

2025



ПРИЛОЖЕНИЕ 5

към Задание за обхват и съдържание на ОВОС на инвестиционно предложение „Изграждане на блок 8 на АЕЦ "Козлодуй"“.

Описание на модел **ЕСТЕ ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ** за оценка на радиационния риск



Козлодуй 3320, ул. Панайот Хитов 1



newbuild@npp-nb.bg



+ 359 973 7-21-04

СЪДЪРЖАНИЕ

1	ВЪВЕДЕНИЕ.....	3
2	МОДЕЛИ НА АТМОСФЕРАТА И ХИДРОСФЕРАТА, ПРИЛОЖЕНИ В ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ	3
2.1	АТМОСФЕРЕН ДИСПЕРСИОНЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ - PUFF TRAJECTORY MODEL (PTM)	3
2.2	МОДЕЛ НА ХИДРОСФЕРАТА, ПРИЛОЖЕН В ESTE ГОДИШНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ	4
2.3	ДОПУСКАНИЯ НА МОДЕЛА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОЗАТА ОТ ОБЛЪЧВАНЕ НА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ ПО ПЪТЯ „ПИТЕЙНА ВОДА”	5
2.4	ДОПУСКАНИЯ ЗА МОДЕЛА ЗА ОБЛЪЧВАНЕ НА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ ЧРЕЗ ПЪТИЩА КАТО "ПЛУВАНЕ, ГРЕБАНЕ, ПРЕБИВАВАНЕ НА БРЕГА, КОНСУМИРАНЕ НА РИБА, НАПОЯВАНЕ, ПОЕНЕ НА ДОБИТЪК"	5
2.5	ПРИЛОЖЕНИ СТАТИСТИЧЕСКИ БАЗИ ДАННИ И ИЗТОЧНИЦИ	5
3	ПЪТИЩА НА ОБЛЪЧВАНЕ, ПРИЛОЖЕНИ В ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ.....	5
4	КОНЦЕПЦИЯ ЗА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ, ПРИЛОЖЕНА В ПРОГРАМАТА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ	8
4.1	ДОПУСКАНИЯ ЗА ОБИЧАИТЕ И ПОВЕДЕНИЕТО НА ПРЕДСТАВИТЕЛНОТО ЛИЦЕ.....	8
4.2	ДОПУСКАНИЯ ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДОЗИТЕ НА ОБЛЪЧВАНЕ НА ПРЕДСТАВИТЕЛНОТО ЛИЦЕ.....	9
4.3	ДОПУСКАНИЯ НА МОДЕЛА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕКВИВАЛЕНТНАТА ДОЗА ЗА ПЛОДА.....	10
4.4	ДРУГИ ДОПУСКАНИЯ ОТНОСНО ИЗЧИСЛЯВАНЕТО НА ДОЗИТЕ ЗА НАСЕЛЕНИЕТО	11
4.5	ДОПУСКАНИЯ НА МОДЕЛА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА РАДИОЛОГИЧНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ ВЪРХУ БИОТАТА.....	12
5	ОЦЕНКА НА РАДИОБИОЛОГИЧНИТЕ ЕФЕКТИ ОТ РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ В ХИДРОСФЕРАТА	13
6	ВИДОВЕ ОБЛЪЧВАНЕ.....	14
7	БИОЛОГИЧНО ДЕЙСТВИЕ НА ЙОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ	15
7.1	ДЕТЕРМИНИСТИЧНИ ЕФЕКТИ /НЕСТОХАСТИЧНИ/	15
7.2	СТОХАСТИЧНИ ЕФЕКТИ.....	15

СПИСЪК ФИГУРИ

ФИГУРА 1: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ПЪТИЩА НА ИЗЛАГАНЕ НА РАДИАЦИОННО ОБЛЪЧВАНЕ.....	7
ФИГУРА 2: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДОЗИТЕ ОТ ПОГЛЪЩАНЕ ВСЛЕДСТВИЕ НА РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ ВЪВ ВЪЗДУХА.....	7
ФИГУРА 3: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДОЗИТЕ ОТ ПОГЛЪЩАНЕ ВСЛЕДСТВИЕ НА ТЕЧНИ РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ.	8
ФИГУРА 4: ПЪТИЩА НА ЕКСПОЗИЦИЯ/ОБЛЪЧВАНЕ ЗА СУХОЗЕМНАТА СРЕДА.	13
ФИГУРА 5: ПЪТИЩАТА НА ЕКСПОЗИЦИЯ/ОБЛЪЧВАНЕ ЗА СЛАДКОВОДНАТА СРЕДА.	13
ФИГУРА 6: СХЕМА НА ПРЕНОС НА C(14)O ₂ МЕЖДУ РАЗЛИЧНИ КОМПОНЕНТИ НА ОКОЛНАТА СРЕДА.....	14

1 ВЪВЕДЕНИЕ

Оценката на радиобиологичните ефекти и радиационния риск за референтно лице, дължащи се на радиоактивни изхвърляния от АЕЦ „Козлодуй“, ще бъде извършена с помощта на програмен пакет **ESTE Годишни въздействия** (ESTE Annual Impacts¹).

