarinimo jau nekenksmingais, arba iš atsargų fondo).

Gyventojai gali sanitariskai švarintis ir namuose. Tam reikia paruošti švarių
baltinių bei drabužių pakaitą; užterštus drabužius dezaktyvuoti; prausti visą kūną
šiltu vandeniu su muilu.

Dezaktyvacija - RM šalinimas nuo užterštų technikos, transporto priemonių,
pastatų, teritorijos, drabužių, individualios apsaugos priemonių paviršių ir iš van-
dens. Taikoma, jeigu užteršimas viršija leistinas normas. Gali būti visiška ir dalinė
dezaktyvacija. Atliekama mechaniniu ir fiziniu cheminiu būdu. Mechaninis būdas
- tai RM šalinimas nuo užterštų paviršių, o fizinis cheminis būdas - RM nuplovi-
mas įvairių preparatų skiediniais.

Dezaktyvuojama vandeniu, kartu naudojami specialūs preparatai, veiksmingai
šalinantys RM.

Dezaktyvacijos metu būtina naudotis kvėpavimo organų ir odos apsaugos
priemonėmis.

Darbo vietos, buto (namo) patalpų dezaktyvacija: nušluojami ir nušluostomi
drėgnais skudurais daiktai, patalpų lubos ir sienos; nušluostomi baldai; minkšti
baldai valomi dulkių siurbliais ir drėgnu skuduru; nuiluotu vandeniu išplaunamos
patalpų grindys. Išorinės pastatų sienos dezaktyvuojamos vandens srove, prieš
tai uždarius duris, langus, orlaides ir kitas angas.

Užteršto maisto vartojimas. Jeigu maistas laikomas sandarioje taroje (stiklinė-
je, metalinėje), kruopščiai nuplaunama tara. Minkštas maisto įpakavimas nuvalo-
mas šluotele arba šepetėliu, paskui apipurškiamas vandeniu, 10-15 minučių
džiovinamas, tada maistas perdedamas (perpilamas) į švarią tarą. Tokį maistą ga-
lima vartoti tik patikrinus dozimetriniais ir radiometriniiais prietaisais.

Radiacinės avarijos atveju bus priimti laikinai leisti maisto užteršimo lygiai
(LLL), kaip buvo Černobylio AE avarijos atveju (žr. 17 lentelę "Laikinai leisti
maisto produktų ir geriamo vandens radioaktyviojo užterštumo lygiai (LLL-91)").

Jeigu maisto produktai užteršti trumpaamžiais radionuklidais (pavyzdžiui,
131), jie laikomi tam tikrą laiką, kad užteršimo lygis savaime sumažėtų žemiau
LLL. Pavyzdžiui, RM užterštas pienas perdirbamas į sviestą ar varškę, kurie lai-
komi šaldytuvuose.

Jeigu maistas užterštas ilgaamžiais radionuklidais (Sr 90, Cs 137) ir RM kon-
centracija viršija LLL, jis turi būti palaidotas kaip radioaktyviosios atliekos.

Visais atvejais maisto ir vandens mėginiai tikrinami higienos centruose, kurie
ir sprendžia apie jų tinkamumą vartoti.

XV skyrius

GYVENTOJŲ VEIKSMAI RADIOAKTYVIOSIOMIS MEDŽIAGOMIS UŽTERŠTOJE VIETOVĖJE

Gyventojų veiksmai priklauso nuo padėties, susidariusios gyvenamojoje vietoje.

A. Gavus pranešimą apie AE avariją, nedelsiant pradedama ruošti radiacines ir kitas slėptuves arba rūsius žmonėms priglauti, paprasčiausias apsaugos priemonės; kariam išduodamos individualios apsaugos priemonės; rūpinamasi maisto produktų apsauga, ruošiamasi evakuacijai (17 lentelė "Laikini leistai maisto produktų ir geriamo vandens radioaktyvumo užterštumo lygiai (LLL-91)").

Iš radiacinių slėptuvių patalpų išnešami nereikalingi daiktai; įrengiami paprasčiausi gultai, suolai arba lentynos žmonėms; sudaromos vandens atsargos (kiekvienam žmogui po 2-3 l per parą); įjungiamas radijo taškas, radijo imtuvus arba televizorius. Jeigu name nėra radiacinės slėptuvės arba rūsių, žmonių apsaugai tinka gyvenamieji butai: sandariai uždaromi buto langai, balkonų durys, orlaidės, į sandarią tarą sudedamos maisto produktų ir vandens atsargos; patikrinama, ar veikia radijo taškas, radijo imtuvus arba televizorius.

Kiekvienam šeimos nariui paruošiamos paprasčiausias apsaugos priemonės: vatiniai marlės raiščiai arba dulkėkukės, specialūs apsauginiai drabužiai (kombinezonai arba kitos paprastos odos apsaugos priemonės, pagamintos iš tankios vandens nepraleidžiančios medžiagos). Vietinių valdžios organų nurodytoje vietoje ir nustatytu laiku gyventojai gauna filtruojamąsias dujokaukes, vaikiškas apsaugines kameras, kalio jodido preparatus (tikrai 50 km nuo Ignalinos AE teritorijoje).

Visi maisto produktai izoliuojami nuo aplinkos: sudedami į šaldytuvus, sandariai uždaromus indus, polietileningus krepšelius; bulvės ir daržovės - į išklotas popieriumi, celofanu, polietileno plėvele, pergamentu arba klijuote ir iš viršaus uždengtas brezentu arba kitokiu tankiu audeklu dėžes. Geriamasis vanduo saugomas sandarioje taroje (termosuose, metaliniuose induose, stiklainiuose, bidonuose ir t.t.).

Šachtiniai šuliniai sandarinami taip: 1,5-2 m spinduliu priplūkiamas 0,5 m molio sluoksnis su nuolydžiu; virš šulinio pastatoma būdelė su sandariu dangčiu, jos sienos apmušamos toliu arba kitomis vandenį ir dulkes nepraleidžiančiomis medžiagomis.

Ruošiantis evakuacijai, sudaromos maisto atsargos 2-3 paroms. Visi daiktai ir maisto produktai sudedami į lagaminus, polietileningus krepšelius, kuprines, kelioninius krepšius. Prie kiekvieno atskiro nešulio pritvirtinama lentelė, nurodanti savininko vardą, pavardę.

B. Gavę pranešimą apie tiesioginį radioaktyviojo užteršimo pavojų, gyventojai išjungia dujas, elektros energiją, vandenį, pasiima būtinus daiktus ir nedelsdami eina į radiacinę slėptuvę arba rūšį. Jeigu pasilieka gyvenamojoje patalpoje, tai uždaromos sienose esančios vėdinimo angos ir orlaidės, užklijuojami plyšiai langų rėmuose, durys uždengiamos storu audeklu arba antklode.

Septynias paras taikoma jodo profilaktika.

Apie tolesnius veiksmus gyventojai nuolat informuojami per vietines masinės informacijos priemones.

C. Gyventojų veiksmas padidėjus radiacijos fonui.

Padidėjus radiacijos fonui, tiksliai laikomasi radiacinio saugumo bei higienos taisyklių.

Kvėpavimo organų apsaugai naudojami respiratoriai, vatiniai marlės raiščiai, dulkekaukės ir dujokaukės (tik trumpą laiką, nes kaupia RM). Kvėpavimo organų apsaugos priemonės būtinai naudojamos atviroje vietovėje, kai kyla dulkės (stiprus vėjas, važiuoja mašinos, vyksta žemės ūkio darbai ir t.t.). Jomis galima nesinaudoti patalpose ir lauke, kai nėra vėjo, po lietaus.

Atviroje užterštoje vietovėje draudžiama valgyti, gerti, rūkyti, nusiimti apsaugos priemonės, liesti daiktus plikomis rankomis, vaikščioti po aukštą žolę ir tankius krūmus.

Atėjus iš užterštos vietovės, reikia lauke nušluostyti apavą šlapiu skuduru, ypač kruopščiai nuvalyti padus; atsistojus pavėjui, išpurtyti viršutinius drabužius; apavą, viršutinius drabužius ir galvos apdangalą palikti prieškambarėje arba specialioje patalpoje.

Grįžus namo, kruopščiai plaunamos rankos ir veidas (geriau iš karto praustis karštu, paskui šaltu vandeniu, o dar vėliau karštu vandeniu su muilu).

Patartina kiekvieną dieną praustis pirtyje arba po dušu.

Pirmą kartą patalpos išvėdinamos praėjus 6-10 valandų po RM iškritimo.

Maistui naudojami sandarioje taroje saugomi produktai ir vanduo. Virtuvinis inventoriūs saugomas polietileninguose maišuose arba sandariai uždaromose dėžėse ir spintose. Reguliariai atliekama stalų, spintų, viryklių, palangių dezaktyvacija (2-3 kartus plaunama šiltu vandeniu su įvairiais skalbikliais, šepčiais, skudurais).

Vertojamas tiktai konservuotas pienas ir sausi pieno mišiniai. Draudžiama var-

toti gyvulinės ir augalinės kilmės produktus, paruoštus užterštoje zonoje be veterinarinės sanitarijos ekspertizės bei dozimetrinės kontrolės; taip pat draudžiama žvejoti, medžioti laukinius gyvulius ir paukščius ir vartoti jų mėsą.

D. Gavę nurodymą evakuotis, gyventojai išjungia elektros energiją, dujas, vandenį, iš šaldytuvų išima maisto produktus; apsirengia patys ir aprenkia vaikus lengvai dezaktyvuojamais drabužiais (bolonės arba polietileno plėvelės apsiaustais, kaproninėmis striukėmis, kombinezonais, ožine arba gumine avalyne ir t.t.), užsideda kvėpavimo organų apsaugos priemonės, pasiima dokumentus, pinigus, maisto produktų atsargas ir kitus reikalingus daiktus.

Evakuacijai skirtas transportas atvyksta prie namų laiptinių, slėptuvių. Žmonės išvežami į saugias vietas. Sėgijame rajone atliekamas sanitarinis švarinimas.

Literatūra

1. Civilinė gynyba. - V.: Mokslas, 1988. - P. 88-96, 90-96, 146-149.
2. Civilinė apsauga. Projektavimo taisyklės. RSN 127-91. - V.: LR Statybos ir urbanistikos ministerija, 1991.
3. Atmintinė Respublikos gyventojams, įvykus avarijai Ignalinos AE - V., 1989.
4. Сивинцев Ю.В. Насколько опасно облучение? - М.: Знание, 1988. - С. 74-86.
5. Атаманиук В.Г. Гражданская оборона. - М.: Высшая школа, 1987. - С. 226-232.
6. Гражданская оборона на объектах агро-промышленного комплекса. - М.: ВО "Агропромиздат", 1990 - С. 140-143, 150-153, 161.
7. Руководство по медицинским вопросам противорадиационной защиты. - М.: Медицина, 1975. - С. 124-208.
8. Мешкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - С. 90-120.
9. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерения. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - С. 238-290.
10. Моисеев А.А., Иванов В.К. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - С. 204-214.
11. Защита от оружия массового поражения. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Воениздат, 1989. - С. 320-324.
12. Критерии для принятия решения о мерах защиты населения в случае аварии ядерного реактора. - М. 1990.

IV DALIS

RADIACINĒS SITUACIJOS VERTINIMO METODIKA

XVI skyrlus

BENDRIEJI NUOSTATAI

Branduolinių objektų avarijų metu didelės teritorijos užteršiamos radioaktyviosiomis medžiagomis (RM). Radioaktyvusis vietovės užteršimas susidaro ir kai kariaujant panaudoja branduolinį ginklą. Užteršimo rajonuose gali susiklostyti sudėtinga radiacinė situacija.

Radiacinė situacija - tokia situacija, kuri susidaro vietovėje, užteršus ją ir visus joje esančius daiktus radioaktyviosiomis medžiagomis. Tokią situaciją apibūdina užteršimo mastai ir pobūdis, kurie priklauso nuo avarijos pobūdžio (branduolinio sprogimo galingumo, rūšies ir aukščio), praėjusio laiko po avarijos (sprogimo) ir meteorologinių sąlygų (vidutinio vėjo krypties ir greičio).

Vidutinis vėjas - toks vėjas, kurio greitis ir kryptis yra vidutiniai visuose atmosferos sluoksniuose nuo Žemės paviršiaus iki radioaktyviojo debesies kilimo aukščio.

Radioaktyvusis užteršimas gali masiškai žaloti žmones, todėl reikia greitai nustatyti ir įvertinti radiacinę situaciją, jos poveikį kovos veiksmams, gelbėjimo darbams ir objektų gamybinei veiklai, žmonių gyvenimui užterštoje vietovėje.

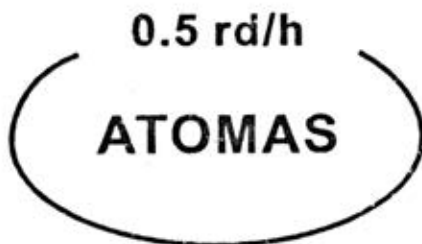
Radiacinė situacija nustatoma ir vertinama, naudojant radiacinės žvalgybos duomenis. Preliminarią padėtį rodo užteršimo prognozavimo duomenys.

