



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ
Департман за ветеринарску медицину



Филип Радуловић

УЛОГА И ЗНАЧАЈ ВЕТЕРИНАРСКЕ СТРУКЕ
У ЗАШТИТИ ОД РАДИОАКТИВНЕ
КОНТАМИНАЦИЈЕ

Дипломски рад

Нови Сад, 2024. године



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ
Департман за ветеринарску медицину



Кандидат:

Филип Радуловић

Ментор:

Проф. др Аннамариа Галфи
Вукомановић

УЛОГА И ЗНАЧАЈ ВЕТЕРИНАРСКЕ СТРУКЕ
У ЗАШТИТИ ОД РАДИОАКТИВНЕ
КОНТАМИНАЦИЈЕ

Дипломски рад

Нови Сад, 2024. године

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ ДИПЛОМСКОГ РАДА

*др Аннамариа Галфи Вукомановић, ванредни професор – ментор
за ужу научну област Болести животиња и хигијена анималних производа*

*Пољопривредни факултет, Нови Сад
Департман за ветеринарску медицину*

*др Ненад Стојанац, ванредни професор – председник комисије
за ужу научну област Болести животиња и хигијена анималних производа*

*Пољопривредни факултет, Нови Сад
Департман за ветеринарску медицину*

*др Љиљана Куруца, доцент
за ужу научну област Болести животиња и хигијена анималних производа*

*Пољопривредни факултет, Нови Сад
Департман за ветеринарску медицину*

КРАТАК САДРЖАЈ

У случају радиоактивне контаминације, ветеринарска струка игра кључну улогу у заштити и управљању здрављем животиња и животне средине. Радиоактивно загађење може озбиљно утицати на здравље животиња, са могућим последицама као што су акутно зрачење, хроничне болести и генетске мутације. Задаци ветеринарских стручњака укључују идентификацију и процену степена контаминације, мониторинг здравственог стања животиња и спровођење превентивних мера. Такође је важно образовање и обука: ветеринари морају бити обучени за рад у условима радиоактивне контаминације и знати како да примене најбоље праксе у спречавању и лечењу првенствено животиња, а посредно и људи. Кроз ефикасно управљање и координацију са другим агенцијама и организацијама, ветеринарска струка игра виталну улогу у минимизирању негативних ефеката радијације на животињски свет и очувању јавног здравља.

Кључне речи: радиоактивна контаминација, биолошки значајни радионуклиди, превентивне мере у радијационој заштити, заштита од радиоактивне контаминације, безбедност хране, радиоактивна деконтаминација

SUMMARY

In the event of radioactive contamination, the veterinary profession plays a crucial role in protecting and managing the health of animals and the environment. Radioactive pollution can seriously impact animal health, with potential consequences such as acute radiation, chronic diseases, and genetic mutations. The tasks of veterinary professionals include identifying and assessing the level of contamination, monitoring the health status of animals, and implementing preventive measures. Education and training are also important: veterinarians must be trained to work under conditions of radioactive contamination and know how to apply best practices in prevention and treatment. Through effective management and coordination with other agencies and organizations, the veterinary profession plays a vital role in minimizing the negative effects of radiation on the animal world and safeguarding public health.

Key Words: radioactive contamination, biologically significant radionuclides, preventive measures in radiation protection, protection from radioactive contamination, food safety, radioactive decontamination

1.0.УВОД.....	8
2.0. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ.....	10
2.1. АТОМ И ЊЕГОВА СТРУКТУРА.....	10
2.2. ЈОНИЗУЈУЋЕ ЗРАЧЕЊЕ И РАДИОАКТИВНОСТ.....	12
2.2.1. Радиоактивност, радиоактивни распад и период полураспада.....	12
2.2.2. Врсте радиоактивног распада.....	13
2.2.3. Интеракција јонизујућег зрачења са материјом.....	15
2.3. ИЗВОРИ ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА.....	17
2.3.1. Природна (примордијална) радиоактивност.....	18
2.3.1.1. Космичко зрачење.....	18
2.3.1.2. Терестријално зрачење.....	19
2.3.2. Вештачка (антропогена) радиоактивност.....	20
2.3.2.1. Медицинска употреба јонизујућег зрачења.....	20
2.3.2.2. Нуклеарне пробе и коришћење нуклеарног оружја.....	21
2.3.2.3. Несреће на нуклеарним постројењима.....	21
2.3.2.4. Индустриска примена јонизујућег зрачења и радиоизотопа.....	22
2.3.2.5. Одлагање радиоактивног отпада у животну средину.....	22
2.4. РАДИОАКТИВНА КОНТАМИНАЦИЈА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ПРОИЗВЕДЕНИМ РАДИОАКТИВНИМ ЕЛЕМЕНТИМА.....	23
2.4.1. Радиоактивна контаминација атмосфере.....	23
2.4.2. Радиоактивна контаминација географских вода.....	24
2.4.3. Радиоактивна контаминација биљака.....	26
2.4.4. Радиоактивна контаминација животиња и људи.....	26
2.4.5. Радиоактивна контаминација у ланцу исхране.....	28
2.5. РАДИЈАЦИОНО-ХИГИЈЕНСКА КОНТРОЛА.....	29
2.5.1. Радијационо-хигијенска контрола млека.....	29
2.5.2. Радијационо-хигијенска контрола меса и производа од меса.....	31
2.5.3. Радијационо-хигијенска контрола хране за животиње.....	31
2.6. ЗАДАЦИ ВЕТЕРИНАРСКЕ СЛУЖБЕ У СЛУЧАЈУ РАДИОАКТИВНЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ.....	32
2.6.1. Заштита домаћих животиња, намирница анималног порекла и сточне хране од радиоконтаминације.....	33
2.6.1.1. Промене у менаџменту држања животиња.....	33
2.6.1.2. Ограничење уноса радионуклида.....	34
2.6.1.3. Смањење апсорпције унетих материја из хране и заштита намирница анималног порекла.....	35
2.6.1.4. Блокирање уноса и транспорта кроз органе.....	37
2.6.1.5. Склањање животиња са отворених простора.....	37

2.6.1.6. Херметизација стајских објеката.....	37
2.6.1.7. Заштита изворишта воде.....	37
2.6.1.8. Мере заштите у средњој и касној фази радиоактивне контаминације животне среди.....	38
2.6.1.9. Изборно коришћење мање контаминираних животиња.....	40
2.6.2. Радиодеконтаминација.....	40
2.6.2.1. Радиодеконтаминација домаћих животиња.....	41
2.6.2.2. Радиодеконтаминација сточне хране.....	42
2.6.2.3. Радиодеконтаминација намирница анималног порекла.....	43
2.6.2.4. Радиодеконтаминација намирница биљног порекла.....	46
2.7. ЗАКОНТСКА РЕГУЛАТИВА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	46
2.7.1. План за деловање у случају акцидента.....	46
2.7.1.1. Изолација извора и спречавање унутрашње и спољашње контаминације.....	47
2.7.1.2. Евакуација.....	47
2.7.1.3. Заклањање.....	47
2.7.1.4. Деконтаминација људи и животиња.....	48
2.7.1.5. Заштитне мере у областима пољопривреде, ограничавање уноса контаминираних хране и воде.....	48
2.7.2. Закон о заштити од јонизујућег зрачења.....	49
3.0. ЗАКЉУЧАК.....	51
4.0. ЛИТЕРАТУРА.....	52

1.0. УВОД

Од свих врста зрачења којима је човек изложен, највећу пажњу привлаче јонизујућа зрачења. Јонизујућа зрачења и радиоактивни елементи присутни у окружењу могу бити природног (примордијалног) или вештачког (антропогеног) порекла. Природни извори зрачења потичу од периода формирања планете, док су антропогени извори настали дејством људских активности.[2][4] Првенствено вештачка радиоактивност представља потенцијалну опасност од штетног деловања јонизујућег зрачења [5][6]. У новије време, све се већа пажња обраћа на опасност коју представљају нуклеарне електране, као и на опасност примене јонизујућег зрачења и радионуклида у медицини и индустрији. [7][8][32][33]

Један од значајних проблема савремене цивилизације јесте контаминација животне средине радиоактивним материјама. Примена нуклеарне енергије у мирнодопске сврхе неоспорно доводи до повећања активности радионуклида у биосфери [33]. Посебно су значајне нуклеарне електране које саме по себи и уз строго поштовање прописаних мера и правила, не доводе до радиоактивне контаминације околине. Појава инцидента и акцидента на нуклеарним постројењима представљају велику опасност од нове акутне радиоактивне контаминације [5]. Након несреће на реакторима у Чернобиљу и Фукушими дошло је до испуштања радионуклида из оштећених нуклеарних реактора, те довело до знатне радиоактивне контаминације атмосфере и географских вода [11][12][14]. У ванредним ситуацијама, доктори ветеринарске медицине су ангажовани на спровођењу мера заштите животиња и пољопривредне производње, те је од изузетног значаја да поседују основно знање о начинима укључивања радионуклида у ланац исхране, као и о методама радијационе заштите.

Главни пут интерне радиоактивне контаминације људи и животиња јесте унос радионуклида преко хране, односно путем дигестивног тракта (80%) [5][26][34]. Животиње се најчешће контаминирају приликом исхране површински контаминираним биљкама, као и биљкама код којих постоји структурна контаминација, док се људи контаминирају уносом контаминираних намирница анималног порекла (млеко, месо и јаја) [15][21]. Превенција је основа сваке радијационе заштите, те је главни задатак доктора ветеринарске медицине да спрече прелазак радионуклида у ланац исхране, па тиме и да спрече да контаминант доспе у организам човека [17][22][23]. На основу Уредбе о утврђивању плана за деловања у случају акцидента тачно су прописане мере за спречавање и отклањање штетних

последица зрачења на људе и животну средину [30]. У хитне мере заштите животиња спадају њихова евакуација и деконтаминација, као и клање и економско искоришћавање домаћих животиња намењених исхрани становништва. Развијени су посебни протоколи за организацију рада и поступак клања контаминираних животиња како би се накнадна контаминација свела на минимум [25]. Ветеринарски стручњаци учествују и у спровођењу мера заштите пољопривредне производње која се базира на спровођењу низа превентивних мера ради добијања намирница и хране за животиње у којима ће концентрација радионуклида бити испод прописаног нивоа [21].

Поред наведеног, од пресудног значаја је да доктори ветеринарске медицине поседују знање о основним мерама личне заштите, пошто током ангажовања спровођења мера заштите животиња и пољопривредне производње могу бити изложени већим дозама зрачења.

2.0. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1. АТОМ И ЊЕГОВА СТРУКТУРА

Идеја о атому има дугу историју. Пре око две и по хиљаде година, грчки филозофи су тврдили да материја мора бити изграђена од малих, чврстих, идентичних делова. Пошто се сматрало да су ови делови недељиви, названи су "атомима". Реч „атом“ изведена је из грчке речи која значи „нерезив“. „Делови, или атоми, долазе у само неколико врста“, рекао је грчки филозоф Талес, а сложеност која се посматра у природи произилази из различитих начина на које се ови градивни блокови спајају и растављају. Ова поједностављена слика грчког концепта атома садржи основе модерне идеје. Чињеница да су тек 1805. године физичари и хемичари произвели убедљиве физичке доказе о постојању атома говори у прилог томе да је за овај подухват било потребано и разумевање концепта хемијског елемента као и развој квантитативних техника мерења. [1]

Утврђивање постојања конкретних доказа о атомима почиње у раном деветнаестом веку. До средине деветнаестог века, посредством кинетичке теорије атома тврде сфере се разјашњава да су пречници атома реда 10^{-9} m, неких девет или десет редова величине мањи од уобичајених свакодневних објеката. Тада је откривена њихова електрична природа, а до краја века познато је да се атоми састоје од позитивних и негативних наелектрисања. Утврђено је да су негативна наелектрисања мале елементарне честице које су назване "електрони". На прагу двадесетог века, радиоактивност открива нову сложеност атома. Откривено је компактно језгро или "нуклеус" атома. Величине је 10^{-5} m и садржи 99,97% његове масе. Он сигнализира постојање нових елементарних честица, протона и неутрона, и постојање раније непознате фундаменталне силе природе јаче више од 100 пута од познатих електричних сила и 1040 пута јаче од гравитације. Ова нова сила је агенс помоћу којег језгра складиште изузетно велике количине енергије која се може ослободити нуклеарном фисијом и фузијом. [1]

Атоми, градивни елементи материје, се састоје из језгра у центру и електрона који круже око језгра, слично планетама које круже око Сунца. Електроне је немогуће лоцирати прецизно унутар атома. Језгра атома се састоје од протона, који имају позитиван електрични набој, и неутрона, који су електрично неутрални. Електрони имају негативно наелектрисање које је по интензитету једнако наелектрисању протона.[2]

Број електрона у атому је једнак броју протона у језгру. Као резултат тога, атоми елемената су електрично неутрални. Уколико језгро атома истог елемента има

различит број неутрона онда је реч о изотопима. Маса атома лежи скоро у потпуности у његовом језгру јер су протони и неутрони далеко тежи од електрона. [2]

Слободни неутрони су нестабилне честице које се природно распадају на протон и електрон, са временом полураспада од око 12 минута. Међутим, изванредно је да су неутрони, када постоје заједно са протонима у језгру атома, стабилни. Протони су око 1836 пута тежи од електрона, а неутрони су око 1838 пута тежи од електрона. Номинална маса атома мери се збиром протона и неутрона у њему. Овај број се назива масеним бројем. На номиналну масу атома не утиче број електрона, чија је маса изузетно мала. Отуда је номинална маса, заснована на масеном броју, приближна стварној атомској маси. Број протона у језгру, који одређује хемијска својства елемента, назива се атомски број. [2]

Језгра неких елемената нису стабилна. Ова језгра се називају радиоактивним, по томе што емитују енергију и честице, које се заједнички називају "радиоактивно зрачење". Сви елементи имају бар неке изотопе који су радиоактивни. Сви изотопи тешких елемената са масеним бројем већим од 206 и атомским бројем већим од 83 су радиоактивни. [2]

Многи хемијски елементи имају више изотопа. Изотопи неког елемента имају исти број протона у својим атомима (атомски број), али различите масе због различитог броја неутрона. У атому у неутралном стању, број спољашњих електрона такође је једнак атомском броју. Атомска маса је збир протона и неутрона. Постоји 82 стабилна елемента и око 275 стабилних изотопа ових елемената. [3]

Када се комбинација неутрона и протона, која већ не постоји у природи, произведе на вештачки начин, атом ће бити нестабилан и зове се радиоактивни изотоп или радионуклид. Постоји и одређени број нестабилних природних изотопа који настају распадом примордијалног уранијума и торијума. Укупно постоји око 1800 радионуклида. [3]

Тренутно се редовно користи до 200 радионуклида, а већина их мора бити произведена вештачки. Језгро радионуклида обично постаје стабилно испуштањем алфа и/или бета честица. Ове честице могу бити праћене емисијом енергије у облику електромагнетног зрачења познатог као гама зраци. Овај процес је познат као радиоактивни распад. [3]

2.2. ЈОНИЗУЈУЋЕ ЗРАЧЕЊЕ И РАДИОАКТИВНОСТ

Јонизирајуће зрачење и радиоактивни елементи су природно присутни у околини и непрекидно излажу све живе организме зрачењу. Зрачење је пренос енергије у облику електромагнетних таласа или честица. У научним дисциплинама које проучавају јонизирајуће зрачење и радиоактивност, користе се електронволте (eV) уместо џула као јединице мере за енергију. Изложеност зрачењу се назива озрачењем. [4]