Методологията, алгоритмите, подходите и базите данни, използвани в рамките на **ESTE Годишни въздействия** за оценка на радиологичното въздействие от радиоактивни изхвърляния, **напълно съответстват на препоръките на МААЕ (IAEA) и Международната комисия за радиационна защита (ICRP)** и се подлагат на постоянни сравнения и валидиране в рамките на проектите на МААЕ **MODARIA** и **MEREIA**.

2 МОДЕЛИ НА АТМОСФЕРАТА И ХИДРОСФЕРАТА, ПРИЛОЖЕНИ В ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ

2.1 АТМОСФЕРЕН ДИСПЕРСИОНЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ - PUFF TRAJECTORY MODEL (PTM)

Пуф-моделът представлява мезомасщабен (до стотици километри) метод за моделиране на атмосферната дисперсия (вж. Hanna, S.R.: Review of Atmospheric Diffusion Models for Regulatory Applications, WMO Technical Note 177, 1982 г.). Атмосферната дифузия в хоризонтална посока се описва с Гаусов модел на дисперсия, а във вертикална посока се описва и решава с диференциално уравнение на дифузията.

Долната част на атмосферата (между терена и граничния слой на смесване) е разделена на няколко слоя. В подхода на модела ESTE се разглеждат 10 слоя. Изхвърлената активност в точката на изпускане се разпределя по слоеве в атмосферата спрямо височината на тази точка, като това може да стане в един или няколко слоя. В модела ESTE скоростите и направленията на вятъра във всички слоеве на атмосферата се представят чрез една осреднена стойност за скоростта и направление на вятъра. Тази стойност се изчислява въз основа на метеорологичната обстановка за актуалното местоположение на центъра на облака. В резултат на това траекториите на транспорт на активността във всички слоеве са идентични.

Приложеният модел за траектория на облак (puff trajectory model) е съчетан с Гаусов модел за разсейване в хоризонталната посока и с модел, базиран на дифузионното уравнение във вертикалната посока.

Изхвърлянето се осъществява под формата на последователни облачета (puffs), като всеки един от тях носи определено количество изпуснати радионуклиди. Процесът на разсейване се моделира, като се включват следните явления:

- а) **Адвекция** – Всеки облак (неговият център) има своя собствена траектория, която се определя по метеорологични данни. Тези данни включват скорост и посока на вятъра, интензивност на валежите и категория на атмосферната стабилност. Данните за вятъра могат също да бъдат дефинирани за различни вертикални нива.
- б) **Вертикално разсейване** – Всеки облак има вертикална структура, което означава, че носената активност е разпределена в множество вертикални слоеве, като тази активност се смесва и разсейва между слоевете.

¹ <https://www.abmerit.sk/en/radiological-impacts/este-annual-impacts/>

- с) **Хоризонтално разсейване** – Дефинирано като Гаусов модел, при който сигма-функциите на облака (стандартно отклонение в Гаусовото разпределение по посока x и y) са функции на скоростта на вятъра, категорията на стабилност на атмосферата и разстоянието на разпространение. Моделът позволява обработка на условия на затишие, когато скоростта на вятъра е малка (по-малка от 1 m/s).
- д) **Суха депозиция** – Представява процес на отлагане на частици и газове върху повърхността (почва, растения, вода) от най-ниския вертикален слой на атмосферата, разположен непосредствено над земната повърхност, без участието на валежи. Процесът се характеризира със скорост на гравитационно отлагане (m/s), която е специфична за всеки вид радиоактивно вещество във въздуха (например аерозоли или различни форми на йод).
- е) **Мокра депозиция** – Представява процес на отлагане, което се извършва посредством валежи (дъжд, сняг, мъгла), като радиоактивните частици или газове биват "измити" от атмосферата и отложени на земната повърхност. Зависи от интензитета на валежите.

Допълнителни спецификации, включени ефекти и входни параметри:

- а) Всяка точка на изхвърляне се разглежда с точното си географско местоположение и специфична височина. Програмата позволява работа с множество точки на изхвърляне едновременно.
- б) При наличието само на една височина на метеорологичните измервания, програмата преизчислява скоростта на вятъра за различни височини – т.н. вертикални профили на вятър.
- в) Моделът за разсейване е дефиниран като локален и мезомасщабен, което позволява изчисления на разсейването на разстояния до няколко стотин километра.
- г) Времево интегрираната концентрация (TIC) се изчислява за най-ниския вертикален слой и се използва за оценка на въздействието върху населението, напр. доза при вдишване.
- д) Моделът за изчисление на дозата включва коефициенти за преобразуване, които изчисляват дозата като се отчита облъчването от облака в определена позиция на движещите се облаци.
- е) Моделът е съобразен с IAEA-TECDOC-379: „Модели за атмосферно разсейване за приложение във връзка с изпускания на радионуклиди“².