Kad būtų tiksliai įvertinta radiacinė situacija, renkama ir apdorojama informacija apie radioaktyvų užteršimą.

Radioaktyviojo užteršimo zonų ribos žemėlapiuose (schemose) žymimos šitaip:

Užteršimo zonų ribos žymimos geltona spalva.

Vertinant radiacinę situaciją sprendžiami tipiniai uždaviniai, analizuojami jų rezultatai ir numatomi veiksmai, kurie turi garantuoti karių apsaugą nuo RM ir padalinių kovingumą.



TIPINIAI UŽDAVINIAI:

radiacijos lygiai perskaičiuojami vienam laikui (paprastai 1 valandai) po radiacinės avarijos (branduolinio sprogoimo);

nustatomos apšvitinimo dozės, kurias gali gauti kariai (gyventojai) užterštoje vietovėje;

nustatomi tikslingiausi padalinių (gyventojų) veiksmai užterštoje vietovėje (kiek laiko galima joje būti; kada būtina pradėti evakuaciją arba galima pradėti išvedimą iš užterštos vietovės; kada gelbėjimo darbų pradžia, kokia jų trukmė, koks pamainų skaičius; kokie gyventojų apsaugos ir objektų gamybinės veiklos režimai);

įvertinami galimi karių (gyventojų) radiaciniai pažeidimai.

Atliekant skaičiavimus naudojami matematinės formules, lentelės ir grafikai, įvairios skaičiavimo priemonės.

Vietovės užteršimo radioaktyviosiomis medžiagomis pobūdis iš esmės skiriasi branduolinio sprogoimo ir radiacinės avarijos atveju. Pagrindinis skirtumas - skirtingi radiacijos lygiai ir jų kitimo greitis. Branduolinio sprogoimo atveju - ganėtinai aukšti radiacijos lygiai, kurie beveik nesikeičia (t.y. keičiasi labai lėtai).

Pagrindinis radiacinės situacijos vertinimo tikslas - nustatyti apšvitinimo dozes, kurias gali gauti kariai veikdami radioaktyviai užterštoje vietovėje, nustatyti tokius karių veiksmus, kad jie gautų kuo mažesnes apšvitinimo dozes.

Apraščiausiai būtų sprendžiami uždaviniai, jeigu radiacijos lygis būtų nekintamas arba keistųsi tolygiai. Tuomet apšvitinimo dozė būtų galima nustatyti šitaip:

$$D = R \cdot T,$$

kur R - radiacijos lygis (dozės galia);

T - apšvitinimo laikas.

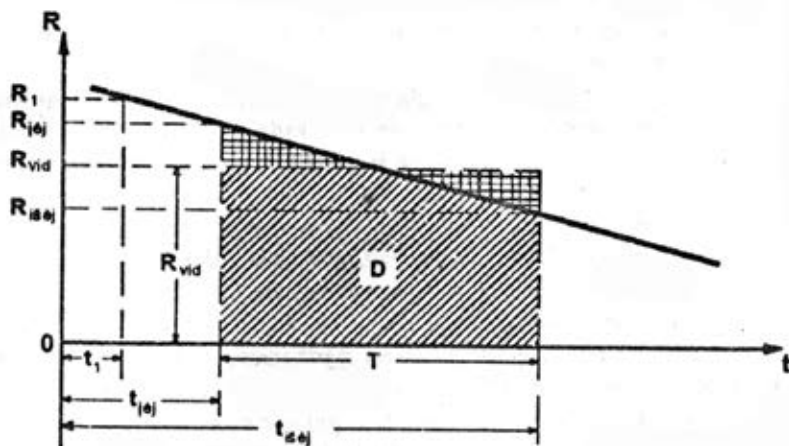
Tačiau taip nėra (žr. 9-jame skyriuje). Todėl branduolinio sprogoimo atveju apšvitinimo dozę reikėtų apskaičiuoti šitaip:

$$D = \int_{t_{1a}}^{t_{1aa}} dRdt.$$

Suprantama, kad naudotis tokia formule nepatogu, todėl ją (kiek galima) paprastina arba skaičiavimui iš anksto sudaro pagalbines lenteles.

Radiacinės avarijos atveju radiacijos lygis kinta lėtai, todėl galima daryti prie-

laidą, kad jis keičiasi tolygiai (16 pav.).



16 pav. Apšvitinimo dozės apskaičiavimas radiacinės avarijos atveju.

Iš 16 pav. nustatome, kad

$$D = R_{\text{vid}} \cdot T,$$

kur R_{vid} - radiacijos lygio vidurkis, nustatomas kaip

$$R_{\text{vid}} = \frac{R_{\text{įėj}} + R_{\text{išėj}}}{2};$$

$T = t_{\text{išėj}} - t_{\text{įėj}}; t_{\text{įėj}}, t_{\text{išėj}}$ - švitinimo nuo avarijos momento pradžia (pabaiga);
 T - švitinimo laikas.

Reikia atkreipti dėmesį, kad kiekvienas avarijos atveju vietovė užteršiama kitaip. Tai priklauso nuo įvairių priežasčių: reaktoriaus tipo, jo veikimo laiko po kurio įkrovimo, avarijos pobūdžio, meteorologinių sąlygų ir t.t. Todėl, griežtai tariant, iš anksto tiksliai prognozuoti avarijos padarinius neįmanoma; jie bus apytikriai ir turi būti tikslinami pagal radiacinės žvalgybos duomenis.

RADIACINĖS SITUACIJOS VERTINIMO METODIKA ATOMINĖS ENERGETIKOS OBJEKTŲ AVARIJOS ATVEJU

1. Dozės galios (radiacijos lygio) tam tikrą laiką po AE avarijos apskaičiavimas

Radiacijos lygis bet kuriam laikui apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_0 = R_t \cdot K_t, \quad (1)$$

kur R_0 - radiacijos lygis to laikui (paprastai 1 val. po avarijos -

$$R_1 = R_t \cdot K_t,);$$

R_t - radiacijos lygis bet kuriam t laikui;

K_t - radiacijos lygio mažėjimo koeficientas tam tikrą laiką po AE avarijos (18 lentelė "Radiacijos lygio mažėjimo koeficientai K_t tam tikrą laiką po AE avarijos").

Pradiniai duomenys: t_{avar} - avarijos laikas; $t'_{jėj}$ - astronominis apšvitinimo pradžios (jėjimo į užterštą vietovę) laikas; $R_t = R_{jėj}$.

Radiacijos lygis tam tikrą laiką po avarijos apskaičiuojamas šitaip:

1.1. Randamas švitinimo pradžios laikas nuo avarijos momento:

$$t_{jėj} = t'_{jėj} \cdot t_{avar};$$

1.2. Pasinaudojus 18 lentele ir formule (1), apskaičiuojamas radiacijos lygis 1 val. po avarijos:

$$R_1 = R_{jėj} \cdot K_t = t_{jėj};$$

1.3. Kadangi radiacijos lygis bet kuriuo (didesniu už 1 val.) laiku po avarijos yra mažesnis už radiacijos lygį 1 val. po avarijos, tai

$$R_t = \frac{R_1}{K_t}.$$

2. Išorinio apšvitinimo dozės RM užterštoje vietovėje apskaičiavimas

Apšvitinimo dozė, kurią gali gauti kariai užterštoje RM vietovėje, apskaičiuojama pagal formulę

$$D = \frac{R_{vid} \cdot T}{K_{slop}} \quad (2)$$

arba pagal 20 lentelę - "Apšvitinimo dozės priedangos (D_{lent}), kai radiacijos lygis 1 valandą po avarijos 10 rd/h, rd".

K_{slop} - radiacijos slopinimo koeficientų reikšmės pateiktos 19 lentelėje ("Vidutiniai radiacijos slopinimo koeficientai").

Apšvitinimo dozė pagal formulę (2) apskaičiuojama šitaip:

2.1. Pagal 1.1 ir 1.2 randamas švitinimo pradžios laikas ($t_{jė}$) ir radiacijos lygis 1 val. po avarijos (R_1);

2.2. Randamas švitinimo pabaigos laikas nuo avarijos momento:

$$t_{išėj} = t_{jė} + T ;$$

2.3. Pagal 1.3 randamas radiacijos lygis švitinimo pabaigoje:

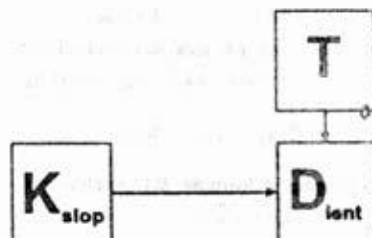
$$R_{išėj} = \frac{R_1}{K_{t=t_{išėj}}} ;$$

2.4. leškomas radiacijos lygio vidurkis:

$$R_{vid} = \frac{R_{jė} + R_{išėj}}{2} ;$$

2.5. 19 lentelėje randama slopinimo koeficiento (K_{slop}) reikšmė;

2.6. Pagal formulę (2) apskaičiuojama prognozuojamoji apšvitinimo dozė.



Apšvitinimo dozė pagal 20 lentelę apskaičiuojama šitaip:

T.y. pagal slopinimo koeficientą (K_{slop}) ir švitinimo laiką (T) 20 lentelėje randame apšvitinimo dozės reikšmę (D_{lent}) tam tikroje priedangoje, ke radiacijos lygis 1 val. po avarijos buvo 10 rd/h ($R_1 = 10$ rd/h).

Jeigu radiacijos lygis R_1 kitoks negu 10 rd/h, apšvitinimo dozė randama pagal formulę:

$$D = \frac{R_1}{10} \cdot D_{lent} ,$$

kur D - leškoma dozė pagal radiacijos lygį R_1 ; D_{lent} - apšvitinimo dozė iš 20

lentelės.

Apytikriai prognozuojant apšvitinimo dozes galima daryti prielaidą, kad radiacijos lygis per pirmąją parą mažėja 2 kartus. Tada

$$R_{24} = \frac{R_{j\acute{e}j}}{2};$$

$$R_{vid} = \frac{R_{j\acute{e}j} + R_{24}}{2}.$$

Jeigu avarijos metu įvyko keletas RM išsiveržimų (sugriautas reaktorius), radiacijos lygis trumpą laiką (kelias valandas - paras) beveik nesikeičia, pokyčių dėsningumas iš anksto nenusakomas, todėl:

- netikalinga perskaičiuoti radiacijos lygių ir prognozuoti jų vidurkio;
- būtina pagal dozės matuoklių parodymus arba matuojant radiacijos lygį švitinimo pabaigoje ($R_{iš\acute{e}j}$) patikslinti gautas apšvitinimo dozes;
- prognozuojamos apšvitinimo dozės nustatomos šitaip:

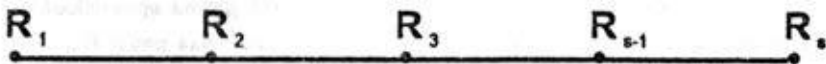
$$D = \frac{R_{j\acute{e}j} \cdot T}{K_{sl\acute{o}p}}.$$

Apšvitinimo dozės priedangose ($D_{ien\acute{d}}$), kai radiacijos lygis 1 valandą po avarijos 10 rd/h, rd

3. Apšvitinimo dozės, įveikiant užterštą zoną (išvedant iš užterštos zonos), apskaičiavimas

Apšvitinimo dozė, įveikiant užterštą zoną, apskaičiuojama šitaip:

3.1. Matuojamas radiacijos lygis įvairiuose maršruto taškuose, pavyzdžiui, R_1, R_2, \dots, R_s ;



3.2. Apskaičiuojamas radiacijos lygio maršrute vidurkis:

$$R_{vid} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{s-1} + R_s}{s}; \quad (3)$$

3.3. Apskaičiuojamas užterštos vietovės įveikimo laikas:

$$T = \frac{l}{U}, \quad (4)$$

kur l - maršruto užterštoje vietovėje ilgis, km; U - judėjimo greitis, km/h;

3.4. Skaičiuojama apšvitinimo dozė, įveikiant užterštą zoną;

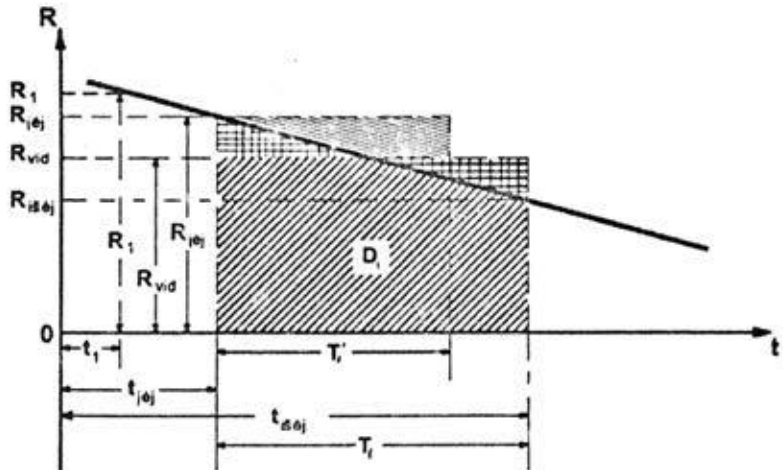
$$D_{\text{jeik}} = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T}{K_{\text{slop}}}.$$

4. Leistino buvimo laiko užterštoje vietovėje apskaičiavimas

Leistinas buvimo laikas užterštoje vietovėje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T = \frac{D_I \cdot K_{\text{slop}}}{R_{\text{vid}}}, \quad (5)$$

arba pagal 20 lentelę.