Према енергији, зрачење се дели на нејонизирајуће и јонизирајуће. Нејонизирајуће зрачење обухвата сво електромагнетно зрачење са енергијом мањом од 12 eV: радио таласе, микроталасе, инфрацрвено зрачење, светлост и ултраљубичасто зрачење ниже енергије. Јонизирајуће зрачење укључује и електромагнетно и честично (копускуларно) зрачење које има довољно енергије да интерагује са честицама и створи јон-парове (јонизацију). Рендгенски и гама зраци (као и високоенергетско ултраљубичасто зрачење) спадају у групу електромагнетног јонизирајућег зрачења, док алфа, бета, неутронско и протонско зрачење припадају групи честичног јонизирајућег зрачења. [4]

2.2.1. Радиоактивност, радиоактивни распад и период полураспада

Радиоактивност је феномен у физици где атомско језгро спонтано пролази кроз трансформацију уз ослобађање јонизирајућег зрачења. Радиоактивни изотопи, познати као радионуклиди, су неки од хемијских елемената који су нестабилни и подложни радиоактивном распаду. Овај процес је спонтани механизам трансформације, где нестабилно атомско језгро прелази у енергетски стабилно или стабилније стање, праћено емитовањем честичног или електромагнетног зрачења. [4]

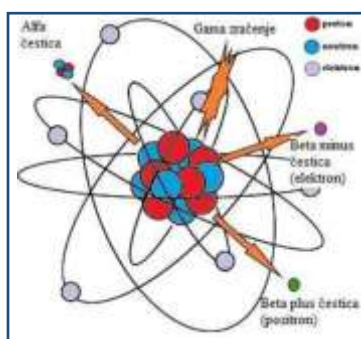
Период полураспада, односно физичко време полураспада ($T_{1/2}$), је још један начин описивања брзине распада неког радиоактивног елемента и мери се у временским јединицама (секундама, данима или годинама). Оно се дефинише као време потребно да се број нестабилних језгара смањи на половину почетне вредности. Период полураспада је обрнуто пропорционалан константи радиоактивног распада. На основу периода полураспада за радиоактивне елементе кажемо да су краткоживећи, средњеживећи и дугоживећи. Према томе, сматра се да се неки радиоактивни нуклид распада после десет периода полураспада, односно када од почетног броја језгара остане хиљадити део. [4]

Биолошко време полураспада ($B_{1/2}$) представља време за које се из организма, процесима секреције и екскреције, елиминише половина од укупно унетог броја радиоактивних елемената. Биолошко време полураспада зависи од врсте

радиоактивног нуклида и физиолошког стања организма и независно је од физичког времена полураспада. Ефективно време полураспада ($E_{1/2}$) је време које је потребно да се активност неког радиоактивног нуклида депонованог у организму сведе на половину комбинованим дејством биолошке елиминације и радиоактивног распада. [4]

2.2.2. Врсте радиоактивног распада

Нестабилна језгра путем радиоактивног распада прелазе у стабилнија или стабилна стања, при томе емитујући јонизујуће зрачење у облику честица или електромагнетних таласа. Основне врсте радиоактивног распада су алфа (α) и бета (β) распад, као и гама (γ) зрачење (слика 1.). [4]



Слика 1. Алфа, бета и гама зрачење [4]

Алфа распад је процес трансформације радиоактивног језгра у коме језгро емитује алфа честицу, која се састоји од два протона (p^+) и два неутрона (n). Емитована честица у основи представља језгро атома хелијума (${}^4_2\text{He}$). [4]

Радиоактивни елементи који емитују алфа честице називају се алфа емитери. У природи се могу наћи код елемената чији је редни број већи од 82, као што су полонијум (${}^{212}_{84}\text{Po}$), актинијум (${}^{227}_{90}\text{Ac}$), уранијум (${}^{238}_{92}\text{U}$) итд. [4]

Кључне карактеристике алфа честица су:

1. Велика енергија у опсегу од 1,5 MeV до 11 MeV,
2. Енергија алфа честице коју емитује неки радиоактивни елемент увек је константна,
3. Алфа честице се крећу спорије кроз ваздух (око 20 000 km/s), имају кратак домет и малу продорност,
4. Домет у ваздуху је од 3 cm до 10 cm; алфа честице не пролазе кроз лист папира, одећу или крзно животиња, а у ткивима је њихов домет од 25 μm до 80 μm ,
5. Велика специфична јонизациона моћ (30000-100000 јонских парова по центиметру пређеног пута). [4]

Радиоактивни елементи који подлажу алфа распаду не представљају ризик по жива бића када су ван организма. Опасност по здравље људи и животиња настаје када се алфа емитери унесу у организам путем удисања или ингестије. [4]

Бета распад је најчешћи начин дезинтеграције нестабилних атомских језгара код којих однос броја протона и неутрона није најповољнији. Постоје три типа бета распада: бета минус (β^-) распад, бета плус (β^+) распад и електронски захват. [4]

Бета минус распад (β^-) настаје када у радиоактивном језгру има вишак неутрона у односу на број протона, због чега долази до трансформације неутрона у протон. У овом распаду језгро емитује негативну бета (β^-) честицу, која је уствари електрон. [4]

Карактеристике β^- честица су:

1. Енергија емитованих честица (β^- и антинеутрино) није увек иста, може варирати од нула до максималне енергије,
2. Висока брзина кретања (око 280 000 km/s) и мала маса честица,
3. Домет у ваздуху је до 15 m, док у ткивима износи до 1 cm,
4. Специфична моћ јонизације је око 100 јона по сантиметру пређеног пута. [4]

Бета плус распад (β^+) се дешава код нестабилних језгара где постоји вишак протона у односу на број неутрона. У овом процесу, протон у језгру се трансформише у неутрон, емитујући β^+ честицу, која је слична електрону, али има позитивно наелектрисање. Приликом β^+ распада емитује се неутрино честица. [4]

Време живота позитрона (позитивне β^+ честице) је кратко, јер се брзо анихилира у процесу са анихилационим зрачењем. Док пролази кроз материју, позитрон губи кинетичку енергију у интеракцији са материјом и успорава. Када се практично заустави и налази у близини електрона, своје античестице, оба се анихилирају емитујући два фотона, сваки енергије од 511 keV, који се крећу у супротном смеру. [4]

Домет позитивне β^+ честице је ограничен: метал дебљине од 3 mm је довољан да је засутава, као и дрвени материјал дебљи од 6 mm, док у ткивима досеже до 1 cm дубине. Бета позитивни емитери су ретки у природи, али се користе у медицини за дијагностику малигних болести и метастаза. [4]

Трећи тип бета распада, *електронски захват*, дешава се у језгрима са већим бројем протона него негатурона. Стабилност језгра постиже се када протон захвати електрон из атомског омотача и трансформише се у неутрон, при чему се из језгра емитује само неутрино. [4]

Најчешће се захвата електрон из најближе К-љуске, па се често назива К-захват. Након електронског захвата, на орбитали остаје празно место, попуњено удаљеним електроном са вишег енергијског нивоа, а вишак енергије емитује се у

облику X-зрачења. Мерењем емитованог X-зрачења може се детектовати и овај тип бета распада. [4]

Гама распад представља спонтану трансформацију атомског језгра у којој се ослобађа електромагнетно зрачење. Обично до емисије гама зрачења долази после алфа или бета распада, када се ексцитирано језгро ослобађа вишка енергије и прелази у стабилније стање. Важно је нагласити да гама распад не доводи до промена у саставу атомског језгра (масени и редни бројеви остају непромењени), већ се из језгра емитују високоенергетски електромагнетни таласи (са високом фреквенцијом, односно кратким таласним дужинама). [4]

Гама зрачење је електромагнетно зрачење кратких таласних дужина, које носи високу енергију (од 10 keV до 3 MeV) и карактерише се изузетном продорношћу. Уобичајене мере заштите од гама зрачења обухватају коришћење олова дебљине од 5 до 10 cm или бетона дебљине од 30-60 cm. Специфична јонизација гама зрачења је веома ниска, износећи око 1 јон по центиметру пређеног пута. [4]

Неутронско зрачење подразумева сноп неутрона. Неутрони, као неутралне честице, лако проникну до језгра атома. Када се сударе са језгром, долази до емитовања других честица (као што су протони, алфа честице) или електромагнетног зрачења, што резултује секундарном јонизацијом. Степен јонизације зависи од средине кроз коју неутрони пролазе. Неутронско зрачење такође настаје у нуклеарним реакторима током ланчане фисије тежих језгара елемената. [4]

Протонско зрачење се састоји од снопа протона. Има широку примену у радијационој онкологији, где се протони (p+) убрзавају до терапеутских нивоа енергије од 70 MeV до 250 MeV у циклотронима и акцелераторима. Специфична стопа јонизације протонског зрачења износи око 10^4 јона по центиметру пређеног пута. [4]

2.2.3. Интеракција јонизујућег зрачења са материјом

Различити типови зрачења реагују са материјом на различите начине, што зависи од карактеристика самог зрачења, величине и масе честице, као и од својстава материје кроз коју пролази. Када зрачење пролази кроз материју, наелектрисане честице као што су алфа честице, електрони, позитрони, протони, лаки и тежи јони улазе у интеракцију са електронима и атомским језгрима, изазивајући директну јонизацију. Фотони електромагнетног зрачења (X и гама зраци), насупрот честичном зрачењу, изазивају индиректну јонизацију материје, прво реагујући са електронима и преносећи довољно енергије да електрон напусти атом, покрећући даљу јонизацију. [4]

Интеракција наелектрисаних честица (алфа и бета честица) и материје састоји се од низа судара у којима се енергија размењује. Када зрачење пренесе електрону енергију која није довољна да га потпуно избаци из атома, већ само да га пребаци на виши енергетски ниво, долази до појаве **ексцитације**. Након кратког временског

периода, атом се деексцитира, а вишак енергије емитује се као електромагнетно зрачење. [4]

Јонизација атома је процес одвајања електрона од атомског омотача, стварајући јонске парове: негативно наелектрисане електроне и позитивно наелектрисане атоме (јоне). Примарни електрони су они који су избачени из атома услед судара са наелектрисаним честицама и могу да даље изазову јонизацију. Секундарни електрони су они које су избацили примарни електрони. [4]

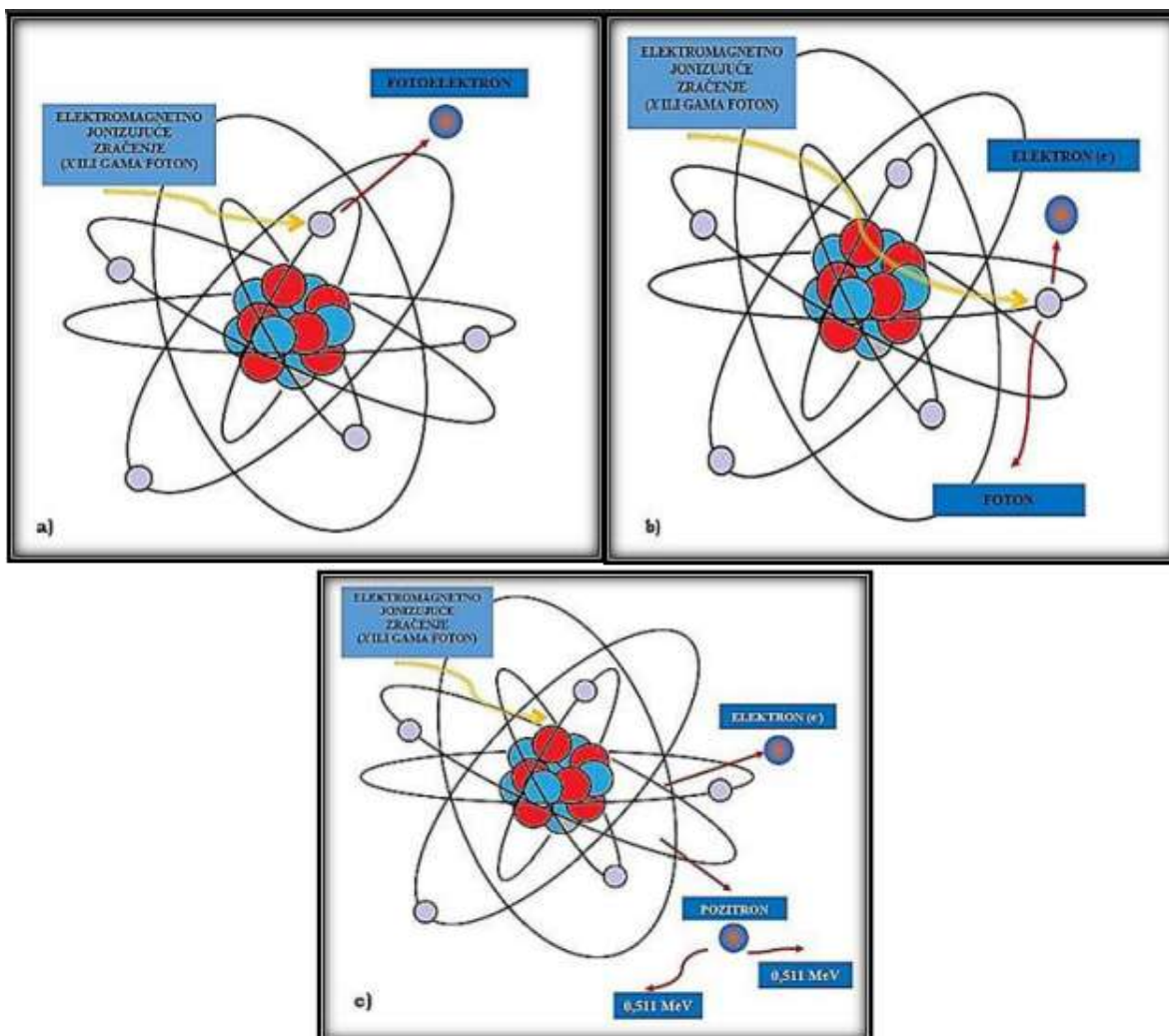
Неутрони, као неутралне честице, не изазивају директну јонизацију материје већ само реагују са атомским језгрима. [4]

Интеракција јонизујућег електромагнетног зрачења и материје одвија се кроз три основна процеса: фотоелектрични ефекат, Комптоново расејање и стварање парова (слика 2.). [4]

Фотоелектрични ефекат се дешава када фотон пренесе сву своју енергију електрону, потпуно га избацујући из атома. [4]

Комптоново расејање се јавља када је енергија упадног зрачења знатно већа од енергије везе електрона, па део енергије преноси електрону који напушта атом, док се фотон рефлектује. [4]

Стварање парова је процес у коме се високоенергетско електромагнетно зрачење трансформише у пар позитрона и електрона. [4]



Слика 2. фотоелектрични ефекат, Комптоново расејање и стварање парова [4]

2.3. ИЗВОРИ ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА

Јонизујућа зрачења и радиоактивни елементи присутни у окружењу могу бити природног или антропогеног порекла. Природни извори зрачења потичу од периода формирања планете, док су антропогени извори настали дејством људских активности. У окружењу се налазе различити природни и антропогени извори зрачења који могу утицати на жива бића:

1. природни радионуклиди у стенама, земљишту, води и храни,
2. космичко зрачење и космогени радионуклиди,
3. природно обогаћени радиоактивни материјал који се јавља као последица људских активности,

4. јонизујуће зрачење и радиоактивни елементи у биосфери услед нуклеарних тестирања, нуклеарних катастрофа, радиоактивног отпада и сличних извора,
5. извори зрачења који се користе у медицини, ветерини, пољопривреди и индустрији. [4]

Основни ниво зрачења у окружењу којем су изложена сва жива бића назива се "фон" (*background*). То је укупно јонизујуће зрачење које потиче из природних и неконтролисаних извора у окружењу. Доза зрачења коју примају људи и жива бића из природних извора не може се смањити људским деловањем. Насупрот томе, јонизујућа зрачења која настају људским активностима, као што су рентген апарати и СТ скенери, могу се контролисати рационалном употребом ових извора у медицини и ветерини. Према извештају Научног Комитета Уједињених Нација за ефекте атомског зрачења (UNSCEAR, 2008), просечна годишња еквивалентна доза зрачења коју становништво у свету прима из природних и антропогених извора зрачења износи око 3 mSv. [4]