2.2 МОДЕЛ НА ХИДРОСФЕРАТА, ПРИЛОЖЕН В ESTE ГОДИШНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ

В рамките на програмата **ESTE Годишни въздействия**, хидросферата се разглежда като повърхностни води (речни течения, водоеми или морска среда). Речните течения се разделят на отделни участъци, определени чрез следните точки:

- Входна точка на речния водоток в студения канал;
- Изходна точка от топлия канал обратно в реката;
- Точка на водотока, която е свързана с конкретно населено място (село, град);
- При възможност, точка на водоток, свързана с жилище, разположено близо до брега.

За всеки дефиниран участък са определени следните параметри на модела:

- Местоположение – участък от населено място, град или географско местоположение;
- Тип на течението – участъкът е река или езеро (язовир);
- Дължина на участъка.

² https://inis.iaea.org/records/tdtty-8ge43/preview/17072243.pdf?include_deleted=0.

- Скорост на течението (в m/s).
- Коефициент на разсейване.
- Обемна скорост (дебит) на притока и оттока (в m³/s).
- Обем – в случаите на водоеми.

Този модел позволява детайлно проследяване и оценка на въздействието върху хидросферата от годишните радиоактивни изхвърляния.

2.3 ДОПУСКАНИЯ НА МОДЕЛА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОЗАТА ОТ ОБЛЪЧВАНЕ НА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ ПО ПЪТЯ „ПИТЕЙНА ВОДА”

Програмата **ESTE Годишни въздействия** оценява дали жилищата на дадено населено място се намират в близост до брега на река/язовир (приблизително 50-100 m от брега):

- 1) *Ако отговорът е „да”,* тогава: моделът предполага, че представително лице може да живее в това жилище и да консумира цялото си годишно количество питейна вода от кладенец, в който водата прониква от водотока. В същото време, при изчисляването на колективната доза за дадено населено място/община, се предполага, че 100% от жителите на даденото населено място (ако населението е по-малко от 2000 души) пият вода от кладенци (или от водоснабдяване, захранвано от подземни води), в които водата прониква от водотока. Ако става въпрос за община (град) с население над 2000 души, при изчисляване на колективната доза за съответната община се приема, че 10% от жителите на селото/града пият вода от кладенец (или от водоснабдяване, захранвано от подземни води); останалата част от населението консумира чиста незамърсена вода.
- 2) *Ако отговорът е „не”,* тогава: Моделът **ESTE Годишни въздействия** приема, че не съществува път на замърсяване на „питейна вода“ за никой човек в дадената община.

2.4 ДОПУСКАНИЯ ЗА МОДЕЛА ЗА ОБЛЪЧВАНЕ НА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ ЧРЕЗ ПЪТИЩА КАТО "ПЛУВАНЕ, ГРЕБАНЕ, ПРЕБИВАВАНЕ НА БРЕГА, КОНСУМИРАНЕ НА РИБА, НАПОЯВАНЕ, ПОЕНЕ НА ДОБИТЪК"

Програмата **ESTE Годишни въздействия** оценява дали водотока преминава през землището на дадената община:

Ако отговорът е „да”: Моделът приема в изчислението на дозите за представителното лице следните пътища на облъчване: "Плуване, гребане, пребиваване на брега, консумация на риба, напояване, поене на добитък", като същевременно се прилагат съответните фактори, които изразяват интензивността на напояване, времето за престой на брега, консумацията на риба и др.

По аналогия, при изчисляване на колективните дози за жителите на общината в съответното землище, се вземат под внимание всички изброени по-горе пътища на облъчване.

2.5 ПРИЛОЖЕНИ СТАТИСТИЧЕСКИ БАЗИ ДАННИ И ИЗТОЧНИЦИ

За изчисленията в програмата **ESTE Годишни въздействия** се прилагат различни видове статистически данни. Освен това се използват и данни за съседни държави (популация) за извършване на изчисленията:

- Демографски данни: разпределение на населението на страната, региони и съседни държави;
- Данни за селскостопанското производство: растителна продукция, животинска продукция, площи за култивиране;
- Данни за консумацията на храни: годишни специфични норми на консумация на храни.

3 ПЪТИЩА НА ОБЛЪЧВАНЕ, ПРИЛОЖЕНИ В ESTE Годишни въздействия

Списъкът с пътища на излагане на радиационно облъчване, разгледани в **ESTE Годишни въздействия** включва:

- Външно излагане от облак/ефективна доза;
- Външно излагане от наземно отлагане/ефективна доза;
- Вдишване на активност във въздуха/комутирана ефективна доза (по възрастови категории);
- Поглъщане (по възрастови категории).