17 pav. Leistino buvimo laiko užterštoje vietovėje apskaičiavimas.

Iš 17 pav. matyti, kad leistiną buvimo laiką (T_I) galima apskaičiuoti tikslai žinant radiacijos lygio vidurkį (R_{vid}). Tačiau R_{vid} nustatomas pagal $R_{1\text{ej}}$ ir $R_{1\text{dej}}$, o $R_{1\text{dej}}$ priklauso nuo švitinimo pabaigos laiko ($t_{1\text{dej}}$). Taigi susidaro užburta ratas: norint sužinoti T_I , reikia sužinoti $R_{1\text{dej}}$, kurį savo ruožtu nustatome pagal

$$t_{1\text{dej}} = T_{1\text{ej}} + T_I, \text{ kurio ir ieškome.}$$

Apytikriai apskaičiuodami T_I , darome prielaidą, kad $R_{\text{vid}} = R_{1\text{ej}}$ ir toliau skaičiuojame pagal formulę (5). Iš 17 pav. matyti, kad apytikris leistinas buvimo laikas T_I bus mažesnis už T_I , todėl, išbuvę tokį laiką užterštoje vietovėje, gausime mažesnę negu leistiną apšvitinimo dozę ir garantuosime karių saugumą.

Norint tiksliau apskaičiuoti leistiną buvimo laiką, reikia pagal T_1 patikslinti R_{vid} apskaičiuoti R_{vid} ir pagal jį nustatyti T_1 .

Atkreipkime dėmesį į tai, kad $R_{jėj} > R_{vid}$, todėl $T_1 > T_1'$

Leistinas buvimo laikas pagal formulę (5) apskaičiuojamas šitaip:

4.1. Apskaičiuojama apšvitinimo dozė, kurią gali gauti kariai, įveikdami užterštą zoną (D_{jveik} 3 punktas):

4.2. Apskaičiuojama, kokį leistinos apšvitinimo dozės likutį gali gauti kariai, būdami užterštoje vietovėje (priedangose):

$$D_{pr} = D_l - D_{jveik};$$

4.3. Pagal formulę (5) apskaičiuojamas apytikris leistinas buvimo laikas:

$$T_1' = \frac{D_{pr} \cdot K_{stop}}{R_{jėj}};$$

4.4. Jeigu reikia, patikslinamas leistinas buvimo laikas šitaip:

$$t_{išėj} = t_{jėj} + T_1',$$

$$R_1 = R_{jėj} \cdot K_{t_{išėj}},$$

$$R_{išėj} = \frac{R_1}{K_{t_{išėj}}},$$

$$R_{vid} = \frac{R_{jėj} + R_{išėj}}{2},$$

$$T_1 = \frac{D_{pr} \cdot K_{stop}}{R_{vid}}.$$

Leistinas buvimo laikas pagal 20 lentelę apskaičiuojamas šitaip:

$$D_{lent} = \frac{D_l \cdot 10}{R_1}$$

```

    graph TD
      K_stop[Kstop] --- D_lent[Dlent]
      D_lent --- T_1[T1]
  
```

Ir šiuo atveju reikia skaičiuoti ne pagal nustatytą leistiną apšvitinimo dozę (D_l), o pagal leistinos dozės likutį, kuris gaunamas atsižvelgiant į apšvitinimo dozę užterštos zonos įveikimo metu, t.y.

$$D_{pr} = d_l - D_{įveik}.$$

5. Radiacinės apsaugos režimų nustatymas

Radiacinės apsaugos režimai nustatomi pagal 21 ("Tipiniai karių (gyventojų) radiacinės apsaugos režimai RM užterštoje vietovėje po AE avarijos") ir 22 ("Tipiniai darbuotojų radiacinės apsaugos režimai RM užterštoje vietovėje po AE avarijos") lenteles.

Pagrindiniai duomenys: R_1 , karių (gyventojų) gyvenimo ir darbo sąlygos.

VIDINIO APŠVITINIMO POVEIKIO VERTINIMAS

Pirmosiomis paromis po radiacinės avarijos maždaug 90 proc. ekvivalentinės apšvitinimo dozės sudaro vidinis skydliaukės apšvitinimas įkvepiant I 131 ir I 133 izotopus. Išorinis apšvitinimas sukaupta tik apie 10 proc. dozės. Per ilgą laiką apšvitinimo dozių santykis pasikeičia taip: nuo išorinio apšvitinimo - 60 proc., vidinio - 40 proc.

Vidinio apšvitinimo padarinius galima nustatyti tik prognozuojant radiacinę būklę; kol kas nėra nei prietaisų, nei metodikos, kurie leistų operatyviai (nenaudojus sudėtingų kontrolės laboratorijoje metodų) išmatuoti radioaktyviojo jodo koncentraciją ir gūnamas vidinio apšvitinimo dozes.

Vidinio apšvitinimo dozėms apskaičiuoti naudojami tokie pradiniai duomenys:

nuotolis nuo AE (radioaktyviojo užteršimo šaltinio), r ;

avarijos laikas, t_{av} ;

buvimo užterštoje vietovėje laikas, T ;

meteorologinės sąlygos: vėjo greitis, paros laikas ir debesuotumas, oro temperatūra 50 ir 200 cm aukštyje nuo žemės paviršiaus.

Vidinio (inhaliacinio) apšvitinimo dozės apskaičiuojamos šitaip:

pagal vėjo greitį, paros laiką ir debesuotumą randamas oro vertikaliojo stabilumo laipsnis (E.Kisinas, A.Stepaniukas. Nuodingosios medžiagos ir apsauga nuo jų. - V.: Krašto apsaugos mokykla, 1993. - P. 99-100); 23 lentelėje ("Pavojingo (30 rem) ir ypač pavojingo (250 rem) užteršimo zonų matmenys (pagal vidinį apšvitinimą) AE avarijos atveju") randami radioaktyviojo užteršimo zonos matmenys; sulyginus juos su nuotoliu nuo AE, išsiaiškinama, ar padalinys (objektas) patenka į užteršimo zoną;

iš 24 lentelės ("Vidinio apšvitinimo dozės AE avarijos atveju (per 24 val. pėdsako ašyje; RBMK-1000 tipo reaktorius), rem, nustatoma vidinio apšvitinimo dozė;

apskaičiuojama efektyvioji ekvivalentinė dozė pagal formulę:

$$H_{ef} = H_1 \cdot \omega_1 + H_2 \cdot \omega_2 + \dots + H_n \cdot \omega_n ; (6)$$

kur H_{ef} - efektyvioji ekvivalentinė apšvitinimo dozė;

$H_1, H_2 \dots H_n$ - ekvivalentinės konkrečių žmogaus organų vidinio apšvitinimo dozės;

$\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$ -konkrečių žmogaus organų biologinio radiacijos poveikio lyginamieji koeficientai: lytinių liaukų - 0,25, pieno liaukų - 0,15, kaulų čiulpų ir plaučių - 0,12, skydinės liaukos - 0,03, kaulų (paviršiaus) - 0,03, kitų organų (audinių) - 0,3, viso kūno - 1,0.

UŽDAVINIŲ SPRENDIMO PAVYZDŽIAI

1 uždavinys. 3.00 įvyko atominės elektrinės avarija. 23.00 padalinio teritorijoje radiacijos lygis buvo 10 rd/h. Apskaičiuoti radiacijos lygį 1 ir 10 val. po avarijos.

Sprendimas:

1.

$$t_{jėj} = t'_{jėj} - t_{avar} = 23.00 - 3.00 = 20 \text{ h};$$

2. Iš 18 lentelės:

$$K_t = K_{20} = 1.54$$

3. Pagal 1 formulę

$$R_1 = R_t \cdot K_t = R_{20} \cdot K_{20} = 10 \cdot 1.54 = 15,4 \text{ rd/h};$$

4.

$$R_{10} = \frac{R_1}{K_{10}} = \frac{15,4}{1,21} = 12,7 \text{ rd/h}.$$

2 uždavinys. Apskaičiuoti išorinio apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai 24 val. būdami dengtose skyrių priedangose, jeigu radiacijos lygis 4 val. po AE avarijos buvo 10 rd/h.

Sprendimas pagal 2 formulę:

1. Iš 18 lentelės: $K_4 = 1,08$;

$$R_1 = R_4 \cdot K_4 = 10 \cdot 1,08 = 10,8 \text{ rd/h};$$

2.

$$t_{išėj} = t_{jėj} + T = 4 + 24 = 28 \text{ h};$$

3. Iš 18 lentelės: $K_{28} = 1,85$;

$$R_{išėj} = \frac{R_1}{K_{28}} = \frac{10,8}{1,85} = 5,8 \text{ rd/h};$$

4.

$$R_{vid} = \frac{R_{jėj} + R_{išėj}}{2} = \frac{10 + 5,8}{2} = 7,9 \text{ rd/h};$$

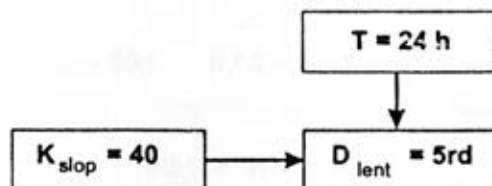
5. Iš 19 lentelės: $K_{\text{slop}} = 40$;

6. Pagal 2 formulę apskaičiuojame apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai 24 val. būdami dengtose skyrių priedangose:

$$D = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T}{K_{\text{slop}}} = \frac{7,9 \cdot 24}{40} = 4,7 \text{ rd.}$$

Sprendimas pagal 20 lentelę:

1.

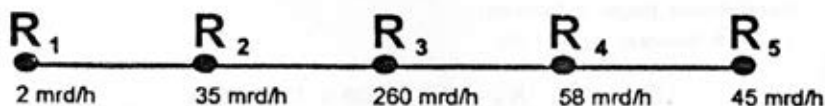


2.

$$D = \frac{R_1}{10} \cdot D_{\text{lent}} = \frac{10,8}{10} \cdot 5 = 5,4 \text{ rd.}$$

Pastaba. Apskaičiuota pagal 20 lent. apšvitinimo dozė visuomet būna šiek tiek didesnė negu apskaičiuota pagal 2 formulę.

3 uždavinys. Apskaičiuoti apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai įveikdami šarvuočiais užterštą vietovę, jeigu maršruto ilgis užterštoje teritorijoje - 12 km, važiavimo greitis - 30 km/h, o radiacijos lygiai maršrute tokie, kaip parodyta schemoje:



Sprendimas

1. Pagal 3 formulę apskaičiuojame radiacijos lygio vidurkį maršrute:

$$R_{\text{vid}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5} = \frac{2 + 35 + 260 + 58 + 45}{5} = 80 \text{ mrd/h};$$

2. Pagal 4 formulę apskaičiuojame užterštos vietovės įveikimo laiką:

$$T = \frac{l}{U} = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ h};$$

3. Iš 19 lentelės: $K_{\text{slop}} = 4$;

4. Pagal 2 formulę apskaičiuojame apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai įveikdami užterštą zoną:

$$D_{\text{įveik}} = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T}{K_{\text{slop}}} = \frac{80 \cdot 0,4}{4} = 8 \text{ mrd} = 0,008 \text{ rd}.$$

4 uždavinys. 10.00 įvyko AE avarija, kurios metu vietovė buvo užteršta RM. RM iškrito 15.00, kai radiacijos lygis buvo 10 rd/h. Kariai slepiasi vieno aukšto mūrinio namo rūsyje ir evakuojami iš užterštos zonos automobiliais. Evakuacijos maršruto ilgis - 20 km, važiavimo greitis - 40 km/h, o radiacijos lygio maršrute vidurkis - 8 rd/h. Kada reikia pradėti evakuaciją, kad nebūtų viršyta leistina apšvitinimo dozė 10 rd?