2.3.1. Природна (примордијална) радиоактивност

Природни извори зрачења у животној средини укључују космичко зрачење, космогене радионуклиде и радиоактивне елементе присутне у земљишту (земљишни радионуклиди). Овај вид зрачења постојано излаже све живе организме на планети. Процењена годишња еквивалентна доза за глобално становништво из природних извора зрачења износи 2,42 mSv, при чему радиоактивни гас радон има највећи удео (50%). Ниво природне радиоактивности није исти свуда на Земљи. Постоје географске области где су измерене дозе зрачења и до 800 пута веће од просечних, као што су Араша у Бразилу, Керала и Мадрас у Индији, и Рамсар у Ирану. [4]

2.3.1.1. Космичко зрачење

Космичко зрачење има порекло са Сунца и из међузвезданог простора. То је широк спектар јонизујућег зрачења који укључује протоне, алфа честице, електроне и фотоне. Када космичко зрачење оствари контакт са горњим слојевима атмосфере, интерагује са атмосферском материјом и ствара секундарно космичко зрачење које допире до Земље. Због деловања атмосфере као заштитног омотача, количина примарног космичког зрачења које стиже на Земљу значајно се смањује. У горњим слојевима атмосфере, интеракцијом космичког зрачења са материјом, настају космогени радионуклиди као што су ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , $^{32,33}\text{P}$ (табела 1). [4]

Табела 1. Физичке карактеристике појединих космогених радионуклида [4]

Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)
^3H	12,3 година	^{32}P	14,3 дана
^7Be	53,3 година	^{33}P	25,3 дана
^{14}C	5730 година	^{22}Na	2,6 година

Космичко зрачење, познато по високој енергији и високој продорној моћи, губи на снази како пролази кроз Земљину атмосферу. Примарно зрачење може бити потпуно апсорбовано у атмосфери, док други део може допрети до површине Земље пре него што буде заустављен. Највећу продорност показује зрачење које слабо реагује с честицама атмосфере или Земљине површине; могуће је да продре и до неколико стотина метара у дубину Земљине коре пре него што буде потпуно апсорбовано. [4]

Интензитет космичког зрачења зависи од географске ширине, дужине, надморске висине, годишњег доба и метеоролошких услова. Разлике у географској ширини последица су утицаја Земљиног магнетног поља, с нижим вредностима у близини екватора и вишим вредностима на половима. Повећање надморске висине такође повећава интензитет зрачења због мање апсорпције у атмосфери. [4]

Космогени радионуклид ^{14}C је бета емитер са полураспадом од 5730 година. Овај изотоп оксидира у атмосфери до CO_2 , који биљке користе у фотосинтези, те на тај начин улази у ланац исхране. На основу ^{14}C могуће је датирати археолошке остатке јер се његова активност смањује према закону радиоактивног распада након смрти биљке или животиње. [4]

Трицијум ^3H је једини радиоактивни изотоп водоника, формиран у атмосфери и пренет на Земљу путем падавина, често присутан као последица нуклеарних тестова и рада нуклеарних електрана. Праћење ^3H у водама кључно је за откривање нуклеарних активности, као и за коришћење као маркера у биолошким и еколошким истраживањима. Раније се користио за производњу луминесцентних боја. [4]

Чињеница да је ова високо продорна радијација долази из свемира, а не са Земље, утврђена је балонским експериментима у којима су мерене јонизације на различитим висинама од нивоа мора до 9000m. Утврђено је да се стопа јонизујуће радијације смањивала на неких 700m, а затим је брзо растла са висином. Почетно смањење може се објаснити смањеном интензитетом гама зрака потеклих из саме земље, док је растућа компонента била узрокована космичким зрацима. Вероватан извор космичких зрака су готово бесконачан број звезда у универзуму. Доказ за то је повећана интензитет космичких зрака на Земљи након соларних експлозија. С обзиром да су дневне варијације врло мале, Сунце не претставља главни извор космичког флукса [5]

2.3.1.2. Терестријално зрачење

Терестријално зрачење настаје услед активности природних радиоактивних елемената који су присутни на Земљи од њеног настанка, а имају атомски број већи од 83 (бизмут). Ови елементи се могу поделити у две основне групе. [4]

Прву групу чине уранијум и торијум, који су родоначелници својих радиоактивних низова. Уранијумов низ (^{238}U) почиње са ^{238}U и завршава се стабилним ^{206}Pb . Актинијумов низ (^{235}U) почиње са ^{235}U и завршава се стабилним ^{207}Pb . Торијумов низ (^{232}Th) почиње са ^{232}Th и завршава се стабилним ^{208}Pb . [4]

Другу групу чине радиоактивни елементи који су такође присутни од формирања Земље. Најзначајнији међу њима су ^{40}K и ^{87}Rb , чији су периоди

полурапада $1,28 \cdot 10^9$ година за ^{40}K и $4,9 \cdot 10^{10}$ година за ^{87}Rb . Распад родоначелника радиоактивних низова доводи до настанка тридесетчетири различита радионуклида. Овом распаду следује емитовање алфа, бета и гама зрачења. Неки радиоактивни елементи емитују само алфа или бета зрачење, док други распади укључују и емисију гама зрачења. [4]

Терестријално зрачење од радиоактивних материјала у земљиној кори се налази у стенама, тлу и води и укључују калцијум 40, радон 224, радон 222, торијум 232, уранијум 235, уранијум 238 и угљеник 14. [6]

2.3.2. Вештачка (антропогена) радиоактивност

2.3.2.1. Медицинска употреба јонизујућег зрачења

Различити радионуклиди су откривени или развијени за терапеутске сврхе након прве употребе радијума почетком 1900-их година. Најчешће коришћени терапеутски радионуклиди данас су јод-131 обележен натријум јодидом ($^{131}\text{I-NaI}$) у капсуларном или течном облику. Ова терапија, широко позната као терапија радиоактивним јодом, користи се за лечење болести везаних за штитну жлезду. ^{131}I се такође користи више од 60 година у лечењу пацијената са диференцираним раком штитне жлезде. Друга велика примена радионуклидне терапије је у лечењу коштаних метастаза. У последњим деценијама развијено је неколико радиофармацеутских агенаса који су се показали као ефикасни у ублажавању бола у метастазама у костима. Радиофармацеутски агенс делује селективно на подручја захваћене кости, док штити делове кости које нису захваћене патолошким процесом. Већина коришћених радионуклида су β -емитери, као што су стронцијум-89 (^{89}Sr) и самаријум-153 (^{153}Sm), који ослобађају високо енергетске електроне који своју енергију депонују до неколико милиметара у околним ткивима. Терапија радионуклидима се такође користе за лечење разних малигнитета и то са ^{131}I , ^{90}Y и ^{188}Re , те полицитемије са ^{32}P . [7]

Најчешће коришћени радионуклиди за позитронску емисиону томографију (ПЕТ) су чисти позитронски емитери ^{18}F и ^{11}C , који се могу производити у медицинским циклотронским апаратима. Такође, ^{68}Ga и ^{111}In се широко користе за (ПЕТ) и томографију са једним фотоном (СПЕКТ). ^{177}Lu и ^{225}Ac се користе за β и α -радионуклидну терапију. [8]

Самаријум-153 је погодан као извор за Месбауерову спектроскопију, високо осетљиву технику за карактеризацију хемијског стања и хемијског окружења самаријума везаног у чврстим супстанцама или у замрзнутим узорцима ван живог организма. Актинијум-225 је један од најобећавајућих нових радиоизотопа у борби против рака. ^{225}Ac се користи у предклиничким студијама већ више од 25 година. [8]

2.3.2.2. Нуклеарне пробе и коришћење нуклеарног оружја

Почетак атомске ере означио је почетак тестирања нуклеарних оружја, што је за последицу имало радиоактивну контаминацију великог броја локација широм света. Између 1945. и 1963. године, Сједињене Америчке Државе (САД) и СССР спровели су велики број нуклеарних тестова у атмосфери, а најрепрезентативнији примери су прва нуклеарна експлозија хидрогенске бомбе коју су 1954. године спровеле САД на Маршалским острвима, на атолу Бикини; и 1961. године, СССР у архипелагу Новаја Земља, северно од Уралских планина. Озбиљна оштећења животне средине изазвана овим нуклеарним тестовима, најмоћнијим икада спроведеним у атмосфери, као и општи контекст глобалних нуклеарних тестова, створили су предуслове за први пример међународне сарадње на великом скали за елиминацију нуклеарних тестова. [9]

2.3.2.3. Несреће на нуклеарним постројењима

Широка примена нуклеарне енергије у мирнодропске сврхе значајно је повећало ниво активности у животној средини иако су ове активности увек праћене одговарајућим мерама заштите[33]. Посебно су значајне нуклеарне електране у којој се одвија контролисана фисија уранијумових и плутонијумових језгара. Нуклеарне електране саме по себи и уз строго поштовање прописаних мера и правила, не доводе до радиоактивне контаминације околине, али појава инцидента и акцидента на нуклеарним постројењима представљају и те како велику опасност од нове акутне радиоактивне контаминације [5]. Под инцидентом подразумева се догађај мањег значаја, по правилу краткотрајан, који нарушава одређени режим рада, правила рада или функционисања дела инсталација, који нису битни за функционисање читавог система. Последице инцидента су увек локалне природе, често занемарљиве у односу на околину. Под нуклеарним акцидентом подразумева се читав спектар догађаја на нуклеарним постројењима, који у зависности од тежине у мањем или већем степену угрожавају функционисање нуклеарног постројења. Последице нуклеарних акцидента, у односу на контаминацију, могу да се одразе како на сам објекат, тако и на ближу и даљу околину, па чак да поприме димензије катастрофе. [4] [35]

Међународна агенција за атомску енергију (IAEA) развила је Интернационалну скалу нуклеарних догађаја (INES скала) ради класификације нуклеарних акцидента у седам безбедносних категорија. Нивои од 0 до 4 сматрају се инцидентима, док се нивои од 5 до 7 сматрају озбиљним акцидентима, при чему долази до тешких оштећења језгра реактора и нарушавања радиолошких баријера.

Акциденти у Чернобиљу, данашњој Украјини, 1986. године, и у Фукушими, Јапану, 2011. године, оцењени су са 7 на INES скали [35]. Ти акциденти довели су до знатне радиоактивне контаминације атмосфере и географских вода фисионим радионуклидима као што су ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{90}Sr . [4] [11][12][14].

Нуклеарни експерименти довели су до складиштења радиоактивног отпада у неким областима на Земљи али и до испуштања загађења из нуклеарних центара где

су се догодиле несреће (на пример, несрећа у Чернобиљу – Совјетски Савез и на нуклеарној станици Фукушима Даичи – Јапан). Радиоактивно загађење представља велику опасност за живот људи и животиња. Најопаснији дугоживећи радиоактивни изотопи су они који се емитују из нуклеарних реактора: могу остати активни дуг низ година. [5]

2.3.2.4. Индустриска примена јонизујућег зрачења и радиоизотопа

Производња радиоактивних изотопа за употребу у медицини, истраживању и индустрији постала је важан споредни производ рада реактора и честицаних акцелератора током последњих 40 година. Уопштено, ови елементи, познати као радиоизотопи, могу се користити у широком спектру примена, у зависности од њихових хемијских и физичких својстава. Укупне количине различитих радиоактивних изотопа произведених сваке године, део сваког изотопа који се распада, део који остаје у употреби и количине које одлазе на депоније су тешке за процену. [10]

2.3.2.5. Одлагање радиоактивног отпада у животну средину

Постоји неколико врста радиоактивних отпада, класификованих према њиховим физичким и хемијским својствима, као и према извору из ког потичу. Међу физичким својствима која утичу на начин на који треба управљати радиоактивним отпадом су полуживот нуклида и хемијски облик у коме постоји. Класификација радиоактивног отпада је следећа:

1. Отпад са ниским нивоом радиоактивности који се састоји од остатака из лабораторијских истраживања: благо контаминирани папир и други лабораторијски отпад, биолошки материјали, метални отпад и грађевински материјали.
2. Отпад високог нивоа, који се може сматрати у три подкатегорије: (а) коришћено гориво из цивилних нуклеарних реактора, (б) течни и чврсти остаци из прераде коришћеног цивилног горива, и (ц) течни и чврсти отпад из прераде горива коришћеног у војне сврхе.
3. Трансуранични отпад, који је углавном алфа-емитујући отпад из војне производње. [10]

2.4. РАДИОАКТИВНА КОНТАМИНАЦИЈА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ПРОИЗВЕДЕНИМ РАДИОАКТИВНИМ ЕЛЕМЕНТИМА

Радиоактивна контаминација животне средине произведеним радиоактивним елементима настаје:

- a) случајним испуштањем радиоактивних ефлуената из нуклеарних електрана,
- b) хаваријама на нуклеарним постројењима,
- c) испуштањем отпада из истраживачких лабораторија и болница,
- d) неадекватним одлагањем нуклеарног отпада,
- e) тестирањем нуклеарног оружја.

Претходно наведеним ставкама радиоактивни елементи продиру у животну средину, путем ваздуха, земљишта и воде. Њиховом миграцијом кроз поменуте медијуме радиоактивни елементи доводе до додатног озрачавања живих бића јонизујућим зрачењем. [4]

2.4.1. Радиоактивна контаминација атмосфере

Главни извори загађења атмосфере радиоактивним елементима су тестирања нуклеарног оружја и несреће на нуклеарним постројењима. Нуклеарно оружје може бити функционисати на основу фисије (атомска бомба) и фузије (хидрогенска бомба). Фисијске бомбе користе уранијум или плутонијум за ослобађање нуклеарне енергије кроз фисију језгара, док фузијске бомбе користе атомске бомбе као иницијаторе за фузију водоника. [4]

Несреће у нуклеарним електранама, као што су Чернобил 1986. у Украјини и Фукушима 2011. у Јапану, резултирале су ослобађањем фисијских производа и делова нуклеарног горива у атмосферу. Фисија уранијума и плутонијума производи преко 300 различитих радиоактивних елемената (фисијских производа). Већина ових елемената има кратко време полураспада (секунде, минути, сати), што значи да брзо нестају из животне средине и представљају опасност пре свега локалног карактера. У дугоживеће радионуклиде, који имају посебан значај за живе организме, те се називају и биолошки значајним радионуклидима, убрајају се ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{89}Sr и ^{90}Sr . [3]

Нуклеарне експлозије у атмосфери или нуклеарни акциденти великог интензитета изазивају формирање ватрене кугле и атомског облака. У облаку се налазе фисиони производи у виду гасова и аеросола. Снага експлозије утиче на висину коју облак достиже у атмосфери, при чему јаче експлозије могу допрети до стратосфере. Радиоактивни материјал који се емитује у атмосферу таложи се на земљи у облику радиоактивних падавина:

1. мокром депозицијом (кроз кишу, снег, маглу) и
2. сувом депозицијом (таложењем честица под утицајем гравитације). [4]

Радиоактивне падавине могу бити непосредне, локалне, тропосферске и стратосферске. Непосредне радиоактивне падавине се јављају одмах након експлозије када крупни делови материјала падну на земљу у близини епицентра. Локалне радиоактивне падавине настају у периоду од 10 до 20 сати након експлозије и састоје се од великих честица које падају из облака, образујући мање области високе контаминације. [4]

Мање честице које се налазе у тропосфери у наредне 2 до 3 недеље постепено падају на земљу и називају се тропосферске радиоактивне падавине. Оне се шире око земље у зависности од смера ветра. Стратосферске радиоактивне падавине чине веома фине честице које допру до стратосфере. Радиоактивни елементи који се налазе у радиоактивним падавинама почињу свој процес миграције кроз ланац исхране, што може резултирати озрачивањем и контаминацијом свих живих бића на погођеном подручју. [4]

У истраживању из 2022. године, одрађена је симулација нуклеарне катастрофе у 4 нуклеарне електране у Украјини. Применом HYSPLIT методе (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory*), која представља један од најшире коришћених атмосферских модела за транспорт и дисперзију на земљи од стране заједнице атмосферских наука, утврђено је да се у прва 3 дана након хаварије акутни синдром зрачења може јавити у радијусу од 30 km² око сваког експлозивног постројења, са најчешћим смртним случајем углавном због озбиљних повреда коже и оштећења коштане сржи. Људи који преживе акутни радијациони синдром могу патити од катаракте, повреда коже, респираторних болести као што су емфизем и бронхитис. Касни здравствени ефекти углавном настају због развоја малигних лезија. Белорусија, Украјина и четири најконтаминираније регије Русије (Брјанск, Калуга, Орел, Тула) пријавиле су значајан пораст учесталости карцинома штитне жлезде, нарочито код особа које су биле млађе од 18 година у време нуклеарне несреће у Чернобилу. [11]

2.4.2. Радиоактивна контаминација географских вода

Радиоактивно загађене воде су природне површинске или подземне воде које садрже радиоизотопе у концентрацијама које превазилазе дозвољене норме за воду која је предвиђена за пиће, поред њиховог уобичајеног хемијског састава. Загађење радиоактивним материјама настаје таложењем радиоактивних падавина, испуштањем радиоактивних ефлуената који настају у процесу производње и употребе нуклеарне енергије, или испуштањем индустријских, лабораторијских или медицинских отпадних вода. При уобичајеном раду, радиоактивни ефлуенти и отпадне воде се сабирају, контролишу, обрађују и уништавају како би се спречило загађење животне средине. [4]

Степен загађења водених ресурса зависи од различитих фактора као што су удаљеност од извора загађења, тип водотока (течни или стајаћи водотокови), брзина протока воде и топографске особине земљишта кроз које вода протиче. Радионуклиди који доспеју у површинске воде постепено се таложе на дну, тако да

садржај радионуклида у воденим седиментима може значајно превазилазити њихову концентрацију у самој води. Филтрација воде и исхрана представљају основне путеве контаминације водених организама. Концентрација радионуклида у рибама и другим воденим животињама зависи од њихове врсте и начина исхране. Рибе углавном апсорбују радионуклиде преко хране, мада може бити апсорбована и мала количина директно из воде. [4]

Након 10 година од несреће 11. марта 2011. године на нуклеарној електрани Фукушима Даичи у Јапану, влада Јапана је 13. априла 2021. године одобрила план о испуштању више од једног милиона тона контаминиране воде из оштећене нуклеарне електране у Тихи океан у периоду од 30 година. Радиоактивни изотопи из Фукушима могу бити пренесени крупним и високо миграторним морским животињама, као што су пацифичка туна плавоперка (слика 3.), до удаљених региона као што су Јужни и Северни Пацфик. [12]



Слика 3. Пацифичка туна плавоперка [13]

Уопштено гледано концентрација озрачених морских риба у префектури Фукушима опала је релативно споро, при чему време полураспада диктира дужину периода контаминације, што значи да ће радиоактивни изотопи са дужим периодом полураспада постојати у екосистему дуже времена. Концентрације радиоактивних изотопа у организмима се разликују између различитих дубина настајавања мора, при чему је највиша радиоактивност у организмима који живе на дну и најнижа у организмима који живе у површинским слојевима. [12]

Нуклеарни отпад из Фукушима потиче из воде којом су се хладила језгра након несреће, као и из подземних вода и кишнице које су се сливале у реактор. Ова вода, којом се хлади реактор, је била у директном контакту са отопљеним језгром реактора. Цурење из система за хлађење и подземне воде које су улазиле у подруме оштећених реактора и турбинских зграда увеле су радиоактивни материјал у Тихи океан. Моделске симулације су показале да је ^{137}Cs ослобођен 2011. године стигао до обалних вода Северне Америке у периоду од 5-6 година под утицајем природног тока и океанских струја. [12]

У истаживању радиоактивне контаминације комплекса вода за хлађење Чернобилске нуклеарне електране након катастрофе утврђено је да је расподела радионуклида у седименту површинских вода била окарактерисана израженом неравномерношћу. Веома високе концентрације радионуклида регистроване су у муљу који је чинио 27% дна резервоара. Радионуклиди који су допринели укупној активности дна седимената су следећи: ^{95}Zr и ^{95}Nb , 54-70%; ^{144}Ce , 7-20%; ^{106}Ru , 4%;

^{137}Cs , 2-5%; ^{134}Cs 1-2%. Концентрација ^{90}Sr у дну седимената 1986. године била је око 35%. У 1987-1988. укупна активност у дну седимената опала је као резултат радиоактивног распада. Допринос дуговечног ^{137}Cs у укупној активности износио је 20-60% у 1988. години. Код већине врста риба, радиоизотопи цезијума су се појављивали у мишићном ткиву. За 'предаторске' врсте (шаран, смуђ, пастрмка) максимални нивои радијуцезијума су забележени 1987-1988. године. Треба напоменути да је максимални ниво контаминације ^{137}Cs код предаторских врста био 3-10 пута већи од оног код непредаторских врста. [14]

2.4.3. Радиоактивна контаминација биљака

Биљке као основна карика ланца исхране представљају најважнији пут којим се радионуклиди доспели у животну средину преносе до животиња и људи. Радиоактивна контаминација биљака може настати директно и индиректно. Директна контаминација је последица таложења радиоактивних падавина, било сувом или влажном депозицијом, на надземне делове биљака. Индиректна контаминација је последица ресорпције радионуклида из земљишта путем кореновог система. [4]

Директна, површинска контаминација биљака доводи до фолијарне или флоралне ресорпције радионуклида и временом се смањује због утицаја ветрова и киша који уклањају радионуклиде са површине биљака. Степен ресорпције радионуклида путем листа зависи од развојне фазе биљке у тренутку депозиције радионуклида, односно годишњег доба и присуства и величине листа. Ресорпција преко цвета је мала, може се рећи и да је занемарљива. Непосредно после нуклеарног акцидента и појаве радиоактивних падавина директна контаминација је главни пут доспевања радионуклида у биљке. У каснијем периоду ресорпција преко корена представља најзначајнији пут контаминације биљака. [4]

У хранљивим производима биљног порекла – парадајз, паприка, краставци, кромпир, шаргарепа, купус, пасуљ, јабуке, крушке, лубенице, гљиве и др. – откривени су нижи нивои радиоактивне контаминације. Највиши нивои контаминације у истраживаним биљкама утврђени су код листнатих поврћа – салате, зелене салате, зеленог лука, першуна. Висок ниво радиоактивне контаминације утврђен је код луцерке и других трава, што је довело до забране храњења стоке зеленим крмом са прве косидбе. У измереној активности код житарица значајан удео је имао радиоцезијум. Радиоактивна контаминација биљака и биљних производа је углавном повезана са ваздушним путем уноса радионуклида и њиховим преласком на тло и биљне органе, као и даљим преносом у ланцу - у храну за животиње и људе. [15]

2.4.4. Радиоактивна контаминација животиња и људи

Радиоактивна контаминација подразумева присуство радионуклида на површини тела или у организму животиња и људи, која може бити спољашња (екстерно) или унутрашња (интерно) . Спољашња радиоконтаминација настаје када

се радиоактивне падавине (прашина и водени талози) таложу на површини тела. Код животиња, најчешће су контаминирани горњи делови тела, али постоји могућност контаминације и бочних страна тела и екстремитета, нарочито када падају киша, снег или дува ветар, или ако животиње прелазе преко контаминираних површина. [4]

Унутрашња радиоконтаминација јавља се на три начина: инхалацијом (15%), ингестијом (80%) и транскутано (5%). Инхалација радиоактивних материја је значајна током периода таложења радиоактивних падавина, када се гасовити радионуклиди, аеросоли и честице прашине уносе у организам из ваздуха. Гасовити радиоизотопи још се лако ресорбују у плућима, док племенити гасови нису значајан извор контаминације због њихове ограничене растворљивости. Степен ресорпције зависи од физичко-хемијских карактеристика и величине честица које се уносе. [4]

Ингестија представља најзначајнији пут контаминације домаћих животиња, при чему радиоактивно контаминирана храна и вода доспевају у организам. Ово може бити последица исхране биљкама површински контаминираним или биљкама које су структурно контаминирани путем корена и земље. [4]

Транскутана ресорпција, уношење радионуклида преко коже, има мањи значај код животиња због присуства длачког покривача. Трицијум је једини радионуклид који се добро ресорбује преко коже у облику трицијумске воде, а степен контаминације зависи од нивоа контаминације, врсте радионуклида и стања коже. [4]

Радионуклиди унети инхалацијом, ингестијом или транскутано могу довести до озрачивања ткива и органа, што може узроковати поремећаје њихове функције при већим дозама зрачења. [4]

У истраживању из 2020. године извршен је експеримент где су се две групе говеда напасале на ``контаминираним`` пашњацима. Модел радиоактивних честица (MRP) симулирао је сферичну форму природног пада радиоактивног материјала након нуклеарне експлозије, укључујући њихову специфичну густину и дистрибуцију различитих величина. Честице које су коришћене у овом истраживању су биле у облику отопљених стаклених сфера мешовитог састава, са кварцом као доминантним саставним делом (60%). Депонување честица на пашњачку вегетацију извршено је у четири пролаза помоћу прскалице „Уријук“. Честице су нанесене на две површине од 200 m². Испитивања су вршена на говедима расе холштајн. У претходно напоменутом два експеримента утврђен је унос радиоактивних честица у гастроинтестинални тракт крава. [16]

У првом експерименту, пет јуница старости 2,5 година и тежине 475–595 kg пасло је 1 сат у ограђеним подручјима од 160 m² од 8 сати ујутру, где је свака паша започета 1 сат након nanoшења честица. У другом експерименту, пет бикова старих 1,5 године тежине од 344 до 420 kg пасло је 1 сат и то 18 сати након nanoшења честица. [16]

Циљеви првог експеримента укључивали су проучавање уноса полидисперзних честица у тело јуница током испаше на контаминираној паши и образац проласка честица у гастроинтестинални тракт. Други експеримент је проценио пренос честица са паше у ГИТ бикова, укључујући динамику излучивања честица са изметом. [16]

Резултати дотичног истраживања су показали да понашање радиоактивних силикатних честица у храни крава значајно зависи од величине честица.. Релативна количина честица фракције 400–800 μm у гастроинтестиналном тракту била је 3 пута нижа него њена концентрација на пашњаку након њеног наношења, а честице фракције мање од 100 μm биле су 3,5 пута више. Унос честица у организам животиња током паше био је око 10 пута мањи за честице величине 400–800 μm у поређењу са честицама величине <100 μm . При величини честица од ~20–25 μm или мање, параметри преноса радионуклида у ГИТ-у преживара одговарали су параметрима лако растворљивих фино дисперзних аеросола. Добијени подаци пружају могуће објашњење учесталости појаве радијацијских-улцеративних оштећења узрокованих радиоактивним честицама на слuzокожи ГИТ-а крава. [16]

Радиоактивна и биохемијска истраживања показују да након великих хаварија реактора и нуклеарних експлозија пашњаци и вегетација могу бити контаминирани радиоактивним јодом-131. Од свих производа највећу вредност контаминације овог радиоизотопа бележи млеко те се у случају утврђивања контаминације оно не сме конзумирати. У таквим случајевима, музне животиње морају одмах бити уклоњене са пашњака и храњене само храном из складишта (заштићеног простора). У најчешћим случајевима, млеко је највише погођен производ радиоактивном контаминацијом. Од свих врста меса, највише радиоактивне контаминације има овчије месо. [15]

2.4.5. Радиоактивна контаминација у ланцу исхране

Када радионуклиди стигну на земљу, органски и минерални састав тла утиче на њихову расподелу и прелазак у ланац исхране. На пример, од биљака узгајаних на тлу са високим садржајем органских материја и ниским садржајем глине се очекује да ће имати високи унос радиоцезијума дуги низ година. Тла са глином имају већи капацитет за везивање цезијума, те се радиоцезијум не рециклише кроз биљке тако брзо. Након Чернобиља, широке лиснате биљке као што је спанаћ имале су високе нивое јода-131 у Белгији; ово одражава чињеницу да 10-40% радиоактивног јода депонованог на листовима биљака може бити директно апсорбовано. С друге стране, веома ниски нивои радиоцезијума пронађени су у спанаћу у Шведској, што одражава, поред типа радионуклида, разлике у стадијуму раста и врстама тла. [17]

Јелени и карибуи, су посебно подложни контаминацији због њихове дијете богате лишајевима, тако да су у Норвешкој и Шведској, нивои контаминације скочили са 200-300 Bq/kg пре Чернобиљске катастрофе на, у неким случајевима, преко 60 kBq/kg. [17]

Овце и козе имају тенденцију да се хране ближе тлу него говеда или коњи. Биолошки полуживот радиоцезијума у говеду је око пет недеља, а у овцама око две недеље, али неке овце у Кумбрији, УК, су још увек показивале нивое веће од 1000 Bq/kg у децембру 1988. године, скоро три године након Чернобиља. Ово мора одражавати, дакле, упорну еколошку изложеност. Комерцијалне свиње и живина обично се хране припремљеним и/или увезеном храном, и држе се у затвореном простору, па су стога више заштићене. Млеко од говеда која су држана у затвореном

и храњена складиштеном храном је мање вероватно да ће бити контаминирано него оно које је на паши. [17]

Након Чернобилја, млеко од овца и коза било је више контаминирано од крављег млека, што, као у случају меса јелена и карибуа, представља посебне проблеме за контролу јер се млеко од малих преживара обично дистрибуира далеко од места порекла. Када се млеко одваја, радионуклиди се више концентришу у сиру него у сурутци. У сиру, током тромесечног периода, јод-131 ће имати тенденцију да нестане, док ће цезијум-137 (и стронцијум-90, ако је присутан) имати тенденцију да се концентрише — што је углавном функција њихових различитих физичких полуживота и губитка течности током времена. [17]

Конечно, контаминација рибе радионуклидима зависи од типа и квалитета воде, навика храњења и брзине раста рибе. У Шведској, слатководне рибе биле су више контаминираније него морске рибе. Ово се делимично може приписати ефекту разређивања океана, али и концентрацији калијума у морској води, која је око 100 пута већа него у слаткој води. Рибе са споријим брзинама раста у северним, језерима сиромашним хранљивим материјама су биле најосетљивије.[17]

2.5. РАДИЈАЦИОНО-ХИГИЈЕНСКА КОНТРОЛА

2.5.1. Радијационо-хигијенска контрола млека и млечних производа

Током нуклеарних несрећа или експлозија, стотине радиоактивних изотопа могу бити испуштени у атмосферу. Највећи број ослобођених радионуклида се депонује релативно близу реактора због немогућности дужег задржавања у облику аеросола. Међутим, мала група међу овим вештачким радионуклидима се може пренети на велике удаљености и контаминирати храну након њихове депозиције на земљи. Због својих специфичних физичко-хемијских својстава и сличности са органски важним елементима, радиоактивни изотопи цезијума, стронцијума и јода могу значајно контаминирати систем производње млека. За разлику од радиојода, који има полураспад од 8 дана и престаје да буде претња после 7-8 недеља, радиоцезијум и радиостронцијум могу контаминирати животну средину, а самим тим и млеко и млечне производе, деценијама, што их чини радионуклидима од великог значаја. [18]

Контаминација вегетације, која је главни извор исхране преживара, може бити површинска - на површини биљака кроз интерцепцију радионуклида, или структурна - усвајање коренским системом биљке. Пут интерцепције преовлађује током депозиције радионуклида из ваздуха и лако се може ублажити - киша или прање ефикасно уклањају све радионуклиде. Усвајање коренским системом је сложеније, јер радионуклиди улазе у структуру биљке. За овај пут, они морају бити биодоступни, што подразумева присуство хемијских облика радионуклида у тлу доступних за исхрану биљака. [18]