Sprendimas pagal 5 formulę:

1. Nustatome apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai evakuacijos metu:

$$T_{\text{evak}} = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ h};$$

iš 19 lentelės $K_{\text{slop}} = 2$;

$$D_{\text{evak}} = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T_{\text{evak}}}{K_{\text{slop}}} = \frac{8 \cdot 0,5}{2} = 2 \text{ rd};$$

2. Nustatome leistinos apšvitinimo dozės likutį, atsižvelgdami į gaunamą dozę evakuacijos metu:

$$D_{\text{pr}} = D_l - D_{\text{evak}} = 10 - 2 = 8 \text{ rd};$$

3. Pagal 5 formulę apskaičiuojame apytikrą leistiną buvimo laiką užterštoje vietovėje:

iš 19 lentelės: $K_{\text{slop}} = 40$;

$$T'_l = \frac{D_{\text{pr}} \cdot K_{\text{slop}}}{R_{\text{įėj}}} = \frac{8 \cdot 40}{10} = 32 \text{ h};$$

4. Jeigu reikia, patikriname leistiną buvimo laiką užterštoje vietovėje šitaip:

$$t_{\text{įėj}} = t'_{\text{įėj}} - t_{\text{avar}} = 15,00 - 10,00 = 5 \text{ h};$$

$$t_{\text{išėj}} = t_{\text{įėj}} + T'_l = 5 + 32 = 37 \text{ h};$$

iš 18 lentelės $K_5 = 1,11$ ir $K_{37} = 1,95$;

$$R_1 = 10 \cdot 1,11 = 11,1 \text{ rd/h}$$

$$R_{\text{išėj}} = \frac{11,1}{1,95} = 5,7 \text{ rd/h};$$

$$R_{\text{vid}} = \frac{10 + 5,7}{2} = 7,9 \text{ rd/h};$$

$$T_1 = \frac{D_{\text{pr}} \cdot K_{\text{slop}}}{R_{\text{vid}}} = \frac{8 \cdot 40}{7,9} = 40,5 \text{ h};$$

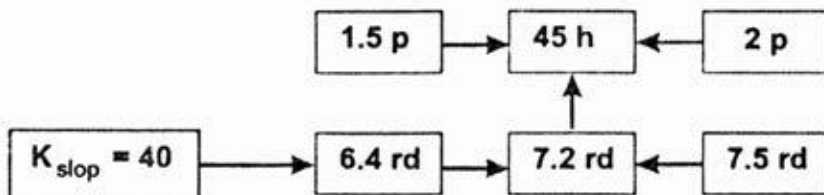
$$T_1 = 40,5 \text{ h} > T_1 = 32 \text{ h}.$$

Sprendimas pagal 20 lentelę:

1.

$$1. D_{\text{lent}} = \frac{D_{\text{pr}} \cdot 10}{R_1} = \frac{8 \cdot 10}{11,1} = 7,2 \text{ rd};$$

2. Iš 20 lentelės:



5 uždavinys. Kariai gyvena trijų aukštų mūrinėse kareivinėse. Nustatyti radiacinės apsaugos režimą, jeigu radiacijos lygis 1 val. po AE avarijos buvo 0,25 rd/h.

Sprendimas:

Iš 21 lentelės:

1. Režimas 3-6;
2. I etapas - priedangose būti ne mažiau kaip 4 val.;
3. II etapas - gyventi kareivinėse, ribotam laikui išeinant į lauką: iki 1 val. per parą - 200 parų, iki 2 val. per parą - 140 parų;
4. Bendroji režimo trukmė - 340 parų.

Pastaba. Analogiškai pagal 22 lentelę nustatomi gamybinių objektų radiacinės apsaugos režimai.

6 uždavinys. 06 02 2.10 įvyko AE avarija (RBMK-1500 tipo reaktorius, vienas išsiveržimas). Kokią vidinio apšvitinimo dozę gali gauti kariai 24 val. būdami užterštoje vietovėje 40 km nuotoliu nuo AE? Meteorologinės sąlygos: vėjo greitis -

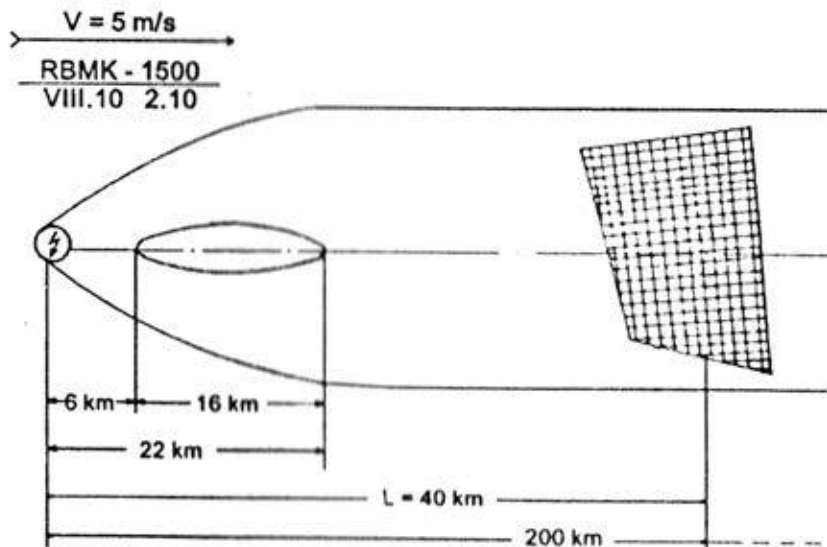
5 m/s, izotermija.

Sprendimas:

1. 23 lentelėje randame užteršimo zonos matmenis: pavojingo užteršimo zonos gylis - 200 km, plotis - 6,2 km, zona formuojasi per 6,2 val.; ypač pavojingo užteršimo zonos gylis - 16 km (nuo 6 iki 22 km), plotis - 0,9 km, zona formuojasi per 1,0 val. Užteršimo zonos matmenys parodyti 18 pav.

2. 24 lentelėje (OVSL - izoterija, vėjo greitis - 5 m/s ir nuotolis nuo AE - 40 km) randame, kad kariai gali gauti vidinio (inhaliacinio) apšvitinimo dozę:

$$H_{inh} = 56 \text{ rem.}$$



18 pav. Radiktyviojo užteršimo zonos matmenys pagal 6 uždavinio sąlygas.

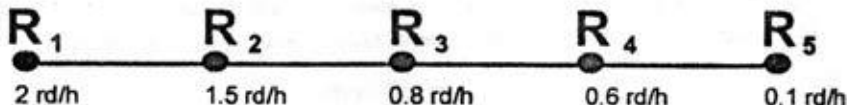
7 (kompleksinis) uždavinys. Kariai gyvena vienaaukštėse medinėse kareivinėse, apsaugai naudoja kareivinių rūsius. 3.00 įvyko AE avarija, kurios metu RM išsiveržė į atmosferą. 7.00 radiacijos lygis padalinuose buvo 5 rd/h.

[vertinti radiacinę situaciją padalinio dislokacijos rajone:

1. Apskaičiuoti, kokias išorinio apšvitinimo dozes gali gauti kariai 24 val. būdami užterštoje vietovėje;

2. Apskaičiuoti, kada reikia pradėti karių evakuaciją, kad nebūtų viršyta leistina apšvitinimo dozė $D_l = 10$ rd;

Kariai evakuojami autobusais, maršruto užterštoje vietovėje ilgis - 20 km, važiavimo greitis - 40 km/h, o radiacijos lygis įvairiuose maršruto taškuose nurodytas schemoje:



Sprendimas:

1. Apskaičiuojame išorinio apšvitinimo dozes, kurias gali gauti kariai per 24 val.:

$$t_{jėj} = t'_{jėj} - t_{avar} = 7.00 - 3.00 = 4 \text{ h};$$

$$R_1 = R_4 \cdot K_4 = 5 \cdot 1,08 = 5,4 \text{ rd/h};$$

$$t_{išėj} = t_{jėj} + T = 4 + 24 = 28 \text{ h};$$

$$R_{išėj} = \frac{R_1}{K_{28}} = \frac{5,4}{1,85} = 2,9 \text{ rd/h};$$

$$R_{vid} = \frac{R_{jėj} + R_{išėj}}{2} = \frac{5 + 2,9}{2} = 4,0 \text{ rd/h};$$

iš 19 lentelės: $K_{stop} = 7$;

$$D = \frac{R_{vid} \cdot T}{K_{stop}} = \frac{4 \cdot 24}{7} = 13,7 \text{ rd}.$$

2. Apskaičiuojame, kokią apšvitinimo dozę gali gauti kariai evakuacijos metu:

$$R_{vid} = \frac{2 + 1,5 + 0,8 + 0,6 + 0,1}{5} = 1 \text{ rd/h};$$

iš 19 lentelės: $K_{stop} = 2$;

$$T_{evak} = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ h};$$

$$D_{evak} = \frac{R_{vid} \cdot T_{evak}}{K_{stop}} = \frac{1 \cdot 0,5}{2} = 0,25 \text{ rd.}$$

3. Apskaičiuojame leistinos apšvitinimo dozės likutį, kurį gali gauti kariai būdami rūsiuose:

$$D_{pr} = D_1 - D_{evak} = 10 - 0,25 = 9,75 \text{ rd.}$$

4. Nustatome, kada reikia pradėti evakuaciją, kad, būdami rūsiuose, kariai gautų ne didesnę kaip 9,75 rd apšvitinimo dozę:

$$T'_1 = \frac{D_{pr} \cdot K_{stop}}{R_{jėj}} = \frac{9,75 \cdot 7}{5} = 13,7 \text{ h} \approx 14 \text{ h.}$$

5. Patiksliname leistiną buvimo laiką užterštoje vietoje:

$$t_{išėj} = t_{jėj} + T'_1 = 4 + 14 = 18 \text{ h};$$

$$R_{išėj} = \frac{R_1}{K_{18}} = \frac{5,4}{1,42} = 3,8 \text{ rd/h};$$

$$R_{vid} = \frac{R_{jėj} + R_{išėj}}{2} = \frac{5 + 3,8}{2} = 4,4 \text{ rd/h};$$

$$T_1 = \frac{D_{pr} \cdot K_{stop}}{R_{vid}} = \frac{9,75 \cdot 7}{4,4} = 15,5 \text{ h};$$

$$T_1 = 15,5 \text{ h} > T'_1 = 14 \text{ h.}$$

Išvados: Būdami kareivinių rūsiuose 24 val., kariai gali gauti 13,7 rd apšvitinimo dozę, evakuacijos metu kariai papildomai gali gauti 0,25 rd dozę. Kad gautamos apšvitinimo dozės neviršytų leistinos ($D_1 = 10 \text{ rd}$), būtina pradėti evakuaciją ne vėliau kaip po 15,5 val. nuo avarijos momento.

XX skyrius

KONTROLINIAI UŽDAVINIAI

8.00 įvyko avarija, kurios metu vietovė buvo užteršta RM. RM iškrito t_{paj} metu, kai radiacijos lygis buvo R_{paj} . Apskaičiuoti:

1. išorinio apšvitinimo dozę, kurią gali gauti kariai T laiką būdami priedangose;
2. kada reikia pradėti evakuaciją, kad nebūtų viršyta leistina apšvitinimo dozė ($D_1 = 10 \text{ rd}$); evakuojama autobusais;
3. padaryti išvadas apie radiacinės avarijos padarinių pavojingumą kariams.

Užduoties sąlygos pateiktos 25 lentelėje - "Radiacinės situacijos vertinimo kontrolinių uždavinių sąlygos".

XXI skyrius

RADIACINĖS SITUACIJOS VERTINIMO YPATUMAI BRANDUOLINIO SPROGIMO ATVEJU

Pagrindinis uždavinių sprendimo ypatumas yra tas, kad reikia naudotis tiksliomis formulėmis arba iš anksto sudarytomis lentelėmis.

Paprasta formulė (2)

$$D = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T}{K_{\text{slop}}}$$

galima naudotis, jeigu po branduolinio sprogo praėjo ne mažiau kaip 7 val. Papildomai reikia mokėti pagal radiacijos lygių matavimus nustatyti laiką, kuris praėjo po sprogo.

Taip pat reikia spręsti papildomą uždavinį - kada galima pradėti judėjimą užterštoje vietovėje, kad apšvitinimo dozės neviršytų leistinų.

1. Radiacijos lygiai (dozės galia) perskaičiuojami bet kuriam laikui po branduolinio sprogo taip pat, kaip ir po radiacinės avarijos. Dozės galios mažėjimo koeficientai pateikti 26 lentelėje - "Dozės galios mažėjimo koeficientai

(K_1) įvairiam laikui po branduolinio sproginio*.

1 pavyzdys. 13.00 val. radiacijos lygis buvo 20 rd/h. Apskaičiuoti radiacijos lygį 1 val. po sproginio, jeigu branduolinis sproginas įvyko 11.00 val.

Sprendimas:

1.1. Apskaičiuojame laiko skirtumą nuo radiacijos lygio matavimo iki branduolinio sproginio laiko:

$$\Delta t = t_{\text{mat}} - t_{\text{spr}} = 13.00 - 11.00 = 2 \text{ h.}$$

1.2. Pagal 26 lentelę randame koeficientą K_1 , atitinkantį 2 val. nuo branduolinio sproginio:

$$K_2 = 2,3.$$

1.3. Apskaičiuojame radiacijos lygį 1 val. po sproginio:

$$R_1 = R_{\text{mat}} \cdot K_{\Delta t} = 20 \cdot 2,3 = 46 \text{ rd/h.}$$

2. Branduolinio sproginio laiko apskaičiavimas pagal radiacijos lygio mažėjimo greitį.

Jeigu branduolinio sproginio laikas nežinomas, jį galima nustatyti pagal dozės galios (radiacijos lygio) mažėjimo greitį. Tuo tikslu kokiam nors užterštos zonos taške du kartus per tam tikrą laiko tarpą matuoja radiacijos lygį. Pagal antrojo ir pirmojo matavimų radiacijos lygių santykį $\frac{R_2}{R_1}$ ir laikotarpį tarp matavimų 27 lent. ("Laikas nuo branduolinio sproginio iki antrojo dozės galios matavimo, val. min.") randamas laikas, praėjęs nuo branduolinio sproginio iki antrojo matavimo, o pagal jį - ir branduolinio sproginio laikas.