Радиоцезијум (^{134}Cs , ^{137}Cs). Због својих физичких и хемијских својстава, као и сличности са есенцијалним елементом калијумом, радиоцезијум је веома покретан у еколошким и биолошким системима. Поред бројних фактора који утичу на његову мобилност и биодоступност, миграција радиоцезијума у ланцу исхране јако зависи од концентрација калијума у компонентама екосистема. Због биодоступности радиоцезијума, концентрације његових изотопа обично достижу високе нивое у биљкама. Рудиоцезијум који се уноси на пашњаку током паше преживара, као и радиоцезијум из фолијарне контаминације, имају значајно нижу био доступност у поређењу с онима који су укључени у структуру биљке путем усвајања коренским системом. Тип тла такође утиче на биодоступност радиоцезијума и, сходно томе, на његов пренос у млеко. Биолошки полураспад радиоцезијума у млеку је 1–2 дана. Дугорочна контаминација млека након контаминације вегетације дели се на две фазе: прва фаза траје 4–6 година са еколошким полураспадом у опсегу од 0,8 до 1,2 године, а друга фаза након првог периода има променљив еколошки полураспад, зависно од типа тла. [18]

Радиостронцијум (^{89}Cs , ^{90}Cs). Радиостронцијум је општи термин за два вештачка радиоактивна изотопа (^{89}Sr и ^{90}Sr) који настају у процесима фисије. Хемијска и метаболичка сличност са калцијумом је основна карактеристика радиостронцијума која објашњава његово понашање у биолошким системима. Након уласка у организам животиње, радиостронцијум следи расподелу калцијума и стога се може наћи у костима, зубима, млеку и касније, у млечним производима. [18]

Предходне студије су извештавале о негативној корелацији између уноса калцијума и апсорпције калцијума и стронцијума. То подразумева да потенцијални недостатак калцијума у исхрани, узрокован недовољним уносом или повећаним потребама за калцијумом (трудноћа и висока лактација), често доводи до повећане апсорпције радиостронцијума. Биолошки полураспад ^{90}Sr у млеку је 1-2 дана после једнократне примене радионуклида. Кратак биолошки полураспад је важан за брзо смањење контаминације млека и млечних производа радиостронцијумом након спровођења радиозащитних мера (изолација, чиста исхрана итд.). [18]

Радиојод (^{131}I). Радиојод има бројне радиоактивне изotope, а ^{131}I је најзначајнији у контексту еколошке контаминације. Може се ослободити у великим количинама у случају нуклеарних акцидената и значајно контаминирати храну и животну средину у данима одмах после несреће. Полураспад радиојода је 8 дана, а његова концентрација у животној средини брзо опада у данима након акцидента. Због већих потреба за јодом код млађих категорија животиња и људи, ове групе су посебно подложне уносу радијода инхалацијом или конзумацијом контаминираног млека и млечних производа. [18]

Због брзе и потпуне апсорпције високо контаминиране траве, концентрација радиојода у штитној жлезди и млеку почиње после 30 минута и достиже максимум после 6-12 сати. Студије о полураспаду радиојода у млеку преживара извештавају о вредностима у опсегу од 1-2 дана после изолације животиња и храњења неконтаминираном храном. [18]

2.5.2. Радијационо-хигијенска контрола меса и производа од меса

Цезијум је алкални метал и углавном следи исту путању преноса као калијум у живим организмима. Стога, цезијум се углавном акумулира у меком ткиву, као што је мишићно ткиво. У исто време, метаболизам цезијума у телу животиња је релативно брз, а већ апсорбовани цезијум ће постепено бити излучен фекалијама и урином. При сталном уносу, животиња ће на крају достићи равнотежу (код ирваса ће то трајати неколико месеци). Ако унос престане, оптерећење радиоактивним цезијумом у већ контаминираној животињи ће се смањити. Брзина опадања зависи од врсте животиње и индивидуалне метаболичке брзине. Експерименти су показали да је биолошки полураспад цезијума око три недеље код ирваса. Ово подразумева да нема уноса и не треба га мешати с много дужим годишњим опадањем код животиња, што зависи од постепеног смањења радиоактивног цезијума у укупној исхрани животиње. [19]

Радиоактивни материјали ће на крају нестати из животне средине услед радиоактивног распада, где ^{134}Cs има кратак полураспад од 2 године. Међутим, код ^{137}Cs , смањење концентрације у биљкама и животињама узроковано је миграцијом у околини, што постепено чини супстанцу мање доступном. Биљке ће бити поједене или ће увенути, док ће радиоактивна супстанца ући у организам и евентуално бити избачена. [19]

Након нуклеарног акцидента у Чернобиљу, убрзо су забележене високе концентрације активности ^{137}Cs и ^{134}Cs у мишићној маси преживара, што је довело до интензивног праћења меса од говеда, коза, оваца, ирваса, дивљачи и рибе. Подаци о преносу радиоцезијума на различите животиње прикупљени су из многих земаља после Чернобиља; много више података је доступно за месо говеда него за било коју другу пољопривредну животињу. Пренос радиоцезијума на месо је већи него на млеко. [20]

2.5.3. Радијационо-хигијенска контрола хране за животиње

Контаминација вегетације, која је главни извор исхране преживара, може бити површинска - на површини биљака кроз интерцепцију радионуклида, или структурна - усвајање коренским системом биљке. Пут интерцепције преовлађује током депозиције радионуклида из ваздуха и лако се може ублажити - киша или прање ефикасно уклањају све радионуклиде. Усвајање коренским системом је сложеније, јер радионуклиди улазе у структуру биљке. За овај пут, они морају бити биодоступни, што подразумева присуство хемијских облика радионуклида у тлу доступних за исхрану биљака. [19]

Значај преноса радионуклида из тла на биљке за краткоживеће изотопе радиојода, посебно ^{131}I , генерално се сматра занемарљивим због кратког физичког полураспада изотопа јода који су релевантни за унутрашњу дозу код људи. Након нуклеарних акцидентата који су се десили у скоријој историји, интерцепција краткоживећег ^{131}I од стране биљака у ванредној и транзиционој фази је важна, али у дужем року, акумулација јода у биљкама је релевантна само за ^{129}I . Током године

која је уследила након акцидента у Чернобиљу, концентрација активности ^{137}Cs у биљкама опала је од 3 до 100 пута, јер је усвајање кореном из различитих типова тла постало доминантни пут контаминације. Акумулација радиоцезијума у биљним културама и на пашњацима повезана је с текстуром тла. На песковитом тлу, усвајање радиоцезијума од стране биљака је приближно два пута веће него на иловастом тлу, углавном због нижих концентрација калијума у песку. [20]

Стронцијум је један од најбиолошки покретних елемената. Биљне културе усвајају око 0,2% до 3% стронцијума из тла. Усвајање ^{90}Sr из тла у биљке је под утицајем присуства стабилног стронцијума и стабилног калцијума. Усвајање стронцијума од стране биљака је генерално највише из тла с ниским садржајем калцијума и у многим случајевима, с високим садржајем органских материја. [20]

2.6. ЗАДАЦИ ВЕТЕРИНАРСКЕ СЛУЖБЕ У СЛУЧАЈУ РАДИОАКТИВНЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ

Ветеринарска струка представља једну од кључних компоненти у одржавању безбедне снабдевености храном; ова улога може посебно долази до изражаја у кризним ситуацијама, посебно у нуклеарној кризи. Број професија у чијем је опсегу знања осигурање безбедног снабдевености храном у нуклеарној кризи није велик, тако да ветеринарска струка вишеструко добија на важности у оваквом следу догађаја. Радно знање о радионуклидима и њиховом понашању у систему хране, као и способност идентификације хране и потрошача високог ризика у ситуацији кризе, треба да буде део образовања свих ветеринара. [17]

Информације о присуству радионуклида у ланцу исхране углавном су описне природе. Ове информације су акумулиране из експерименталних студија, теренских истраживања у околини рудника уранијума и нуклеарних електрана, као и из истраживања хране спроведених 1950-их и 1960-их година као одговор на забринутост због падавина из атмосферског тестирања нуклеарних оружја. Неки од ових, као што су уранијум, торијум и актинијум, од којих сваки завршава у различитом стабилном изотопу олова, присутни су од времена када је Земља настала. Други, као што су угљеник-14 и берилијум-10, континуирано се формирају реакцијама између космичког и соларног зрачења и стабилних језгара. Неке људске популације, у деловима Француске, Индије, Бразила и широм севера, историјски су биле изложене већим нивоима природног зрачења него друге. Ови природни радионуклиди, који су хетерогено присутни у земљиној кори, од тада су се придружили радионуклидима произведеним током атмосферских тестова оружја, стварајући оно што се зове "позадинско зрачење". [17]

Да би се могло причати о ветеринарској интервенцији у случају радиоактивне контаминације првенствено је неходно разумети у којим јединицама мере се и само зрачење квантификује. У тој процени доминирају три јединице мере:

- Бекерел (Bq), мери јачину радиоактивног извора, конкретно, број радиоактивних распада у јединици времена. Један Bq = један распад/секунди
- Греј (Gy), апсорбована доза — дефинисана је као количина енергије по јединици масе која се депонује у материјалу и мери се у грејевима. Један Gy = један J/kg
- Сиверт (Sv), пружа индикацију биолошких ефеката апсорбоване дозе зрачења у ткиву [17]

2.6.1. Заштита домаћих животиња, намирница анималног порекла и стпчне хране од радиоконтаминације

Контрамере које су корисне у ограничавању уноса и акумулације радионуклида у домаћим животињама су:

1. промене у менаџменту држања животиња,
2. ограничавање уноса радионуклида,
3. смањење апсорпције унетих материја из хране и заштита намирница анималног порекла,
4. блокирање уноса и транспорта кроз органе,
5. склањање животиња са отворених простора,
6. херметизација стајских објеката,
7. заштита изворишта воде,
8. мере заштите у средњој и касној фази радиоактивне контаминације животне средине,
9. изборно коришћење мање контаминираних животиња. [4][21][22][23]

2.6.1.1. Промене у менаџменту држања животиња

Опције које спадају у категорију „промена у менаџменту држања животиња“ често су ефикасне за већину радионуклида. Обезбеђивање неконтаминираних хране доводи до смањења концентрације активности радионуклида у производима од животиња, у брзини која је одређена биолошким временом полураспада. У кратком року, ово може бити комбиновано са одлагањем клања и држањем животиња у затвореном. Хаварија у Чернобиљу се поклопила са каснијим периодом зимског смештаја млечних говеда у северној Европи; у неким земљама, животиње су задржане унутра дуже него обично како би се минимизирао улазак ^{131}I у ланац исхране. Потенцијални проблем са овом опцијом је што доступност складиштене хране може бити ограничена у касно пролеће (као што је било и за Чернобиљ и Фукушиму). Као дугорочна мера у подручјима погођеним Чернобиљском несрећом, чиста храна, или прелазак на мање контаминираних пашњаке, комбинује се са живим мониторингом (користећи NaI детекторе) како би се осигурало да животиње које превазилазе интервенцијске границе не уђу у ланац исхране људи. [21]

У многим режимима управљања у јапанским префектурама погођеним ослобађањем из Фукушима, животиње су стално смештене у затвореним објектима уз увоз хране која чини значајан део њихове исхране. Ова мера помаже у случају смањења контаминације у производима од животиња. [21]

2.6.1.2. Ограничење уноса радионуклида

Промене у управљачким праксама, као што су производња алтернативних усева и промена времена клања, углавном су усмерене на ограничавање уноса радионуклида и могу имати значајан утицај на смањење нивоа радионуклида у ткивима и производима животиња. Ове процедуре су у неким случајевима лаке и брзе за примену и ефикасне против многих различитих радионуклида, те су широко коришћене у Русији, Белорусији и Украјини након Чернобилске несреће. Ефикасност и изводљивост примене промена у управљачким праксама зависиће од конкретног пољопривредног система који је контаминиран. Међутим, у пољопривредним и полуприродним екосистемима, изузетна важност се приписује приступу неконтаминираној храни. Ограничавајући фактор може бити доступност неконтаминираних хране или пашњака. [22]

Заштита стоке од интерне контаминације радиоактивним материјама представља комплексан задатак у поређењу са мерама за заштиту од спољашње радиоконтаминације. Да би се обезбедила заштита од интерне контаминације, треба применити три основна принципа:

Избегавање контаминираних подручја: Стока треба да потпуно избегава или не прелази кроз контаминирана или угрожена подручја. На тим местима, стока може лако да се контаминира удисањем радиоактивне прашине, конзумирањем контаминираних хране или воде. Поред тога, контакт са таквим подручјима може контаминирати површину тела, нарочито длачни покривач, одакле радиоактивне материје могу лако да доспеју у организам животиње кроз лизање. [24]

Контрола хране и воде: Неопходно је избегавати давање стоци хране и воде за које се сумња да су контаминирани. У случају озбиљних претњи, потребно је применити одговарајуће методе за деконтаминацију хране за стоку како би се смањила могућност интерне контаминације. [24]

Примена заштитних супстанци: Корисно је користити заштитне супстанце које могу смањити ризик од интерне контаминације. Доказано је да цистеамин и слични препарати могу значајно повећати преживљавање животиња које су биле изложене радијацији. Цистеамин, када се примени пре и непосредно након излагања зрачењу, може побољшати преживљавање животиња. Такође, примена тиобарбитурата може помоћи у блокирању фиксације радиоактивног јода у штитној жлезди, док додаток калцијума може смањити фиксацију радиоактивног стронцијума у костима. [24]

Међутим, недостатак овог приступа је што се заштитне супстанце морају применити пре него што дође до интерне контаминације, што може бити непрактично за масовну употребу код стоке. [24]

2.6.1.3. Смањење апсорпције унетих материја из хране и заштита намирница анималног порекла

Након нуклеарне несреће, храна за животиње и пашњаци могу бити толико контаминирани да би њихова употреба за исхрану животиња била забрањена. У таквим околностима, хемијски препарати који везују радионуклиде или смањују њихов унос у цревима омогућиле би наставак коришћења такве хране или земљишта, чиме би се одржала производња људских прехранбених производа из животиња. Коришћење хемикалија може такође омогућити наставак производње хране у контаминираним подручјима која се може искористити само узгајањем биљоједа. За неке радионуклиде су доступни хемијски везачи који спречавају или смањују унос радионуклида у цревима. Међутим, доступност ових производа за пољопривреднике често представља ограничавајући фактор, посебно у екстензивним условима држања. Најефикаснији хемијски везачи развијени су за радијуцезијум и засновани су на гвожђевим хексацијанофератима и глинам. Иако су глине широко коришћене од несреће у Чернобилу, хексацијанофератна једињења су се показала као ефикаснија и лакша за примену. Неке од проблема са снабдевањем везача у полуприродним екосистемима решени су коришћењем соли за лизање и спорије ослобађање везача. [22]

Важно је да хемијске контрамере које се користе буду нетоксичне и да не утичу на здравље и продуктивност животиње. Остаци не смеју бити пренети кроз месо или млеко у људске прехранбене производе. Додавање минерала глине (бентонит) као адитива за храну је добило широко одобрење. Од различитих гвожђевих-хексацијаноферата који су доступни, највише је истраживан амонијум гвожђе цијаноферат, који се показао нетоксичан за домаће животиње. Његова употреба је одобрена у Немачкој, Аустрији, Шведској и Норвешкој након несреће у Чернобилу. [22]

Техничке мере заштите намирница животњског порекла од радиоактивне контаминације укључују неколико корака. Оне обухватају заштиту животиња од спољашње и унутрашње радиоконтаминације, мере за спречавање контаминације током обраде и заштиту готових производа током складиштења и транспорта. [24]

Заштита свежих намирница, попут млека и меса, од радиоактивне контаминације је сложена. Да би се добило радиолошки чисто месо и млеко, стока мора бити заштићена од интерне контаминације, клање и мужа мора се обављати у заштићеним просторима, а транспорт у затвореним, неконтаминираним превозним средствима. Нарочита пажња је потребна ако се транспорт врши преко контаминираних тла. [24]

За упаковане намирнице, као што су млечни производи у различитим омотима, заштита је једноставнија. Омоти добро штите од радиоактивних падавина, као на пример сиреви са дебелом кором или премазани парафином такође пружају добру заштиту. Савремено паковање у полиестеру, тетрапаку и сличним материјалима добро штити од радиоконтаминације. Конзерве од неконтаминираних

намирница су изузетно сигурне, а ако се изложе контаминацији, могу се лако деконтаминирати. [24]

Јаја представљају добар пример природне заштите од спољашње радиоактивне контаминације због љуске која им омогућава ефикасну заштиту. Заштита готових производа подразумева максималну изолацију од спољашње средине, што се постиже складиштењем у херметички затвореним просторима као што су хладњаче или силоси. Ако складишта немају адекватан вентилациони систем, потребна је адаптација да се спречи продирање спољашњег контаминираног ваздуха. [24]

Да би се складишни простор заштитио од радиоактивног загађења преко глодара и инсеката, треба затворити све отворе и пукотине, а доњи део врата обложити лимом. За мање количине намирница, као што су свеже месо и млеко, треба користити фрижидере. Поврће треба паковати у полиетиленске вреће и чувати у адаптираним подрумским просторијама. [24]

Сточна храна треба бити заштићена од радиоактивних падавина да би се спречила контаминација животиња и људи. У недостатку заштите великих пољопривредних површина, могуће је регулисати рН земљишта вештачким ђубривима ради смањења апсорпције радиоактивних изотопа. Заштита пожњевене сточне хране укључује паковање у одговарајућу амбалажу. Парафинисане вреће и поливинил су бољи од обичних џакова. Дрвени сандуци треба да буду обложени парафинисаном хартијом или поливинилом. Метални сандуци нису препоручљиви због могућности индукције неутронског зрачења. Када се сточна храна мора чувати на отвореном, требало би да буде покривена церадама или сламом. Кабаста сточна храна, попут сена и сламе, најбоље се чува пресована у бале и покривена непропусним покривачем. [24]

Најбољи начин заштите сточне хране од радиоонтаминације је складиштење у специјално изграђеним или адаптираним просторима, као што су пећине или рударска окна. [24]

Обустава биљне производње, посебно у случају дуготрајне контаминације пољопривредног тла, подразумева прекид узгоја биљних култура за производњу хране и избор алтернативних биљака, као што су пошумљавање, узгој биљака за производњу горива итд. [23]

У погледу наставка биљне производње на контаминираним подручјима, у циљу смањења контаминације је значајна промена узгоја једне биљне културе за културу код које су фактори преноса и концентрација физионих продуката повољнији. Иако степен могућег коришћења биљних култура зависи од више фактора (посебно врсте тла и врсте радионуклида), познато је да, на пример, спанаћ садржи веома високе нивое физионих производа у поређењу са пасуљем узгајаним у сличним условима. Слично је откривено да је унос ^{90}Sr код пшенице, овса и грашка на истом тлу био приближно у односу 1:2,5:20. Научним истраживањима је извучен закључак да се просечне вредности трансферног коефицијента радиоцезијума из тла у биљке крећу у следећим опсезима: житарице (1,0) – коренасте културе (1,2) – травнате биљке (2,5) – гомољасте биљке (3,0) – махунарке (3,5) – поврће (7,5). [23]

2.6.1.4. Блокирање уноса и транспорта кроз органе

Примена стабилних изотопа релевантних радионуклида може ограничити акумулацију радионуклида у ткивима и органима животиња. Обезбеђивање стабилног јода млечним животињама ће смањити унос у штитну жлезду животиња, док ће стабилни цезијум смањити акумулацију радијоцезијума у мишићном ткиву. Други елементи који имају слично понашање у организму могу се такође користити. Додавање високих нивоа калцијума у исхрану домаћих животиња смањује апсорпцију радиостронцијума као последица хомеостатских адаптација које се јављају у метаболизму калцијума. [22]

2.6.1.5. Склањање животиња са отворених простора

Ова мера је најефикаснија ако се спроведе пре таложења радиоактивних падавина. Животиње се смештају у штале, земунце, подруме, пећине или друге затворене просторије. [4]

2.6.1.6. Херментизација стајских објеката

Под херментизацијом стајских објеката одразумева се затварање врата, прозора и других отвора у којима бораве животиње, како би се спречио продор контаминираниог ваздуха. Као материјали за херментизацију могу се користити пластичне фолије, дрвени панели, импрегнирано платно, терпапир. [4]

2.6.1.7. Заштита изворишта воде

Заштита отворених бунара од радиоактивне контаминације врши се постављањем надстрешнице и поклопаца, који треба да добро належу на рубове бунара. Могу се користити и фолије од ПВЦ-а или неког другог непромочивог материјала. Кад год је то могуће, за напајање животиња треба да се користи вода из водоводне мреже или других затворених система, која се редовно контролише. [4]

Упоредо са заштитом намирница, важна је и заштита водних извора. У градовима и индустријским центрима, где постоји централизовано снабдевање водом, надзор над изворима и водоводним системима обављају одговарајуће службе, што осигурава снабдевање радиолошки чистом водом. [24]

Међутим, већи значај има заштита локалних водних извора (кладенци, обични и артешки бунари) код индивидуалних и друштвених произвођача стоке. Најбоља заштита постоји код артешких бунара, који су сами по себи довољно заштићени. Главни изазов представља заштита отворених бунара. Ови бунари морају бити озидани, са оградом високом најмање 1m, надстрешницом и чврсто затвореним поклопцем. Око бунара, на ширини од 2-3m, потребно је прво положити слој глине дебљине 20cm, а затим слој бетона, асфалта или цигле дебљине 15-20cm. Овај насип

треба да има одређени пад и завршава се сливним каналом који одводи кишницу далеко од бунара. [24]

2.6.1.8. Мере заштите у средњој и касној фази радиоактивне контаминације животне средине

Током прва три месеца након нуклеарног инцидента и таложења радиоактивних падавина, изотопи који представљају највећи ризик за људе и животиње су изотопи јода, при чему је посебно значајан изотоп ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ дана). Овај период се назива "јодни период". У овом временском оквиру, важно је обезбедити додатни унос стабилног јода како би се смањила апсорпција и акумулација радиоактивног јода у штитној жлезди. Након два месеца, радиоактивни јод се већим делом распада и повлачи из животне средине, али средње-живећи и дуговечни радиоизотопи и даље могу бити присутни. [4]

Током средње фазе радиоактивне контаминације, животиње треба и даље држати у затвореним просторима. Посебну пажњу треба посветити безбедном уклањању измета и заштити људи који долазе у контакт са животињама, као и осигуравању сигурне исхране за њих. Заштитне мере треба да редукују миграцију радиоцезијума и радиостронцијума у ланац исхране. Радиометријска мерења користе се за идентификацију радионуклида у падавинама, као и за процену контаминације хране, воде за напајање животиња и земљишта за испашу. [4]

Мере заштите током средње фазе контаминације животне средине обухватају:

Дозиметријска контрола и клинички преглед животиња из радиоактивних подручја: Ова контрола се изводи коришћењем детектора зрачења као што су Гајгер-Милеров бројач или други преносиви детектори (NaI, Ge-Li) ради идентификације спољашње и/или унутрашње радиоактивне контаминације. Спроводи се појединачно на свакој животињи помоћу сонде која се помера на висини од 5cm изнад длачног покривача, са посебним акцентом на горње делове тела - главу, врат, леђа и лумбални део. Животиње се означавају као радиоактивно контаминирани ако је вредност зрачења на њиховој површини 3 до 5 пута већи од гама фона пре инцидента. Такве животиње се одвајају и упућују на радиоактивну деконтаминацију. За унутрашњу контаминацију, врши се мерење активности секрета (млеко) и екскретата (урин, измет). Узорци се стављају у плитке посуде (попут поклопаца од тегли), а активност се мери на висини од 2 до 3cm изнад узорка. Ако је вредност зрачења пет пута већа од фонског нивоа пре инцидента, то указује на унутрашњу контаминацију. Узорци са повишеном активношћу шаљу се на додатна испитивања ради идентификације и процене присутних радионуклида. [4]

Према искуству стеченом након Чернобилског акцидента, развијени су протоколи за брзу процену здравственог стања великих животиња. Клинички преглед почиње мерењем телесне температуре, хематолошким прегледом и општим клиничким прегледом. Животиње са респираторним поремећајима као што су кратак дах и кашаљ, ректална температура испод 37°C , низак број леукоцита у крви,

дебљина кожног набора на врату већа од 12 mm и длака која се лако коврца, издвајају се из стада. [4]

Код ових животиња одређује се ниво тиреоидних хормона. Стање респираторног тракта процењује се тестом функционалног оптерећења, где се животиње терају на трчање до 3 минута, а затим се издвајају оне са отежаним дисањем и кашљем. Ако се утврде промене на штитној жлезди и срцу, животиње се упућују на контролно клање (око 5% од укупног броја са променама). Животиње се сматрају озраченим ако је маса штитне жлезде мања од 4g или ако се уоче дегенеративне промене на перикарду или перикардијалном масном ткиву. Животиње са смањеном концентрацијом тироксина у крви се шаљу на принудно клање. Животиње код којих ове промене нису примећене треба стално надзирати и применити све мере заштите од радиоактивне контаминације. Када се створе услови, такве животиње треба послати на принудно клање, а приплодне животиње заменити здравим. [4]

Животиње које су биле изложене акутном спољашњем зрачењу, али нису имале унутрашњу радиоактивну контаминацију, упућују се у латентном периоду акутног радијационог синдрома - АРС (пре појаве клиничке фазе болести) на принудно клање према правилима за клање здравих животиња. Животиње са тешким клиничким симптомима акутног радијационог синдрома се неутрализују. [4]

Организација рада и поступак клања контаминираних животиња: Одлагање контаминираних животиња такође представља сложен проблем. Постоји неколико метода за уклањање животиње: еутаназија животиње и одлагање као радиоактивног отпада за закопавање, еутаназија животиње и спаљивање трупа, деконтаминација животиње и накнадна еутаназија, или еутаназија животиње и деконтаминација трупа. [25]

Еутаназија са накнадним одлагањем трупа као радиоактивног отпада на први поглед изгледа као најједноставнија опција за уклањање животиње. Труп мора бити правилно упакован и затим послат на место одлагања као контаминирани отпад. Међутим, можда ће бити потребно клање у циљу испуњавања захтева за одлагање радиоактивног отпада. [25]

Предложена метода уклањања контаминираног трупа могла би бити спаљивање, али се и у овој методи проналази неколико проблема. Спаљивачи имају ограничења у количини материјала који се може обрадити у одређеном временском интервалу, као и ограничења у величини. То може поново захтевати клање животиња пре транспорта до спаљивачког постројења. Коначно, трошкови повезани са транспортом пепела и одлагањем пепела као радиоактивног отпада такође морају бити узети у обзир. [25]

Деконтаминација живих животиња у поређењу са еутанизованим животињама је такође тешка одлука. Живе животиње, иако некад немирне, генерално могу бити маневрисане у различите положаје како би се олакшала деконтаминација. Еутанизоване животиње могу бити тешке за премештање, али могу се користити интензивније технике деконтаминације. Ако деконтаминација буде успешна,

производи од животиње могу се разматрати за употребу уместо да се одбаце као радиоактивни отпад. [25]

На кланицама се прво кољу здраве животиње, а потом животиње са унутрашњом контаминацијом радионуклида. Да би се спречила контаминација меса из дигестивног тракта, пре вађења изнутрица постављају се лигатуре на почетку и крају црева. Обрађене полутке се контролишу мониторингом зрачења како би се проверила присутност радиоактивне контаминације меса. Ако је вредност зрачења на површини полутке од 2 до 3 пута већа од гама фона пре инцидента, полутке се издвајају, узимају се узорци (минимум 100g) и шаљу на додатна радиометријска испитивања (гама спектрометрија) ради одређивања врсте и садржаја радионуклида. [4]

По завршетку клања радиоактивно контаминираних животиња, сав прибор и просторије морају бити деконтаминирани прањем водом и сапуном или детерџентима. Радници на клању и деконтаминацији морају носити заштитну опрему и штитнике за лице ради заштите од прскања воде и контаминираних материјала. Током целог процеса, особа задужена за дозиметријску контролу надгледа рад особља. При свлачењу заштитне одеће и обуће, треба избегавати контакт са кожом и гардеробом радника. [4]

Ако се током клања у месо и органима уоче макроскопске промене, узимају се узорци и шаљу на радиометријску и бактериолошку анализу. У зависности од резултата, месо се може технолошки обрадити техникама које смањују садржај радионуклида. У случају присуства радиоактивних елемената дужег животног века изнад дозвољених нивоа, месо се саламури и кува под притиском. За краткоживеће радионуклиде, праве се дуготрајни сувомеснати производи, а месо се може чувати у хладњачама док се садржај краткоживећих радионуклида не смањи. Пре пуштања на тржиште, врши се обавезна радиометријска контрола. Ако садржај радионуклида у месо или месним производима буде у оквиру дозвољених лимита, производи се могу пустити на тржиште; у супротном, уклањају се на сигуран начин. [4]

2.6.1.9. Изборно коришћење мање контаминираних животиња

Ова метода је посебно погодна за подручја са већим уделом ловне дивљачи у људској исхрани. Након Чернобилске несреће, код лоса који су обитавали на домаћим ранчевима у Шведској утврђена је до три пута нижа контаминација меса радиоцезијумом него код животиња које су обитавале шумовите области; изборни лов тих животиња у таквим областима је једноставна мера за смањење уноса радиоцезијума код људи. [23]

2.6.2. Радиоконтаминација

Радиоактивна деконтаминација је процес уклањања радиоактивног материјала из неорганских или органских средина на начин који не штети контаминираним подручју. Ослобођеним радиоактивним материјалом се током деконтаминације мора правилно управљати како не би представљао додатну претњу. [24]

Примена деконтаминационих техника често је скупа због велике потрошње материјала (као што су хемикалије), ангажовања радне снаге и значајног временског ангажовања, што све доприноси повећању трошкова. Стога, за успешну деконтаминацију потребна је висока стручност и снажљивост у избору најефикаснијих метода како би се задовољила и економска оправданост. У неким случајевима, може бити економичније заменити контаминирани делове или целокупне уређаје новим него спроводити поступак деконтаминације. [24]

Деконтаминација је оправдана претежно у случајевима спољних радиоактивних контаминација, попут радиоактивних падавина или несрећа. Када је у питању унутрашња (структурна) контаминација, где радиоактивни материјали улазе у ткива живих организма, деконтаминација није приоритетна. Уместо тога, кључно је спречити унос радиоактивних материја путем ваздуха, воде и хране. [24]

Да би се нека средина, контаминирана радиоактивним материјалима, ослободила радиоактивности, потребно је да се прекину везе између радиоактивних изотопа и супстрата на којем су везани. Ово се може постићи уношењем енергије у систем контаминант-супстрат, која ће разорити везе у постојећем адсорпционом комплексу. Енергија која се примењује може бити механичка, термичка, хемијска, електрична, ултразвучна, или комбинација два или више ових облика енергије. [24]

2.6.2.1. Радиодеконтаминација домаћих животиња

Задатак радиодеконтаминације домаћих животиња у случају спољашње радиоконтаминације обухвата два основна циља: спречавање оштећења коже и смањење ризика од контакта с радиоконтаминираним људима и другим животињама. У случају унутрашње контаминације, циљ је спречавање радиолошког тровања животиња и минимизирање контаминације меса и млека, како би се избегла могућност контаминације људи. [24]