2 pavyzdys. 13.00 padalinio rajone radiacijos lygis buvo $R_1 = 24 \text{ rd/h}$, o 13.30 - $R_2 = 18 \text{ rd/h}$. Apskaičiuoti branduolinio sproginio laiką.

Sprendimas:

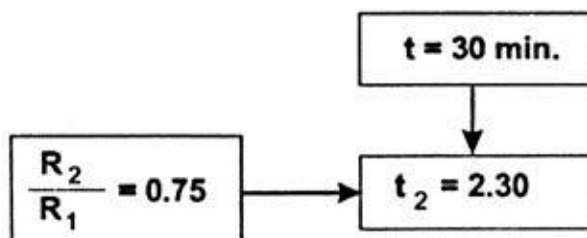
2.1. Apskaičiuojame laiko skirtumą tarp antrojo ir pirmojo matavimų:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 13.30 - 13.00 = 30 \text{ min.}$$

2.2. Apskaičiuojame antrojo ir pirmojo matavimų radiacijos lygių santykį:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{18}{24} = 0,75.$$

2.3. Pagal 27 lentelę nustatome laiką nuo sproginio momento iki antrojo matavimo:



2.4. Nustatome sprogimo laiką:

$$t_{spr} = t_2 - \Delta t_2 = 13.30 - 2.30 = 11.00$$

3. Apšvitinimo dozių, kurias gali gauti karaliai užterštoje vietovėje, apskaičiavimas.

Apšvitinimo dozes apskaičiuoja pagal formulę (6) arba pagal 28 lentelę - "Apšvitinimo dozės, kurias galima gauti atviroje vietovėje, kai 1 val. po sprogimo dozės galia buvo 100 rd/h, rd":

$$D = \frac{5R_0 t_0^{1.2} \cdot (t_{išėj}^{0.2} - t_{įėj}^{0.2})}{K_{slop}}$$

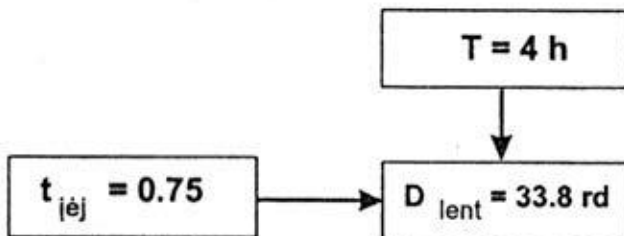
Jeigu po branduolinio sprogimo praėjo daugiau kaip 7 val. (kai radiacijos lygis sumažėjo 10 kartų), skaičiuoti galima ir pagal 2 formulę

$$D = \frac{R_{vid} \cdot T}{K_{slop}}$$

3 pavyzdys. Patalinio išsidėstymo rajone 1 val. po branduolinio sprogimo radiacijos lygis buvo 300 rd/h. Apskaičiuoti apšvitinimo dozės, kurias gali gauti karaliai 4 val. būdami dengtose skyrių priedangose. Apšvitinimas prasidėjo 6 val. po sprogimo.

Sprendimas (pagal 28 lentelę):

1. 28 lentelėje randame apšvitinimo dozę atviroje vietovėje, kai radiacijos lygis 1 val. po sprogimo buvo 100 rd/h:



2. Apskaičiuojame apšvitinimo dozę atviroje vietovėje:

$$D_{\text{atv}} = D_{\text{lent}} \cdot \frac{R_1}{100} = 33,8 \cdot \frac{300}{100} = 101,4 \text{ rd.}$$

3. 19 lentelėje randame radiacijos slopinimo koeficientą dengtose skyrių priedangose:

$$K_{\text{slop}} = 40.$$

4. Randame apšvitinimo dozę, kurią per 4 val. gali gauti kariai dengtose skyrių priedangose:

$$D_{\text{pr}} = \frac{D_{\text{atv}}}{K_{\text{slop}}} = \frac{101,4}{40} = 2,53 \text{ rd.}$$

Sprendimas (pagal 6 formulę).

$$t_{\text{įėj}} = 6 \text{ h}; \quad t_{\text{išej}} = t_{\text{įėj}} + T = 6 + 4 = 10 \text{ h};$$

$$D = \frac{5R_1 \cdot t_1^{1,2} \cdot (t_{\text{įėj}}^{-0,2} - t_{\text{išej}}^{-0,2})}{K_{\text{slop}}} = \frac{5 \cdot 300 \cdot 1^{1,2} \cdot (6^{-0,2} - 10^{-0,2})}{40} = 10 \text{ h};$$

Išvada: Sprendimo rezultatai pagal 28 lentelę ir 6 formulę beveik nesiskiria.

4. Karių radiacinių nuostolių prognozavimas.

Pradiniai duomenys: 1. Apšvitinimo dozės, apšvitinimo laikas (T) ir apšvitinimo pradžia ($t_{\text{įėj}}$).

2. Anksčiau gautos apšvitinimo dozės ir laikas nuo ankstesnio apšvitinimo. Radiaciniai nuostoliai apskaičiuojami šitaip:

4.1. Jeigu kariai anksčiau buvo apšvitinti, pagal 29 lentelę - "Likusioji apšvitinimo dozė priklausomai nuo laiko po apšvitinimo" - nustatome likusiąją apšvitinimo dozę (tą apšvitinimo dozės dalį, kurią organizmas iki šio laiko neatstatė).

4.2. Pagal 30 lentelę ("Karių radiaciniai nuostoliai priklausomai nuo apšvitinimo dozės, %") nustatome prognozuojamus karių radiacinius nuostolius.

4 pavyzdys. Kariai pradėjo veiksmus radioaktyviai užterštoje zonoje 2 val. po branduolinio sprogimo. Per 2 val. kariai gavo 25 rd apšvitinimo dozę. Apskaičiuoti karių radiacinius nuostolius, jeigu iki apšvitinimo pradžios jie turėjo likusiąją apšvitinimo dozę 75 rd.

Sprendimas:

1. Bendroji apšvitinimo dozė, atsižvelgiant į likusiąją apšvitinimo dozę, bus

$$25 + 75 = 100 \text{ rd.}$$

2. Pagal 30 lentelę nustatome, kad bus tam tikri karių pažeidimo atvejai, kurie gali atsitikti nuo 14 iki 30 parų po apšvitinimo.

5 pavyzdys. Kariai pradėjo veiksmus užterštoje vietovėje 1 val. po branduolinio sprogimo, veikė 3 val. ir per tą laiką gavo apšvitinimo dozę 167 rd.

Šio padalinio kariai prieš 4 savaites gavo 65 rd apšvitinimo dozę. Apskaičiuoti padalinio radiacinius nuostolius.

Sprendimas:

1. Pagal 29 lentelę apskaičiuojame likusiąją nuo pirmojo apšvitinimo dozę:

$$65 \cdot 0,5 = 33 \text{ rd.}$$

2. Bendroji apšvitinimo dozė bus:

$$167 + 33 = 200 \text{ rd.}$$

3. Pagal 30 lentelę nustatome, kad karių radiaciniai nuostoliai pasieks 50%, iš jų 5 % neteks kovingumo per pirmąsias 12 val., likusieji - laikotarpiu nuo 14 iki 30 parų.

5. Radioaktyviojo užteršimo zonos įveikimo pradžios nustatymas.

Radioaktyviojo užteršimo zonos įveikimo pradžią nustato šitaip:

5.1. Apskaičiuoja sąlyginę apšvitinimo dozę (D_s), kurią gautų kariai, jeigu nedelsiant pradėtų judėjimą užterštoje vietovėje (XVII skyrius, 3 p.).

5.2. Nustato apšvitinimo dozės D_s ir leistinos apšvitinimo dozės D_l santykį:

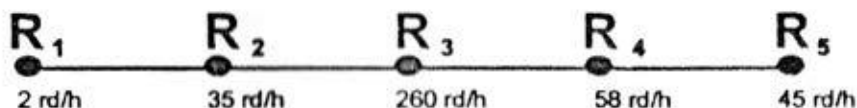
$$\frac{D_s}{D_l}$$

kuris rodo, kiek kartų didesnę dozę gali gauti kariai, lyginant su leistina doze (t.y. kiek kartų reikia sumažinti apšvitinimo dozę, kad ji neviršytų leistinos).

5.3. Pagal 25 lentelę nustatomas laikas po branduolinio sprogimo, kuriam

atitinka santykis $\frac{D_a}{D_l}$. Praėjus šiam laikui galima pradėti judėjimą užteršta vietoje.

6 pavyzdys. Motošaulių būrys gavo įsakymą įveikti radioaktyviai užterštą zoną. Radiacijos lygiai maršrute 1 val. po sprogo buvo:



Nustatyti, kada galima pradėti judėjimą per radioaktyviai užterštą zoną, kad nebūtų viršyta leistina apšvitinimo dozė $D_l = 10$ rd. Motošauliai įveikia užterštą zoną automobiliais 30 km/h greičiu. Užteršto maršruto ilgis - 12 km.

Sprendimas:

1. Apskaičiuoti radiacijos lygio vidurkį maršrute:

$$R_{\text{vid}} = \frac{2 + 35 + 260 + 58 + 45}{5} = 80 \text{ rd/h.}$$

2. Apskaičiuojame judėjimo laiką užterštoje zonoje:

$$T = \frac{l}{U} = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ h.}$$

3. Pagal 19 lentelę nustatome radiacijos slopinimo koeficientą:

$$K_{\text{stop}} = 2.$$

4. Apskaičiuojame sąlyginę apšvitinimo dozę, kurią gautų kariai, jeigu nedelsdami pradėtų judėjimą užteršta vietoje:

$$D_a = \frac{R_{\text{vid}} \cdot T}{K_{\text{stop}}} = \frac{80 \cdot 0,4}{2} = 16 \text{ rd.}$$

5. Randame sąlyginės ir leistinos apšvitinimo dozių santykį:

$$\frac{D_a}{D_l} = \frac{16}{10} = 1,6.$$

Tai reiškia, kad kariai gaus 10 rd apšvitinimo dozę, kai radiacijos lygis maršrute sumažės 1,6 karto.

6. Pagal 25 lentelę nustatome, kad radiacijos lygis sumažės 1,6 karto (lyginant su 1 val. po sprogo) praėjus 1,5 val. po branduolinio sprogo.

Taigi galima pradėti užterštos zonos įveikimą, praėjus 1,5 val. po branduolinio sprogimo.

6. Leistino buvimo laiko užterštoje zonoje nustatymas.

Leistinas buvimo laikas radioaktyviai užterštoje vietovėje apskaičiuojamas pagal 31 lentelę ("Leistinas buvimo laikas užterštoje RM vietovėje, val., min.").

7 pavyzdys. Apskaičiuoti leistiną buvimo laiką užterštoje vietovėje, jeigu dalinio apšvitinimas prasidėjo 3 val. po branduolinio sprogimo, radiacijos lygis tuo metu buvo 200 rd/h, leistina apšvitinimo dozė - $D_l = 30$ rd. Kariai slepiasi dezaktyvuotuose atviruose apkasuose.

Sprendimas:

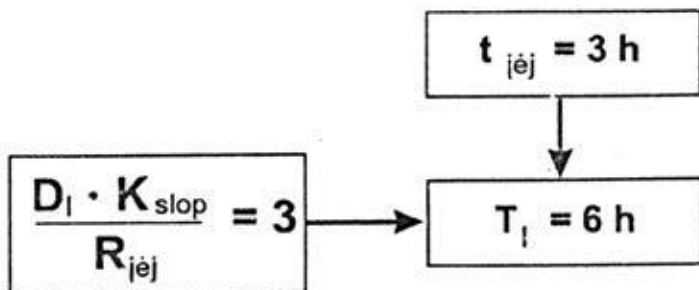
1. Pagal 19 lentelę nustatome slopinimo koeficientą:

$$K_{slop} = 20$$

2. Apskaičiuojame santykį:

$$\frac{D_l \cdot K_{slop}}{R_{j\acute{e}j}} = \frac{30 \cdot 20}{200} = 3.$$

3. Pagal 31 lentelę randame leistiną buvimo laiką užterštoje vietovėje:



Taigi užterštoje vietovėje galima būti 6 val.