Спољашња радиоконтаминација животиња може настати на два начина:

- а) директно, када се радиоактивне честице налазе на површини тела животиња,
- б) индиректно, када се радиоактивне падавине (прашина, водене капљице и др.) таложе на земљишту, пашњацима и водама, са којима животиње долазе у контакт. [24]

При директној спољашњој контаминацији, цело тело животиње је обично контаминирано, док код индиректне контаминације обично само одређени делови тела као што су екстремитети и делови главе могу бити захваћени. [24]

У случају спољашње радиоконтаминације или сумње на исту, потребно је одмах предузети следеће кораке:

1. Радиометријска контрола свих угрожених животиња,
2. Радиометријска контрола људи који су били у непосредном контакту са угроженим животињама,
3. Изолација контаминираних и сумњивих животиња,
4. Извођење одговарајућих поступака радиодеконтаминације. [24]

Након радиометријског испитивања и утврђивања степена и локализације контаминираних делова тела, неопходно је уклонити наталожени радиоактивни материјал. То се може постићи различитим физичким методама, као што су механичко уклањање, прање и купање, или деконтаминација без воде. [24]

Механичко уклањање радиоактивних честица користи се само ако су фисиони производи присутни на ограниченом делу тела (слика 4.) (слика 5.). Овај поступак спречава продужен контакт радиоактивног материјала с кожом и интерну контаминацију. Не препоручује се употреба четки или сувих крпи, јер могу створити праšину која може довести до интерне контаминације. Уместо тога, треба користити добро навлажене крпе, а контаминирани материјале одложити у ископану јаму дубоку 2 метра и закопати. [24]



Слика 4. Деконтаминација козе [26]



Слика 5. Деконтаминација коња [26]

Прање контаминираних животиња може се обавити коришћењем разних преносивих уређаја, као што су канте и бурад, уз употребу детерџената или сапуна. Најефикасније је користити механичке уређаје који обезбеђују водени млаз под притиском, као што су разне прскалице. [24]

Купање у великим географским водама (река, језера) представља један од најједноставнијих и најекономичнијих начина радиодеконтаминације, уз поштовање основних хигијенских принципа. [24]

Деконтаминација без воде користи средства у облику пасте, као што су калцијум сапун, течни сапун, саенгерова паста (смеса детерџента „Нила“ и кукурузног брашна), каолинска паста по Злобинском (каолин, домаћи сапун, Na_2CO_3 и вода). [24]

Иако сва ова средства пружају високу ефикасност деконтаминације (преко 96%), течни сапун је најбољи због своје високе ефикасности и једноставне примене.

При примени било ког од ових поступака, важно је обезбедити одговарајућу заштиту особља које спроводи деконтаминацију. То подразумева коришћење заштитне опреме (одећа, маске, рукавице, чизме). Такође, треба осигурати да се не контаминира околина или биолошке заједнице на месту деконтаминације. [24]

2.6.2.2. Радиодеконтаминација сточне хране

Радиоактивна деконтаминација сточне хране представља кључан поступак којим се спречава улазак радионуклида у ланац исхране а самим тим на крају и

човека. Ова процедура помаже у очувању безбедности хране и заштити јавног здравља од потенцијалних негативних ефеката радијације. У случају радиоактивне контаминације великих размера, а уколико су резерве хране на задовољавајућем нивоу, овај поступак не представља један од корака који се непосредно изводе након изожености радијацији, већ постаје кључан након што се већ постојеће резерве хране исконзумирају.

Радиоактивна деконтаминација сточне хране може се извршити на следеће начине:

1. Уклањање радиоактивних честица са површине – Метода зависи од врсте и паковања хране, као и од количине. Ако је сточна храна била заштићена пластичним покривачима, она се може користити након његовог уклањања. Ако није била заштићена, треба уклонити контаминирани површински слој у зависности од дубине продирања радиоактивног материјала. Контаминирана сточна храна се закопава у јаме са најмање 2 метра дубине. [24]

2. Самодеконтаминација – Овај поступак подразумева природно смањење радиоактивности преко радиоактивног распада. Примењује се када други поступци нису могући и када сточна храна садржи углавном краткоживеће радионуклиде. Сточна храна се складишти у добро изолованим просторима док се радиоактивност не смањи испод максимално дозвољене концентрације. [24]

3. Мешање са неконтаминираним сточном храном – Ова метода подразумева мешање контаминиране сточне хране са чистом храном, што смањује укупну радиоактивност до нивоа максимално дозвољене концентрације. За ову методу потребно је имати довољне количине неконтаминиране сточне хране. Ова метода деконтаминације може се применити искључиво код хране намењене за исхрану домаћих животиња, пошто ова метода није права метода деконтаминације, радионуклиди остају у сточној храни, већ се врши само њихово разређење.

За храну у херметички затвореним амбалажама (попут лимених амбалажа или ПВЦ кеса), потребно је прво деконтминирати амбалажу прањем, а затим преbacити храну у чисте амбалаже. Код нехерметички затворених амбалажа (дрвене кутије, папирне вреће), треба утврдити дубину контаминације и концентрацију радионуклида. Ако концентрација није велика и контаминирано је више од једне трећине садржаја, површински слој треба уклонити, а остатак оставити за самодеконтаминацију или примењивати радиоизотопно разређење. [24]

Све процедуре морају се спроводити уз одговарајуће мере заштите и у складу са прописима који регулишу максимално дозвољене концентрације радиоактивности у сточној храни. [24]

2.6.2.3. Радиодеконтаминација намирница анималног порекла

Радиоактивна контаминација намирница анималног порекла може бити структурна која настаје у случају исхране животиње контаминираним сточном храном или површинска када се радионуклиди таложе током процеса прераде, транспорта и складиштења сировина или готових производа. Сама деконтаминација радиоактивно контаминираних намирница анималног порекла је веома сложен и

компликован процес који првенствено зависи од врсте намирница, њиховог агрегатног стања, количине, врсте и интензитета радиоактивне контаминације, као и времена полураспада радиоактивних изотопа. [24]

Радиоактивна деконтаминација намирница животинског порекла је сложен процес који зависи од врсте намирница, њиховог агрегатног стања, количине, врсте и интензитета радиоактивне контаминације, као и времена полураспада радиоактивних изотопа. [24]

Ако су намирнице анималног порекла контаминирани краткоживећим радиоактивним изотопима, и ако су ови изотопи прецизно идентификовани, деконтаминација није увек неопходна. То се преваходно односи ако су намирнице контаминирани радионуклидима чије је време полураспада краће од две недеље. У таквим случајевима, након извршене радијационо-хигијенске контроле, довољно је одредити рок после кога се намирнице могу безбедно. До истека тог рока, намирнице треба чувати на начин који спречава њихово кварење. Пре употребе, мора се извршити контрола радијације и хигијенска оцена квалитета. [24]

Када су намирнице контаминирани дугоживећим радиоактивним супстанцама или мешавином краткоживећих и дугоживећих изотопа, потребно је применити методе радиолошке деконтаминације. За свеже или неупаковане чврсте намирнице (месо, млечни производи, јаја), основна метода деконтаминације је механичко уклањање радиоактивности са њихове површине. Намирнице са чврстим површинским слојем (попут јаја, сира или сувог меса) треба краткотрајно опрати под воденим млазом под притиском (5-10 минута), а затим уклонити површински слој (дебљине 1-2 cm). Са намирнице без чврсте коре, прво се механички уклања површински слој у дебљини од 1-2cm, а затим се пере воденим млазом у трајању од 5 до 10 минута. Након извршене деконтаминације, а пре одобрења употребе, потребно је извршити радијационо-хигијенску контролу, као и оцену конзумне вредности ових намирница. [24]

Ако резултати деконтаминације нису задовољавајући, поступак се може поновити или применити 1-3% растворе јоноизменјивача. Ако ни након поновљених поступака деконтаминације радиоактивност остаје висока, могуће је да је присутна и унутрашња (структурна) контаминација, где се даље деконтаминисање треба прекинути. [24]

Намирнице упаковане у херметички затворене амбалаже (пластичне кутије, лимене конзерве) су заштићене од површинске контаминације, али се и у том случају мора извршити краткотрајна деконтаминација омота прањем под млазом воде. Након деконтаминације, а пре употребе у исхрани људи, намирнице се морају пажљиво отпаковати, те извршити њихову радијационо хигијенску експертизу. Намирнице у нехерметички затвореним амбалажама третирају се као неупаковане и подлежу истим процедурама деконтаминације. [24]

Намирнице са унутрашњом радиоактивном контаминацијом (месо, јаја) могу се користити тек када се утврди да је радиоактивност испод границе максимално дозвољене концентрације. [24]

Деконтаминација течних намирница, као што је млеко, представља велики изазов јер практично не постоји разлика између површинске и унутрашње контаминације. Међутим, применом одговарајућих техника и уређаја, укључујући јоноизмењивача, могу се постићи високи нивои деконтаминације (око 95%). Након овог поступка, млеко може бити безбедно за употребу, али млечни производи као што је путер морају одстојати да би се радионуклиди распали испод максимално дозвољене концентрације. [24]

Када дође до структурне контаминације млека, меса и јаја дугоживећим радионуклидима, примењују се одговарајући техничко-технолошки поступци обраде. Уколико обрада не успе да смањи концентрацију радионуклида, те намирнице се класификују као радиоактивни отпад. Ако млеко садржи I-131, препоручује се да се преради у производе са ниским садржајем млека (као што су бели сир, јогурт и кисело млеко) или у млеко у праху. У случају присуства Sr-90 и Cs-137, млеко се обрађује у производе са високим садржајем млека (попут масла са 80-82%, сирева са више од 50% и кајмака од 65-85% м.м.). Приликом контаминације дугоживећим радионуклидима примена јоноизмењивача представља адекватну меру за деконтаминацију. [27]

Деконтаминација меса може се остварити на више начина, поред већ поменутих метода. Самодеконтаминација складиштењем подразумева чување меса у хладњачи док ниво радиоактивности не падне на дозвољену границу. У случају саламурења, ако је месо контаминирано стронцијумом (^{90}Sr), који се највише акумулира у костима, потребно је искоштавање меса. Када је реч о цезијуму (^{137}Cs), који је интрацелуларни катјон, хомолог калијума, месо се расече, а саламура се мења свака 2-3 дана. Кувањем се може постићи добар резултат уколико контаминација не прелази дозвољену границу више од два пута. Месо се кува искоштано и сече на мање комаде, док кување траје обично 1-4 сата. Вода се мења сваког сата, а супа се неошкодљиво уклања. Пре кувања, препоручује се да месо одстоји у сланој води најмање сат времена. Након деконтаминације, важно је проверити стварни ниво контаминације и прогласити за радијацијски исправно само оно месо које испуњава прописане норме. Печењем, динстањем или сушењем не може се смањити садржај радионуклида у месу. Кобасице, тврди сиреви и сувомеснати производи могу се деконтаминирати испирањем млазом воде и уклањањем површинског слоја. Чврста маст, маслац и слични производи деконтаминирају се скидањем површинског слоја дебљине 2 см. Уља и течне масти подлежу самодеконтаминацији, где се природним распадом смањује радиоактивност. Јаја се прво исперу, а затим потапају у раствор комплексона. Код живине храњене радиоактивно контаминираном храном, скоро сва активност потиче од радионуклида ^{90}Sr и налази се у љусци јајета, која се обично одбацује. Радиоактивна деконтаминација рибе врши се прањем у чистој води, након чега се глава рибе са шкргама и изнутрице одбацују, као и крљушт. Ако рибље месо и након овог поступка има активност изнад дозвољене границе, оно није погодно за исхрану. [28]

Утврђени су оптимални услови за уклањање радиоцезијума из контаминираног меса, који укључују утицај следећих параметара: величина

комадa mesa који се обрађују, врста меса, тип обраде, однос саламуре и меса, концентрација NaCl, температура обраде и утицај рН третманског раствора. Експерименти су показали да додатно један сат третмана при сољењу меса може резултирати са приближно 60 % деконтаминације. Добијени резултати сведоче да је кување најефикаснија метода за уклањање радиоцезијума из меса. Поред тога, додатно сољење убрзава процес преноса радиоцезијума у бујон. У месу које је кувано на тај начин пронађено је мање од половине почетне активности. [29]

2.6.2.4. Радиодеконтаминација намирница биљног порекла

Радиодеконтаминација намирница биљног порекла слична је поступцима који се користе за деконтаминацију намирница животињског порекла. Основне методе укључују: механичко уклањање површинског слоја (љуштење) у дебљини од 1-3cm, деконтаминацију млазом воде у трајању од 5-10 минута и потапање у 1-3% раствор одговарајућег јоноизмењивача, комплексона или детерџента. Избор поступка зависи од врсте и природе намирнице. На пример, код неких намирница као што су житарице и одређене врсте поврћа, механичко уклањање површинског слоја није могуће, док је код других, као што су кртоле и подземни плодови, гљиве, и воће, овај поступак кључан. [24]

При избору методе радиодеконтаминације треба водити рачуна о економичности, јер су намирнице биљног порекла обично обимне и заузимају велики простор. Стога, треба избегавати скупе методе (попут јоноизмењивача) ако њихови трошкови превазилазе вредност самих намирница, и користити економичније методе. Такође, неопходно је провести радиометријску контролу пре и после деконтаминације како би се осигурало да су намирнице безбедне за употребу. [24]

2.7. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

2.7.1. План за деловање у случају акцидента

Планом се обезбеђује заштита живота и здравља људи и животне средине од штетног дејства јонизујућих зрачења у случају акцидента и прописују мере ради спречавања и отклањања штетних последица акцидента, односно, спречавања појаве детерминистичких ефеката и смањења ризика од стохастичких ефеката зрачења. Влада на предлог Агенције за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије (у даљем тексту: Агенција) проглашава акцидент који угрожава територију Републике Србије. У ситуацијама када се утврди да постоји опасност од ширења контаминације са територије Републике Србије на суседне државе, Влада ће обавестити о тој опасности Међународну агенцију за атомску енергију и надлежне органе суседних држава. [29]

2.7.1.1. Изолација извора и спречавање унутрашње и спољашње контаминације

Код радиолошких акцидентата са опасним изворима зрачења који су изван контроле, заштита становништва и животне средине од штетног дејства јонизујућих зрачења подразумева изоловање извора зрачења и спречавање контаминације, чиме се постиже смањење излагања јонизујућим зрачењима. У циљу спречавања унутрашње контаминације потребно је држати руке и потенцијално контаминирани предмете ван домаћа уста. У случају потенцијалне контаминације инхалацијом примењују се респираторна средства заштите која поседују ватрогасно спасилачке јединице. [29]

Контаминација коже не представља значајнију опасност и може се једноставно спречити, као и уношење контаминаната ингестијом. Спречавање контаминације коже се одмах примењује путем мера које подразумевају благовремено давање савета грађанима. [29]

У циљу заштите становништва саветује се коришћење личних заштитних средстава: заштитне маске, заштитно одело, ципеле, рукавице, препоруке о растојању и времену боравка у контаминираним областима, просторијама и друге мере. [29]

2.7.1.2. Евакуација

Евакуише се просторија, објект или цела област, а по наређењу надлежног штаба за ванредне ситуације или по наређењу одговорног лица објекта односно носиоца лиценце. Код доношења одлуке о евакуацији односно, одлуке о планирању, припреми или координацији евакуације и код спровођења евакуације води се рачуна о одређивању пута евакуације, контроли приступа, извођењу операције за специјалне групе популације – болесни, непокретни, старије особе. Евакуацију становништва наређује штаба за ванредне ситуације јединице локалне самоуправе, у чијој надлежности је и планирање, припрема, координација и спровођење евакуације, у складу са Законом о ванредним ситуацијама („Службени гласник РС”, бр. 111/09, 92/11 и 93/12). Води се рачуна и о обезбеђивању неопходних средстава за преживљавање, о домаћим животињама, могућностима збрињавања и заштите дивљих животиња и слично. [29]