Literatūra

1. Durikovas A. Radiacinės būklės įvertinimas liaudies ūkio objekte. - V.: Mokslas, 1979.
2. Атаманиук В.Г. Гражданская оборона. - М.: Высшая школа, 1987.
3. Гражданская оборона на объектах агро-промышленного комплекса. - М.: ВО Агропромиздат, 1990.
4. Кисинас Э. Методика оценки радиационной обстановки. - К.: ЛГНФК, 1988.
5. Справочник по поражающему действию ядерного оружия. 4. II. - М.: Воениздат, 1986.
6. Справочник по оценке последствий применения ОМП, разрушения химически опасных объектов и аварий на атомных электростанциях. - Рига, 1986.

V DALIS

PRIEDAI

PRIEDAI

1 lentelė

Natūralių ir dirbtinių radionuklidų pagrindinės charakteristikos

Elementas		Radionuklid s		Pusėjimo trukmė ($T_{1/2}$)	Skilimo tipas
pavadinimas	simbolis	Z	A		
Natūralusis radioaktyvumas					
Uranas	U	92	238	$4,5 \cdot 10^9$ metų	α
		92	235	$7,0 \cdot 10^8$ metų	α
Toris	Th	90	232	$1,4 \cdot 10^{10}$ metų	α, γ
Radis	Ra	88	226	1860 metų	α, γ
Radonas	Rn	86	222	3,8 paros	α
Švinas	Pb	82	210	22 metai	β, γ
Kalis	K	19	40	$4,5 \cdot 10^8$ metų	β, γ
Dirbtinis radioaktyvumas					
Vandenilis	H	1	3	12 metų	β
Anglis	C	6	14	5700 metų	β
Fosforas	P	15	32	14 parų	β
Stroncis	Sr	38	89	50 parų	β
		38	90	28 metai	β
Jodas	I	53	131	8 paros	β, γ
Cezis	Cs	55	134	2 metai	β, γ
		55	137	30 metų	β, γ

Natūraliųjų radionuklidų alfa, beta ir gama spindulių charakteristikos

Spinduliavimas	Kilmė	Jonizuojanti galia	Skvarbumas
α	He ⁺⁺ jonas	Labai didelė	Mažas: 0,1 mm vandens, popieriaus lapas
β	Elektronas	Didelė	Didelis: iki 0,5 mm aliuminio
γ	Elektromagnetinis spinduliavimas	Maža	Labai didelis: keli švino cm

[vairių jonizuojančio spinduliavimo rūšių kokybės koeficientai (k), kai chroniškai apėvitinamas visas kūnas (RSN-76/87)]

Spinduliavimo rūšis	k	Spinduliavimo rūšis	k
Rentgeno ir gama spinduliavimas	1	Alfa spinduliavimas, energija mažesnė kaip 10 MeV	20
Elektronai ir pozitronai, beta spinduliavimas	1	Neutronai, kurių energija mažesnė kaip 20 MeV	3
Protonai, kurių energija mažesnė nei 10 MeV	10	Neutronai su energija 0,1 - 10 MeV	10

Dažniausiai naudojamų jonizuojančių spinduliavimo fizikinių charakteristikų matavimo vienetai

Fizikinės charakteristikos	Matavimo vienetai		Matavimo vienetų santykiai
	SI sistemoje	nesisteminiai	
Ekspozicinė dozė	kulonas kilogramui (C/kg)	rentgenas (R), mR, μ R	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg = $3,88 \cdot 10^3$ R
Ekspozicinės dozės galia (radiacijos lygis)	kulonas kilogramui per valandą C/(kg·h)	rentgenas per valandą (R/h), mR/h, μ R/h	1 R/h = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/(kg·h) 1 C/(kg·h) = $3,88 \cdot 10^3$ R/h
Sugertoji (absorbuotoji) dozė	grėjus (Gy), mGy, μ Gy	radas (rd), mrd, μ rd	1 Gy = 100 rd 1 rd = $1 \cdot 10^{-2}$ Gy
Sugertosios dozės galia	grėjus per valandą (Gy/h), mGy/h, μ Gy/h	radas per valandą (rd/h), mrd/h, μ rd/h	1 Gy/h = 100 rd/h 1 rd/h = $1 \cdot 10^{-2}$ Gy/h
Ekvivalentinė dozė	zivertas (Sv), mSv, μ Sv	biologinis rado ekvivalentas (rem) mrem, μ rem	1 Sv = 100 rem 1 rem = $1 \cdot 10^{-2}$ Sv
Ekvivalentinės dozės galia	Sv/h, mSv/h, μ Sv/h	rem/h, mrem/h, μ rem/h	1 Sv/h = 100 rem/h 1 rem/h = $1 \cdot 10^{-2}$ Sv/h
Radionuklido aktyvumas	bekerelis (Bq)	kiuris (Ci)	1 Bq = 1 virs/s = = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ virs/s = = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

Išorinio ir vidinio apšvitinimo dozės ribos, mSv/metus (rem/metus)

Apšvitinamų asmenų kategorija	Kritinių organų grupės		
	I	II	III
A	50 (5,0)	150 (15)	300 (30)
B	5 (0,5)	15 (1,5)	30 (3)

Leistini paviršių užteršimo lygiai, dalelė/(cm².min.)

Užteršimo objektas	alfa aktyvūs nuklidai ¹		beta aktyvūs nuklidai
	atskiri ²	kiti	
Oda, rankšluosčiai, specialūs baltiniai, vidinis individualios apsaugos priemonių antveidžių paviršius	1	1	100 ³
Pagrindiniai specialūs drabužiai, vidinis papildomų individualios apsaugos priemonių paviršius	5	20	800 ³
Išorinis specialiojo apavo ir papildomų individualios apsaugos priemonių paviršius patalpose:			
nuolatinio personalo buvimo	5	20	2000
periodinio personalo buvimo	50	200	8000
Kitos individualios apsaugos priemonės:			
vidinis paviršius	5	20	800
išorinis paviršius	50	200	8000
Nuolatinio personalo buvimo patalpų ir esančių jose įrenginių paviršiai	5	20	2000
Periodinio personalo buvimo patalpų ir esančių jose įrenginių paviršiai	50	200	8000

¹ Darbo patalpų ir įrenginių paviršiams, užterštiems alfa aktyviais nuklidais, normuojamas nuimamas (nefiksuotas) užteršimas; kitiems paviršiams - sumos (nuimamas ir nenuimamas) užteršimas.

² Atskiriais radionuklidams priklauso alfa aktyvieji nuklidai, kurių leistina koncentracija darbo patalpų ore $LKA < 1 \cdot 10^{-14}$ Ci/l.

³ Sr 90 + Y 90 nustatomas 5 kartus mažesnis leistinas užteršimas.

Leidžiami transporto priemonių paviršių radioaktyviojo užteršimo lygiai, dalelė/(cm².min.)

Užteršimo objektas	Užteršimo rūšis			
	Nuimamas (nefiksuotas)		Nenuimamas (fiksuotas)	
	alfa aktyvūs radionuklidai	beta aktyvūs radionuklidai	alfa aktyvūs radionuklidai	beta aktyvūs radionuklidai
Išorinis konteinerio apsauginės taros paviršius	Neleistinas	Neleistinas	Nereglamentuojamas	200
Išorinis vagono-konteinerio paviršius	Neleistinas	Neleistinas	Nereglamentuojamas	200
Vidinis konteinerio apsauginės taros paviršius	1,0	100	Nereglamentuojamas	2000
Vidinis transportinio konteinerio paviršius	1,0	100	Nereglamentuojamas	2000

- Pastabos:
1. Nuimamas (nenuimamas) radioaktyvus paviršiaus užteršimas - RM, kurios savaime arba eksploatacijos metu perėna (nepereina) nuo paviršiaus į aplinką ir pašalinamos (nepašalinamos) naudojamais dezaktyvacijos būdais.
 2. Paviršių radioaktyviojo užteršimo lygius matuoja dalelių srauto tankio Φ vienetais: dalelė/(cm².min.) arba dalelė/(cm².s).
Jų santykis: dalelė/(cm².min.) = 60 dalelė/(cm².s).

Spindulnēs ligas

Dozē, Sv	Ligos laipsnis	Pirminēs reakcijas ī apšvītinaimā pradžia ir trukmē	Pirminēs reakcijas pobūdis	Latentinis periods
1-2	Lengva (I)	Po 2-3 val., iki paros	Pykinimas, vēmimas (1-2 kartai). Praeina poveikio diena	Iki 3-5 savaičių
2-4	Vidutinio sunkumo (II)	Po 1-2 val., iki 2 parų	Vēmimas (2-3 kartus), silpnumas	15-20 parų
4-6	Sunki (III)	Po 10-60 min., iki 3-4 parų	Daugkartinis vēmimas, didelis negalavimas, temperatūra iki 38°C	Iki 5-10 parų, bet jau pirmajā savaitē gali pasireikšti ligos požymiai
Daugiau kaip 6	Labai sunki (IV)	Po 10-15 min., iki 3-4 parų	Odos pablyškimas, viduriavimas, temperatūra aukštesnē nei 38°C	Neryškus

charakteristika

Ryškių klinikinių požymių periodas	Leukocitų kiekis sumažėja iki (1mm^3)	Klinikinė reakcija	Ligos pasekmės
10-15 parų	1500-3000		100% ligonių po 1-2 mėnesių pasveiksta
15-20 parų	500-1500	Galimos infekcinės komplikacijos, kraujavimas	100% ligonių po 2-3 mėn. pasveiksta (jeigu gydomi)
3-4 savaitės	100-500	Karštiligė, sunkios infekcinės komplikacijos, kraujosrūvos, sumažėjęs kraujospūdis, opos burnos gleivinėje	50-80% ligonių per 3-6 mėn. pasveiksta (specializuotas gydymas)
3-4 savaitės	Prapuola	Žarnyno veiklos sutrikimas, sustiprėjęs kraujavimas, sutrikęs kraujo krešėjimas, plaukų slinkimas	30-50% ligonių pasveiksta tik po ankstyvojo specializuoto gydymo

Radiacinių nudegimų charakteristika

Nudegimų laipsnis	Vielinė dozė, Gy	Požymiai
I	8-10	Nestiprus, tarsi saulės, nudegimas, po kelių dienų jis išnyksta
II	10-20	Stipresnis, sukeltis pūsles, nudegimas, visiškai sugyja po 4-6 savaičių
III	30 ir daugiau	Prasideda audinių nekrozė (audiniai atmiršta), paprastomis priemonėmis neišgydoma. Nekrozė gali apimti antkaulius ir kaulus. Gyja labai lėtai (iki 6 mėn.), dažnai lieka randai, o vėliau gali atsirasti piktybiniai audinių pažeidimai

Biologiniai jonizuojančio spinduliavimo padariniai

Apšvitinimo pobūdis	Ekvivalentinė dozė, Sv	Padariniai
Bet koks apšvitinimas	Bet kokia, didesnė už nulį	Padidėjusi piktybinių auglių ir genetinių pakitimų rizika
Lėtinis per kelerus metus	Daugiau kaip 0,1 Sv per metus	Organizmo imuninės sistemos susilpnėjimas (nepastebimas tik pavienių žmonių)
Lėtinis per kelerus metus	Daugiau kaip 0,5 Sv per metus	Lėtinė spindulinė liga, katarakta (0,3 Sv per metus)
Ūminis vienkartinis	Ne mažiau kaip 1 Sv	Nevienodo sunkumo ūminė spindulinė liga
Ūminis vienkartinis	Ne mažiau kaip 4,5 Sv	Ūminė spindulinė liga (50% ligonių miršta per 30 parų)
Ūminis vienkartinis	Ne mažiau kaip 6 Sv	90% ligonių miršta per 14 parų
Ūminis vienkartinis	Daugiau kaip 7 Sv	100% ligonių miršta
Įvairus apšvitinimas	Daugiau kaip 1 Sv	Pastebimas piktybinių auglių ir genetinių pakitimų padidėjimas
Skydliaukės 1-2 mėnesių apšvitinimas (jodas 131)	Daugiau kaip 10 Sv	Pakitusi skydliaukės funkcija, padidėjusi piktybinių auglių rizika
Odos apšvitinimas	3-5 Sv	Odos paraudimas, plaukų slinkimas
Lytinių liaukų apšvitinimas	3-5 Sv	Nevaisingumas visą gyvenimą

Kai kurios jodo 131, stroncio 90

Radionuklidas i jo skilimo pusamžis $T_{1/2}$	Radiacinio pavojaus laipsnis	Spinduliavimo rūšis	Kritinis organas	Kur kaupiasi
Jodas 131 8,04 paros	B	β, γ	Skydinė liauka	Skydinė liauka
			Plaučiai	Kepenys, inkstai
			Virškinimo traktas	Stuburo kaulai
Stroncis 90	B	β	Kaulai	Raumenys, smegenys
			Plaučiai	Kepenys
			Virškinimo traktas	
Cezis 137	C	β, γ	Visas kūnas	Stuburo kaulai

12 lentelė

Radioaktyviojo užteršimo zonų charakteristika

Zonos	Išorinis gama spinduliavimas		Vidinio apšvitinimo ekvivalentinės dozės, rem per parą
	R_1 , rd/h	D_m , rd	
A ₁	0,025 - 0,1	9,3 - 36	nenustatyta
A	0,1 - 1	36 - 360	nenustatyta
E	2 - 3	360 - 1100	nenustatyta
C	3 - 10	1100 - 3600	30 - 250
D	10 ir daugiau	3600 ir daugiau	250 ir daugiau

- Pastabos: 1. R_1 - radiacijos lygis praėjus 1 valandai po avarijos, R/h, rd/h;
2. D_m - ekspozicinė (sugertoji) apšvitinimo dozė, kurią gali gauti gyventojai per metus:

$$D_m = R_1 \cdot 360.$$

Ir cezio 137 charakteristikos

Biologinis pašalinimo pusamžis (T_b)	A kategorija		B kategorija	
	Leistinas radionuklido kiekis kritiniame organe, μCi	Ribinis leistinas patekimas į organizmą per kvėpavimo organus, $\mu\text{Ci}/\text{metus}$	Ribinis leistinas patekimas į organizmą, $\mu\text{Ci}/\text{metus}$	
			per kvėpavimo organus	per virškinimo organus
138 paros	0,07	10	1	0,8
7 paros	2,3	$8,0 \cdot 10^2$	80	-
12 parų	-	$8,0 \cdot 10^2$	80	51
140 parų	2,0	2,9	0,29	0,32
	0,76	14	1,4	-
	-	-	-	28
$1,8 \cdot 10^4$ parų	33	$1,6 \cdot 10^2$	16	12

13 lentelė

Apsaugos priemonės Ignalinos AE radiacinės avarijos atveju

Apsaugos priemonės	Avarijos etapai		
	I	II	III
1. Apsauginių statinių naudojimas	++	+	-
2. Medicininės profilaktikos priemonės	++	+	-
3. Užterštos teritorijos blokavimas, įėjimo ir išėjimo reguliavimas	++	++	+
4. Gyventojų evakuacija	++	++	-
5. Individualios apsaugos priemonių naudojimas	+	+	-
6. Specialus ir sanitarinis švarinimas	+	+	+
7. Medicininis aprūpinimas	-	++	+
8. Gyventojų aprūpinimas švariais maisto produktais ir vandeniu	++	++	++

Pastaba: ++ - taikoma, labai svarbu; + - taikoma; - - netaikoma, ribotai.

Radioaktyviojo užteršimo zonos

Eil. Nr.	Zonos pavadinimas	Atstumas nuo AE projektinės statybos ribų, km
1.	Pavojingo radioaktyviojo užteršimo	30
2.	Stipraus radioaktyviojo užteršimo	130

Pastaba: Likusioje Respublikos teritorijoje, didesniu nei 130 km atstumu nuo AE, taip pat gali susidaryti radioaktyviojo užteršimo zona.

Ankstyvojo avarijos etapo doziniai kriterijai

Apsaugos priemonės	Doziniai kriterijai (prognuojama per pirmąsias 10 parų dozė), mSv			
	Visas kūnas		Atskiri organai	
	žemutinis lygis	viršutinis lygis	žemutinis lygis	viršutinis lygis
Apsauginių statinių naudojimas, kvėpavimo organų ir odos apsauga	5	50	50	500
Jodo profilaktika:				
suaugusieji	-	-	50 ^x	500 ^x
vaikai, nėščios moterys	-	-	50 ^x	250 ^x
Evakuacija:				
suaugusieji	50	500	500	5000
vaikai, nėščios moterys	10	50	200 ^x	500 ^x

^x - tikslai skydinei liaukai.

Tarpinio avarijos etapo doziniai kriterijai

Apsaugos priemonės	Doziniai kriterijai (prognozuojama per pirmąsias 10 parų dozė), mSv			
	Visas kūnas		Atskiri organai	
	žemutinis lygis	viršutinis lygis	žemutinis lygis	viršutinis lygis
Užterštų maisto produktų ir vandens vartojimo ribojimas	5	50	50	500
Perkėlimas arba evakuacija	50	500	Nenustatoma	

Laikiniai lelati maisto produktų ir geriamo vandens radioaktyviojo užterštumo lygiai (LLL-91)

Pavadinimas	Užterštumo lygis	
	Ci/kg, Ci/l	Bq/kg, Bq/l
Ca 134 ir Ca 137 LLL-91		
Geriamasis vanduo	$5 \cdot 10^{-10}$	19,5
Pienas, grietinė, varškė, sūris	$7 \cdot 10^{-9}$	250,0
Sviestas, kondensuotas, koncentruotas pienas	$7 \cdot 10^{-9}$	250,0
Sausi pieno milteliai	$1 \cdot 10^{-8}$	370,0
Mesa, žuvis, kiaušiniai, mėsos ir žuvis produktai	$1 \cdot 10^{-8}$	370,0
Laukinių žvėrių ir paukščių mėsa	$1,6 \cdot 10^{-8}$	600,0
Auginiai ir gyvuliniai riebalai, margannas, majonezas	$5 \cdot 10^{-9}$	185,0
Duona ir duonos gaminiai, miltai, kruopos, cukrus	$7 \cdot 10^{-9}$	250,0
Bulvės, šakniavaisiai, daržovės, žalumynai, kultūriniai lauko bei miško vaisiai ir uogos	$7 \cdot 10^{-9}$	250,0
Konservuoti daržoviai, vaisiai ir uogų produktai, medus	$9 \cdot 10^{-9}$	185,0
Visų rūšių paruošti vartojimui specializuoti vaikų maisto produktai	$9 \cdot 10^{-9}$	185,0
Švieži grybai	$1,6 \cdot 10^{-8}$	600,0
Džiovinți grybai	$1 \cdot 10^{-7}$	3700,0
Džiovinți vaisiai ir uogos	$2 \cdot 10^{-8}$	740,0
Vicistažolės (sausos)	$7 \cdot 10^{-8}$	2590,0
Arbatžolės (sausos)	$5 \cdot 10^{-8}$	1850,0

**Radiacijos lygio mažėjimo koeficientai K_t
tam tikrą laiką po AE avarijos**

Laikas po avarijos, h	1	2	3	4	5	6	7	8	10
K_t	1,0	1,03	1,05	1,08	1,11	1,13	1,15	1,18	1,21
Laikas po avarijos, h	12	14	16	18	20	24	48	72	96
K_t	1,26	1,32	1,35	1,42	1,54	1,8	2,08	2,2	2,4
Laikas po avarijos, h	120	240	360	480	1 mėn.				
K_t	2,5	3,3	4,1	4,4	5,0				

Vidutiniai radiacijos slopinimo koeficientai

Priedangų ir transporto priemonių pavadinimas	K_{slop}
Atviri apkasai, skyrių priedangos, tranšėjos:	
dezaktyvuoti	20
nedezaktyvuoti	3
Dengti apkasai, skyrių priedangos, tranšėjų ruožai	40
Blindažai (radiacinės slėptuvės)	400 (100)
Slėptuvės	1000
Automobiliai	2
Šarvuočiai	4
Tankai	10
Mediniai vienaaukščiai namai	2
Mediniai dviejų aukštų namai	8
Mūriniai vienaaukščiai namai	10
Mūriniai dviejų aukštų namai	15
Mūriniai daugiaaukščiai (trijų ir daugiau aukštų) namai	20
Medinių vienaaukščių namų rūšiai	7
Medinių dviejų aukštų namų rūšiai	12
Mūrinių vienaaukščių namų rūšiai	40
Mūrinių dviejų aukštų namų rūšiai	100
Mūrinių daugiaaukščių namų rūšiai	400

Apšvitinimo dozės priedangosė (Diant), kal

Kaiop	Apšvitinimo dozės					
	valandos					
	1	2	3	4	6	8
1	16	26	36	48	66	84
2	8	13	18	24	33	42
3	5,3	8,7	12	16	22	28
4	4	6,5	9	12	17	21
7	2,3	3,7	5,1	6,9	9,4	12
8	2	3,3	4,5	6	8,5	10,5
10	1,6	2,6	3,6	4,8	6,6	8,4
12	1,3	2,2	3	4	5,5	7
15	1,1	1,7	2,4	3,2	4,4	5,6
20	0,8	1,3	1,8	2,4	3,3	4,2
40	0,4	0,65	0,9	1,2	1,7	2,1
50	0,32	0,52	0,72	0,96	1,32	1,68
100	0,16	0,26	0,36	0,48	0,66	0,84
400	0,04	0,07	0,09	0,12	0,17	0,21
1000	0,016	0,026	0,036	0,048	0,066	0,084

radiacijos lygis 1 valandą po avarijos 10 rd/h, rd

per tam tikrą laiką		paros				
12	18	1	1,5	2	2,5	3
120	160	200	260	300	330	350
60	79	100	130	150	170	180
40	53	67	87	100	110	117
30	40	50	64	75	84	88
17	23	29	37	43	49	55
15	20	25	32	38	42	44
12	16	20	26	30	33	35
10	13,3	16,7	21,7	25	27,5	29,2
8	10,7	13,3	17,3	20	22	23,3
6,0	7,9	10	13	15	17	18
3,0	4,0	5,0	6,4	7,5	8,4	8,8
2,4	3,2	4	5,2	6,0	6,6	7
1,2	1,6	2	2,6	3,0	3,3	3,5
0,3	0,4	0,5	0,65	0,75	0,85	0,9
0,12	0,16	0,2	0,26	0,3	0,33	0,35

Tipiniai karių (gyventojų) radiacinės apsaugos režimai
RM užterštoje vietovėje po AE avarijos

Užteršimo zonos	Radiacijos lygis 1 val. po avarijos, rd/h	Sąlyginis režimo pavadinimas	Bendroji režimo trukmė, paros	Režimo nuoseklumas		
				I slėpimasis sandariose patalpose, val.	II gyvenimas užterštoje zonoje, ribojant buvimą atviroje vietovėje, paros	
					iki 1 val. per parą	iki 2 val. per parą
I. Medinių namų gyventojams ($K_{slop} = 2$)						
A_i	0,05	1-1	365	ne mažiau kaip 4	-	365
II. Mūrinių vienaaukščių namų gyventojams ($K_{slop} = 10$)						
A_i	0,05	2-1	60	4	20	40
	0,075	2-2	120	4	40	80
	0,1	2-3	180	4	75	105
A	0,15	2-4	310	4	120	190
	0,2	2-5	365	4	365	-
III. Mūrinių daugiaaukščių namų gyventojams ($K_{slop} = 20$)						
A_i	0,05	3-1	40	4	10	30
	0,075	3-2	80	4	30	50
	0,1	3-3	120	4	45	75
A	0,15	3-4	200	4	80	120
	0,2	3-5	280	4	120	160
	0,25	3-6	340	4	200	140
	0,3	3-7	360	4	360	-

19 Tipiniai darbuotojų radiacinės apsaugos režimai
RM užterštoje vietovėje po AE avarijos

Užteršimo zonos	Radiacijos lygis 1 val. po avarijos, rd/h	Sąlyginis režimo pavadinimas	Bendroji režimo trukmė, paros	Režimo vykdymo nuoseklumas	
				I slėpimasis apsauginiuose statiniuose, val.	II objekto darbas budėjimo metodu, paros
I. Objektams, kuriuose yra medinių pastatų ($K_{sl\text{op}} = 2$) ir radiacinių slėptuvių ($K_{sl\text{op}} = 50$)					
A _I	0,05	4-1	120	ne mažiau kaip 4	120
	0,1	4-2	280	4	280
A	0,12	4-3	365	4	365
II. Objektams, kuriuose yra cėchų ($K_{sl\text{op}} = 7$) ir radiacinių slėptuvių ($K_{sl\text{op}} = 50 + 200$)					
A _I	0,05	5-1	35	4	35
	0,1	5-2	70	4	70
A	0,2	5-3	160	4	160
	0,3	5-4	220	4	220
	0,4	5-5	280	4	280
	0,5	5-6	330	4	330
	0,6	5-7	365	4	365
III. Objektams, kuriuose yra mūrinių pastatų ($K_{sl\text{op}} = 10$) ir slėptuvių su apkrova ($K_{sl\text{op}} = 400 + 1000$)					
A _I	0,05	6-1	25	4	25
	0,1	6-2	50	4	50
	0,2	6-3	110	4	110
	0,3	6-4	140	4	140
	0,4	6-5	230	4	230
	0,5	6-6	280	4	280
	0,6	6-7	360	4	360

Pavojingo (30 rem) ir ypač pavojingo (250 rem) užteršimo zonų matmenys (pagal vidinį apėvitinimą) AE avarijos atveju

Oro vertikalaus stabilumo laipsnis	Vėjo greitis, m/s	Pavojingo užteršimo zona			Ypač pavojingo užteršimo zona		
		užteršimo zonos gylis (pradžia - pabaiga), km	zonos plotis, km	zonos formavimosi laikas, h	užteršimo zonos gylis (pradžia - pabaiga), km	zonos plotis, km	zonos formavimosi laikas, h
Izotermija	1	195 (45-240)	6,2	30,5	-	-	-
	2	250 (10-260)	7,5	18,5	-	-	-
	3	254 (6-260)	7,0	12,6	-	-	-
	4	196 (4-200)	6,5	6,7	10 (10-20)	0,3	0,8
	5	200 (0-200)	6,2	6,2	16 (6-22)	0,9	1,0
	6	190 (0-190)	6,7	5,3	16 (6-22)	0,9	0,7
	7	185 (0-185)	5,3	4,5	16 (4-20)	0,9	0,5
	8	165 (0-165)	5,0	4,1	14 (4-18)	0,8	0,4
	9	150 (0-150)	4,7	3,2	12 (4-16)	0,8	0,3
	10	140 (0-140)	4,5	2,5	11 (4-15)	0,7	0,3
	12	125 (0-125)	4,4	2,1	11 (3-14)	0,6	0,2
	Konvekcija	1	63 (0-63)	8,8	8,3	-	-
2		47 (0-47)	7,1	5,1	-	-	-
3		31 (0-31)	5,2	2,0	6 (0-6)	1,4	0,6

- Pastaba: 1. Inversijos atveju užteršimo zona nesusidaro.
 2. Brūkšnyas reiškia, kad tokiomis meteorologinėmis sąlygomis užteršimo zona nesusidaro.