Одређивање путева и локација за евакуацију се врши унапред, од стране јединица локалне самоуправе, а на основу донетих и усвојених планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама. [29]

2.7.1.3. Заклањање

Заклањање се спроводи у кратком временском периоду уз предузимање других мера заштите и активности у складу са развојем ситуације. Правилно и брзо предузимање мере заклањања, уз добру херметизацију објекта и простора за заклањање и коришћење средстава за заштиту, обезбеђује заштиту од излагања дејству радиоактивних контаминаната у раним фазама акцидента. Најефикаснија заштита заклањањем се спроводи у подземним, подрумским и другим прилагођеним деловима објекта, у средишњим просторијама зграде или стана, са што мање отвора у зидовима, односно у становима са обавезно затвореним прозорима и другим

отворима у циљу херметизације просторије за боравак и заштите од продора радиоактивних честица. Спровођењем ове мере се смањује ризик од инхалације два до три пута, а може се смањити и до десет пута, када су у питању објекти одговарајуће конструкције и дебљине зидова. [29]

Одређивање локација за заклањање се врши унапред, од стране јединица локалне самоуправе, а на основу донетих и усвојених планова заштите и спасавања у ванредним ситуацијама. [29]

2.7.1.4. Деконтаминација људи и животиња

Ради смањења штетних последица од излагања јонизујућим зрачењима и ради смањења ширења контаминације проверава се контаминација људи, животиња и опреме, и врши се њихова деконтаминација. [29]

Деконтаминација људи се спроводи скидањем и заменом одеће и обуће, прањем и туширањем уз примену одговарајућих средстава, чиме се значајно смањује ефекат контаминације и могућност њеног даљег ширења. [29]

Деконтаминација домаћих животиња се спроводи прањем уз примену одговарајућих средстава, чиме се значајно смањује ефекат контаминације и могућност њеног даљег ширења. Након спроведеног поступка деконтаминације, мери се степен радијације и поступак по потреби се понавља. [29]

Деконтаминација и провера контаминације се врше на успостављеним станицама за деконтаминацију на терену или у посебним објектима одређеним за деконтаминацију. [29]

2.7.1.5. Заштитне мере у области пољопривреде, ограничавање уноса контаминираних хране и воде

Заштитне мере у области пољопривреде, као и ограничење уноса контаминираних хране и воде, спровод се у периоду који може трајати од неколико дана до неколико недеља за краткоживеће изотопе. Међутим, за дугоживеће изотопе, период примене ових мера може бити значајно дужи. Ове мере иницира министарство надлежно за послове пољопривреде и укључују неколико важних аспеката. [29]

Заштитне мере подразумевају забрање коришћења контаминираних хране и хране за животиње. Такође, забрањена је употреба воде за пиће, а ограничена или забрањена је и потрошња одређених намирница, посебно житарица, воћа, поврћа, млека и млечних производа. Заштита животиња и хране за животиње подразумева чување животиња у затвореним просторима, као и забрану испаше и исхране свежег храном. [29]

Предузимањем мера ограничава се жетва и коришћење пољопривредних производа, печурака, лековитог биља и шумских плодова. У случају потребе, уколико евакуација није могућа и ако не постоји довољно хране за домаће животиње, разматра се економско искоришћење стоке путем клања и прераде меса. Ограничава

се или забрањује употреба меса дивљачи, а истовремено се спроводе мере заштите извора воде за пиће. [29]

Обезбеђивање алтернативних извора хране, воде и хране за животиње такође је кључно, као и безбедно уништавање пољопривредних усева који нису за употребу. Потребна је и додатна контрола у производњи безбедне хране и хране за животиње, као и додавање заштитних средстава у храну за животиње. [29]

Коначно, ограничава се или привремено забрањује лов на одређеним територијама, уз предузимање мера заштите и мониторинга популација дивљачи и њиховог станишта. Ограничава се риболов и дају се препоруке о заштити риба у рибњацима. Ове свеобухватне мере имају за циљ заштиту здравља људи, животиња и животне средине. [29]

2.7.2. Закон о заштити од јонизујућег зрачења

Овим законом прописују се мере заштите живота и здравља људи и животне средине од штетног дејства јонизујућих зрачења у производњи, промету и коришћењу извора јонизујућих зрачења, мере сигурности при коришћењу нуклеарне енергије и надзор над спровођењем тих мера и одговорност за нуклеарне штете. [30]

Систем мера заштите од јонизујућих зрачења заснован је на три основна принципа. Први принцип је оправданост примене извога јонизујућих зрачења, који се сматра оправданим ако доноси позитивну нето-корист. Други принцип је оптимизација заштите, што подразумева минимизовање штетног дејства ових зрачења на људе и животну средину. Трећи принцип обухвата границе еквивалентне и ефективне дозе, које је потребно поштовати ради обезбеђивања безбедности. [30]

Систем мера заштите треба да осигура да изложеност јонизујућим зрачењима буде што је могуће нижа, узимајући у обзир друштвене и економске факторе. У спровођењу мера заштите предузимају се различите активности. Прво, неопходно је откривање присуства и активности радионуклида у животној средини, као и мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху. Поред тога, одређују се услови за производњу, промет и коришћење извога јонизујућих зрачења. [30]

Важно је и обезбедити опрему и средства за заштиту од јонизујућих зрачења, као и контролисати њену ефикасност. У случају контаминираних производа и сировина, предузимају се мере ограничења или забране њихове производње и промета. Такође, води се евиденција о изворима јонизујућих зрачења и о изложености лица која раде са њима, као и пацијената и становништва. [30]

Пажња се посвећује и здрављу радника, уз контрола и праћење њиховог стања, те спровођење прописаних мера заштите. Образовање и стручно усавршавање кадрова у области заштите од јонизујућих зрачења су такође од кључне важности.

Лична и колективна заштита од јонизујућих зрачења, као и спровођење мера за деловање у ванредним ситуацијама, представљају значајан аспект овог система. [30]

На крају, потребно је сакупљати, чувати и складиштити радиоактивни отпад, као и обезбедити услове за систематско испитивање садржаја радионуклида у животној средини, уз спровођење плана у случају ванредног догађаја. Спровођење програма мера осигурања и контроле квалитета мера заштите од јонизујућих зрачења доприноси свеобухватној и ефикасној заштити од ових опасних фактора. [30]

У циљу откривања присуства радионуклида и утврђивања потенцијалне опасности, као и ради информисања и предузимања мера заштите од јонизујућих зрачења, спроводи се систематско испитивање садржаја радионуклида у различитим срединама. Ова испитивања обухватају ваздух, затворене просторе, земљиште, реке, језера, море, чврсте и течне падавине, биљке, животиње, грађевински материјал, предмете свакодневне употребе, воду за пиће и храну за људе и стоку. Испитивања се изводе редовно, као и у случају сумње на ванредни догађај или током самих ванредних ситуација. [30]

За рано откривање ванредних догађаја који би могли угрозити територију Републике Србије успоставља се систем ране најаве. Овај систем осигурава континуирано мерење јачине апсорбоване дозе гама зрачења у ваздуху у складу са прописаним процедурама. [30]

Вода за пиће, хранљиве намирнице, сточна храна и предмети свакодневне употребе не смеју се стављати у промет ако садрже радионуклиде изнад утврђених граница. Радиоактивни отпад мора бити сакупљен, чуван, евидентиран, складиштен, обрађен и одложен у складу са прописаним условима. [30]

Забрањен је увоз радиоактивног отпадног материјала, као и његова прерада, складиштење и одлагање страних извора на територији Републике Србије. Да би се спречила недозвољена транзиција радиоактивног материјала преко границе, на граничним прелазима се инсталирају монитори за јонизујуће зрачење. [30]

3.0. ЗАКЉУЧАК

У овом раду истражена је улога ветеринарске струке у случају радиоактивне контаминације, посебно у контексту заштите здравља животиња и људи, као и очувања животне средине. Радиоактивна контаминација представља озбиљан изазов не само за људско здравље, већ и за здравље животиња, чиме се директно утиче на безбедност хране и биодиверзитет.

Првенствено, важно је истаћи да ветеринарска струка има кључну улогу у процени и управљању изложености животиња и људи радиоактивној контаминацији. Доктори ветеринарске медицине су обучени да идентификују симптоме изазване радијацијом код животиња; ово стручно знање омогућава правовремену дијагнозу и лечење, што је од суштинске важности за смањење штете по здравље животиња и смањење економских губитака у пољопривреди.

Такође, важност превентивних мера у случају радиоактивне контаминације не може се преценити. Као што је наведено у раду, мере као што су херметизација стајских објеката, склањање животиња са контаминираних подручја, и коришћење неконтаминираних хране и воде, играју кључну улогу у спречавању ширења радиоактивних супстанци у ланац исхране. Доктори ветеринарске медицине су у првим редовима примене ових мера и њихово стручно знање и искуство су од пресудног значаја за успех ових активности.

Штавише, едукација и обука ветеринара за рад у условима радијације су неопходни. Континуирана едукација и тренинг осигуравају да ветеринарска струка остане припремљена за изазове које доносе нуклеарне катастрофе и омогућавају примену најновијих научних сазнања у пракси. Иновације у техникама деконтаминације и третмана се усавршавају из године у годину, тако да доктори ветеринарске медицине морају континуарно да се усавршавају, као и да се редовно едукују о протоколима за хитне интервенције у случају нуклеарних несрећа.

На крају, закључак овог рада је да ветеринарска струка игра непроцењиву улогу у заштити здравља и добробити животиња и људи у случају радиоактивне контаминације. Њихово знање и искуство су од кључног значаја за ублажавање последица радијације на животињски свет и заштиту јавног здравља. Стога, потребно је наставити са улагањем у обуку и опрему ветеринарских стручњака, како би се обезбедило њихово ефикасно деловање у случају било каквих будућих нуклеарних инцидената.

4.0. ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Holbrow, J.N. Lloyd, J.C. Amato. Modern Introductory Physics. Springer-Verlag New York, Inc. 1999.
2. Basics of Nuclear Physics and Fission. web.archive.org. Ревидирано 2. март 2001. Приступљено 28. мај, 2024.
<https://web.archive.org/web/20070116045217/http://www.ieer.org/reports/n-basics.html>
3. <https://web.archive.org/web/20130227084034/http://world-nuclear.org/info/inf56.html>
4. Митровић Б. Радиологија са радијационим хигијеном. Факултет ветеринарске медицине, Београд, Србија. 2021.
5. Hazra G. Radioactive pollution: an overview. The Holistic Approach to Environment 2018; 8(2): 48-65.
6. Abdullakhad kizi MA, Mamajonovich YM, Tolkinjanovna A. Contamination of the Environment With Radioactive Substances and Effect on the Human Body. Miasto Przyszłości 2024; (49): 1245-1248.
7. Yeong CH, Cheng Mh, Ng KH. Therapeutic radionuclides in nuclear medicine: current and future prospects. Journal of Zhejiang University-SCIENCE B 2014; 15(4): 845-863.
8. Radzina M, Saule L, Mamis E, Koester U, Cocolios TE, Pajuste E, Kalnina M, Palskis K, Sawitzki Z, Talip Z, Jensen M, Duchemin C, Leufgen K, Stora T. Novel radionuclides for use in Nuclear Medicine in Europe: where do we stand and where do we go? EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry 2023; 8(1):27.
9. Práválie R. Nuclear weapons tests and environmental consequences: A global Perspective. Ambio. 2014 Oct; 43(6):729-744. 10.1007/s13280-014-0491-1
10. Eisenbud M. Environmental Radioactivity from natural, industrial and military sources. Academic press Inc. Orlando, Florida. 1987.
11. Sharifi A, Dinparastisaleh R, Kumar N, Mirsaeidi M. Health effects of radioactive contaminated dust in the aftermath of potential nuclear accident in Ukraine. Front Public Health. 2022;10:959668.
12. Lu Y, Yuan J, Du D, Sun B, Yi X. Monitoring long-term ecological impacts from release of Fukushima radiation water into ocean. Geography and Sustainability 2021; 2(2): 95-98.
13. <https://app.fishrulesapp.com/regulations/3516?species=Tuna,%20Pacific%20bluefin>
14. Kryshev II. Radioactive Contamination of Aquatic Ecosystems Following the Chernobyl Accident. Journal of Environmental Radioactivity 1995; 27(3): 207-219.
15. [Dolchinkov](#) and [Karaivanova-Dolchinkova](#). Radiation effect on human and living nature. International Scientific Journal "Science. Business. Society" 2016; 1(5): 59-61.
16. Kozmin GV, Fesenko S, Snegirev AS, Sanzharova NI, Kurachenko Y. Environmental behaviour of radioactive particles: Transfer to animals. Journal of Environmental Radioactivity 2020; 213:106111.
17. Waltner-Toews D. Food safety in a nuclear crisis: The role of the veterinarian. The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne 1990; 31(5): 361-366.

18. Gradašćević N, Muftić E, Omerbegović A. 2023. Transfer of radionuclides into dairy products – A review. *Veterinaria*. 72(1), 03-14.
19. Ahman B, Wiklund E. Radionuclides in reindeer meat; a case report. 2019. 10.3920/978-90-8686-877-3_25.
20. National library of medicine. ncbi.nlm.nih.gov. Објављено 1. јун 2021. Приступљено 26. септембар 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK585723>
21. Beresford NA, Howard BJ. An overview of the transfer of radionuclides to farm animals and potential countermeasures of relevance to Fukushima releases. *Integrated Environmental Assessment and Management* 2011; 7(3): 382-4.
22. Hove K, Strand P, Voigt G, Jones BEV, Howard BJ, Segal MG, Pollaris K, Pearce J. Countermeasures for reducing radioactive contamination of farm animals and farm animal products. *Science of the Total Environment* 1993; 137 (1-3): 261-271.
23. Pöschl M. Countermeasures for reduction of radioactive contamination of farm animals and animal products in agricultural ecosystems; Opatreni pro redukci radioaktivni kontaminace zvirat a jejich produktu v zemedelskych ekosystemech. Slovakia, 2006.
24. Петровић Б. Основи радијационе хигијене домаћих животиња и намирница анималног порекла. Завод за издавање уџбеника Социјалистичке Републике Србије. 1968.
25. McMillan D, Johnson T, Guo Y, Brandl A. A Plan for the Handling of Externally Contaminated Livestock. *Health Physics* 2011; Suppl 3(5): S164-169.
26. <https://glhorsemanship.com/livestock-decontamination>
27. Patel AA, Prasad SR. Decontamination of radioactive milk – a review. *Int. j. radiat. biol.* 1993;63(3):405-412
28. Howard BJ. Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products in semi-natural ecosystems. *The science of Total Environment*, 137 (1993) 249-260
29. Perepelyatnikova LV, Lazarev NM, Ivanova TN, Fedin FA, Long S, Pollard D. The removal of radionuclides from foodstuffs during technological treatment and culinary processing. *Ukrainian Institute of Agricultural Radiology/ Radiological Protection Institute of Ireland*
30. „Сл. гласник РС“, 30/2018
31. „Сл. гласник РС“, 36/2012, Закон о заштити од јонизујућег зрачења
32. Kyne D, Bolin B. Emerging Environmental Justice Issues in Nuclear Power and Radioactive Contamination. 2016. 1-19.
33. Biliaiev M, Rusakova T, Dziuba S, Lapshin Y, Koval N. Assessment of radioactive contamination level of environment in case of accident at nuclear power plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023.
34. Voigt G. Chemical methods to reduce the radioactive contamination of animals and their products in agricultural ecosystems. *The Science of the Total Environment*. 1993. 205-255.
35. Добрић С., Ђуровић Б. Нуклеарни акциденти у свету од 1950. до 2005. године. *Војносанитетски преглед* 2006; 63(5): 465-469.