Vidinio apšvitinimo dozės AE avarijos atveju
(per 24 val. pėdsako ašyje; RBMK-1000 tipo reaktorius), rem

Nuotolis nuo AE, km	Oro vertikaliojo stabilumo laipsnis					
	konvekcija		izotermija			
	1 m/s	3 m/s	1 m/s	5 m/s	8 m/s	12 m/s
3	32	180	-	1	34	68
5	82	105	-	29	110	132
7	86	70	-	67	133	135
10	70	41	-	92	129	116
20	35	18	0,92	63	85	68
40	19	8	0,92	56	47	37
60	12	-	16	44	32	25
100	-	-	20	29	20	15
150	-	-	19	20	13	10
200	-	-	16	14	10	-
250	-	-	13	-	-	-

- Pastabos: 1. Esant inversijai, užteršimo zonos nesusidaro.
2. Inhalacinės apšvitinimo dozės paprastai gauna kariai (gyventojai), kurie nenaudoja kvėpavimo organų apsaugos priemonių.

Radiacinės situacijos vertinimo kontrolinių uždavinių sąlygos

Vairiantai	Naudojamos priedangos	t_{obj} , h	R_{obj} , rd/h	T, h	R_{vid} maršrute, rd/h	l, km	U, km/h
1	Mediniai vienaaukščiai namai	10.00	4,5	3	2	10	25
2	Mediniai dviaukščiai namai	12.00	10	4	8	20	40
3	Mūriniai vienaaukščiai namai	13.00	4	10	4	15	30
4	Mūriniai dviaukščiai namai	15.00	3	12	10	12	40
5	Mūriniai trijų aukštų namai	16.00	4	6	6	30	60
6	Medinių vienaaukščių namų rūšiai	12.00	29	3,7	10	30	40
7	Medinių dviaukščių namų rūšiai	14.00	2,5	20	12	12	30
8	Mūrinių vienaaukščių namų rūšiai	13.00	16	24	4	15	30
9	Mūrinių dviaukščių namų rūšiai	15.00	30	18	16	10	40
10	Mūrinių trijų aukštų namų rūšiai	13.00	100	5	6	20	30
11	Blindažai	10.00	50	12	3	12	20
12	Slėptuvės	11.00	10	10	18	15	60
13	Dengtos skyrių priedangos	12.00	80	24	2	20	40
14	Atviri dezaktyvuoti apkasai	13.00	5	6	11	10	30
15	Dengti apkasai	14.00	8	2	5	20	40
16	Mūrinių trijų aukštų namų rūšiai	10.00	40	10	11	30	45
17	Mūrinių dviaukščių namų rūšiai	12.00	60	8	6	15	30
18	Blindažai	14.00	50	24	4	25	40
19	Dengti tranšėjų ruožai	13.00	100	24	8	25	40
20	Blindažas	11.00	120	48	7	12	30
21	Radiacinės slėptuvės	10.00	20	10	9	18	30
22	Mūrinių trijų aukštų namų rūšiai	14.00	32	18	3,5	40	40
23	Mūrinių vienaaukščių namų rūšiai	13.00	25	8	2,1	30	40
24	Dengti apkasai	11.00	60	7	18	10	40
25	Slėptuvės	12.00	35	24	15	20	40
26	Dezaktyvuoti atviri apkasai	15.00	40	2	13	15	45
27	Mūrinių dviaukščių namų rūšiai	13.00	120	3	7,5	20	40
28	Dengti tranšėjų ruožai	12.00	80	16	3,2	15	30
29	Slėptuvės	11.00	30	24	8,4	20	40
30	Medinių dviaukščių namų rūšiai	13.00	12	7	3,1	30	45

Dozės galios mažėjimo koeficientai (K_t) [vairiam laikui po branduolinio sprogo]

Dozės galios matavimo laikas nuo branduolinio sprogo, h	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8
K_t	1	1,6	2,3	3	3,7	4,5	5,3	6,9	8,6	12

Laikas nuo branduolinio sprogo iki antrojo dozės galios matavimo, val. min.

Dozės galios antrojo ir pirmojo matavimų santykis $\frac{R_2}{R_1}$	Laikotarpis tarp matavimų						
	minutės					valandos	
	10	15	20	30	45	1	2
0,95	4.00	6.00	8.00	12.00	18.00	24.00	40.00
0,90	2.00	3.00	4.00	6.00	9.00	12.00	24.00
0,85	1.20	2.00	2.40	4.00	6.00	8.00	16.00
0,80	1.00	1.30	2.00	3.00	4.30	6.00	12.00
0,75	0.50	1.10	1.40	2.30	3.40	5.00	9.00
0,65	0.35	0.50	1.10	1.40	2.30	3.20	7.00
0,60	0.30	0.45	1.00	1.30	2.10	3.00	6.00
0,55	-	0.40	0.50	1.20	1.50	2.30	5.00
0,50	-	0.35	0.45	1.10	1.45	2.20	4.30
0,45	-	0.30	0.40	1.00	1.30	2.00	4.00
0,40	-	-	0.35	0.55	1.25	1.50	3.40

28 lentelė

Apšvitinimo dozės, kurias galima gauti atviroje vietovėje,
kai 1 val. po sproginimo dozės galima buvo 100 rd/h. rd

Apšvitinimo pradžia po sproginimo, h	Apšvitinimo laikas, h											
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	24	48
1	64,8	98,8	121	138	151	161	170	178	190	201	237	270
2	34	56,4	72,8	85,8	96,4	105	113	119	131	140	174	206,6
3	22,4	38,8	51,8	62,4	71,2	77,8	84,6	91,9	100	110	142	173,6
4	16,4	29,4	40,2	49,2	56,6	63,4	69,4	74,6	83,8	91,6	122	151,1
5	13	23,6	32,4	40	46,8	52,8	58	62,8	71,2	78,5	108	136,3
6	10,6	19,4	27	33,8	39,8	45	49,8	54,2	62	68,7	96,6	124,2
7	9	16,5	23,3	29,3	34,6	39,4	43,9	47,8	55,1	61,6	87,2	114,4
8	7,6	14,4	20,4	25,6	30,4	34,8	38,8	42,6	49,3	55,1	80,5	106,2
9	6,8	12,8	18,1	22,9	27,4	31,3	35,1	38,6	45,3	50,4	73,4	99,5

29 lentelė

Likusioji apšvitinimo dozė priklausomai nuo laiko po apšvitinimo

Laikas po apšvitinimo, savaitės	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Likusioji apšvitinimo dozės dalis	0,9	0,75	0,6	0,5	0,42	0,35	0,3	0,25	0,2	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1

Karių radiaciniai nuostoliai priklausomai nuo apšvitinimo dozės, %

Apšvitinimo dozė, rd	Apšvitinimo pradžia (t ₀)	Apšvitinimo laikas (T)	Kariai netenka kovingumo po apšvitinimo per						Apšvitintųjų mirtinumas, %	
			valandas			paras				
			3	6	12	1	14	30		
100	Iki 4 parų	Iki 4 parų	-	-	-	-	-	-	Atskiri atvejai	-
150	Iki 4 parų	Iki 4 parų	-	-	-	-	-	15		-
175	Iki 4 parų	Iki 30 min.	1	3	3	3	3	32		-
		1 h	-	3	3	3	3	32		-
		3 h	-	1	3	3	3	32		-
		12 h	-	-	1	3	3	32		-
		1 para	-	-	-	2	3	32		-
		4 paros	-	-	-	1	3	32		-
200	Iki 4 parų	1 h	1	5	5	5	5	50		Atskiri atvejai
		3 h	-	3	5	5	5	50		
		12 h	-	-	2	5	5	50		
		1 para	-	-	-	4	5	50		
		4 paros	-	-	-	2	5	50		
		paros	-	-	-	2	5	50		
250	2 h	1 h	4	10	10	10	10	85		10
		3 h	-	6	10	10	10	85		
		12 h	-	-	4	10	10	85		
		1 para	-	-	1	6	10	85		
		4 paros	-	-	-	2	10	85		
		paros	-	-	-	2	10	85		
600	2 h	10 min.	70	80	80	80	85	100		100
		1 h	64	80	80	80	85	100		
		3 h	19	72	80	80	85	100		
		12 h	-	13	51	80	85	100		
		1 para	-	3	25	66	85	100		
		4 paros	-	-	8	34	85	100		

Leistinas buvimo laikas užterštoje RM vietovėje, val., min.

D ₁ -K _{atop}	Laikas nuo sproginimo iki apšvitinimo pradžios									
	minutės			valandos						
R _{ej}	15	30	45	1	2	3	4	6	7	8
0,2	0.25	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0,3	0.45	0.30	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0,4	1.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0,5	3.45	1.00	0.45	0.40	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0,6	8 par.	1.25	1.00	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0,7	NR	2.00	1.15	1.10	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45
0,8	NR	2.55	1.45	1.30	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50
0,9	NR	4.00	2.00	1.40	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1,0	NR	6.00	2.45	2.00	1.20	1.20	1.10	1.10	1.10	1.10
1,2	NR	15.00	4.00	3.10	2.00	2.00	1.30	1.30	1.25	1.25
2	NR	NR	30.00	12.00	4.00	3.10	2.45	2.30	2.20	2.20
2,5	NR	NR	5 par.	31.00	6.30	4.30	3.50	3.15	3.00	3.00
3	NR	NR	NR	NR	10.00	6.00	5.00	4.00	3.50	3.50

NR - buvimo laikas neribojamas

TURINYS

PRATARMĖ	3
I DALIS. ŽINIŲ APIE RADIACIJĄ PAGRINDAI	5
I SKYRIUS.	
Radioaktyvumas ir jonizuojantis spinduliavimas	8
II SKYRIUS.	
Aktyvumas, apšvitinimo dozė ir jų matavimo vienetai	15
III SKYRIUS.	
Radiacijos fonas	21
IV SKYRIUS.	
Radiacinio saugumo normos	28
V SKYRIUS.	
Biologinis radiacijos poveikis	29
II DALIS. RADIOAKTYVUSIS VIETOVĖS	
UŽTERŠIMAS IR JO PADARINIAI	41
VI SKYRIUS.	
Branduoliniai reaktoriai ir branduoliniai užtaisai	44
VII SKYRIUS.	
Ignalinos atominė elektrinė	48
VIII SKYRIUS.	
Atominių objektų radiacinės avarijos ir jų padariniai	51
IX SKYRIUS.	
Radioaktyvusis vietovės užteršimas	57
III DALIS. Radiacinės apsaugos principai,	
būdai ir priemonės	63
X SKYRIUS.	
Radiacinės apsaugos principai ir būdai	64
XI SKYRIUS.	
Radiacinės apsaugos priemonės	70
XII SKYRIUS.	
Radiacinės apsaugos režimai	78

XIII SKYRIUS.	
Dozimetrinė kontrolė	77
XIV SKYRIUS.	
Specialus švarinimas	79
XV SKYRIUS.	
Gyventojų veiksmai radioaktyviosiomis medžiagomis užterštoje vietovėje	81
IV DALIS. RADIACINĖS SITUACIJOS	
VERTINIMO METODIKA	85
XVI SKYRIUS.	
Bendrieji nuostatai	86
XVII SKYRIUS.	
Radiacinės situacijos vertinimo metodika atominės energetikos objektų avarijos atveju	89
XVIII SKYRIUS.	
Vidinio apšvitinimo poveikio vertinimas	95
XIX SKYRIUS.	
Uždavinių sprendimo pavyzdžiai	97
XX SKYRIUS.	
Kontroliniai uždaviniai	104
XXI SKYRIUS.	
Radiacinės situacijos vertinimo ypatumai branduolinio sprogimo atveju	104
VI DALIS. PRIEDAI (LENTELĖS)	115

355.58

Ki-206