Пътищата за излагане на радиоактивно облъчване чрез поглъщане са представени в следната таблица:

- Листни зеленчуци – човек (директно поглъщане);	- Напоявани листни зеленчуци – човек (директно поглъщане);	- Напоявани зърнени култури – домашни птици, хранени в обора със зърнени култури – яйца – човек;
- Други земеделски продукти – човек (директно поглъщане) (Зърнени култури, картофи, плодове, лозя и др. – в случай на наличие на данни – отделен път за всяка „друга култура“);	- Други напоявани селскостопански продукти – човек (директно поглъщане) (Зърнени култури, картофи, плодове, лозя и др.);	- Вода (река) – риба – месо – човек;
- Кози/овце, на паша – мляко – човек;	- Крави, на пасище, което се напоява – мляко – човек;	- Вода (река) – водопой на крави – мляко – човек;
- Кози/овце, хранени в обора (сено) – мляко – човек;	- Крави, хранени в обора (сено от напоявани пасища) – мляко – човек;	- Вода (река) – водопой на крави – месо – човек;
- Крави, на паша – мляко/месо – човек;	- Кози, на пасище, което се напоява – мляко – човек;	- Вода (река) – приемана от прасе – месо – човек;
- Крави, хранени в обора (сено) – мляко/месо – човек;	- Кози, хранени в обора (сено от напоявани пасища) – мляко – човек;	- Вода (река) – приемана от домашни птици – месо – човек;
- Питейна вода – човек (директно поглъщане);	- Крави, на пасище, което се напоява – месо – човек;	- Вода (река) – приемана от домашни птици – яйца – човек;
- Зърнени култури – прасе, хранено в обора със зърнени култури – месо – човек;	- Крави, хранени в обора (сено от напоявани пасища) – месо – човек;	- Плуване;
- Зърнени култури – домашни птици, хранени в обора със зърнени култури – месо – човек;	- Напоявани зърнени култури – прасе, хранено в обора със зърнени култури – месо – човек;	- Плаване с лодка (рибари);
- Зърнени култури – домашни птици, хранени в обора със зърнени култури – яйца – човек;	- Напоявани зърнени култури – домашни птици, хранени в обора със зърнени култури – месо – човек;	- Дейности на брега (рибари).

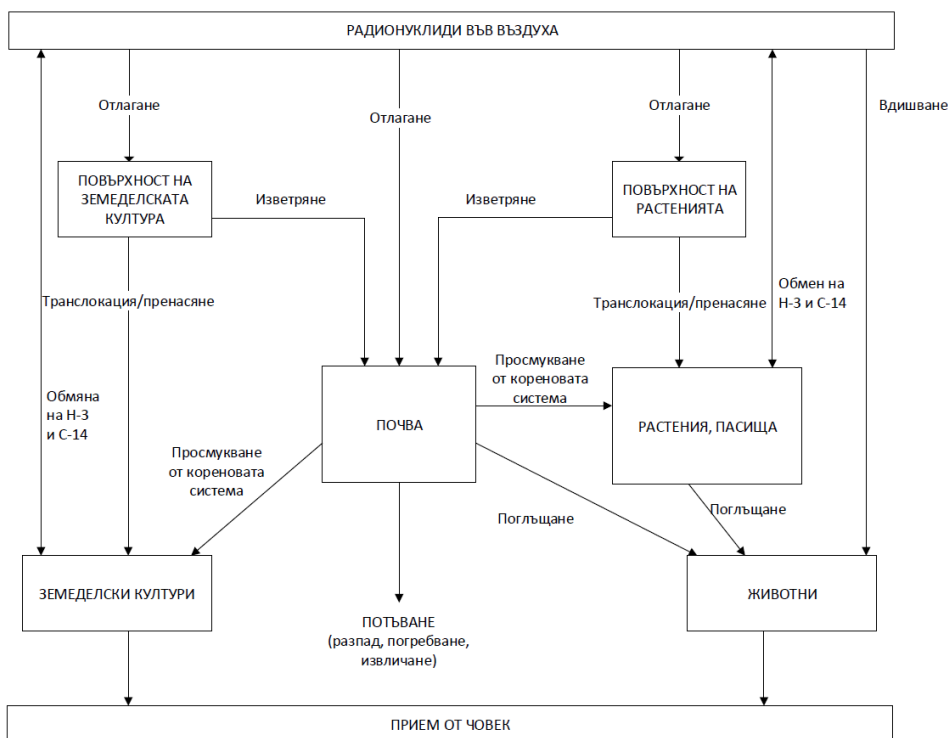
На Фигура 1 е представен концептуален модел на ESTE Годишни въздействия - пътища на излагане на радиационно облъчване.



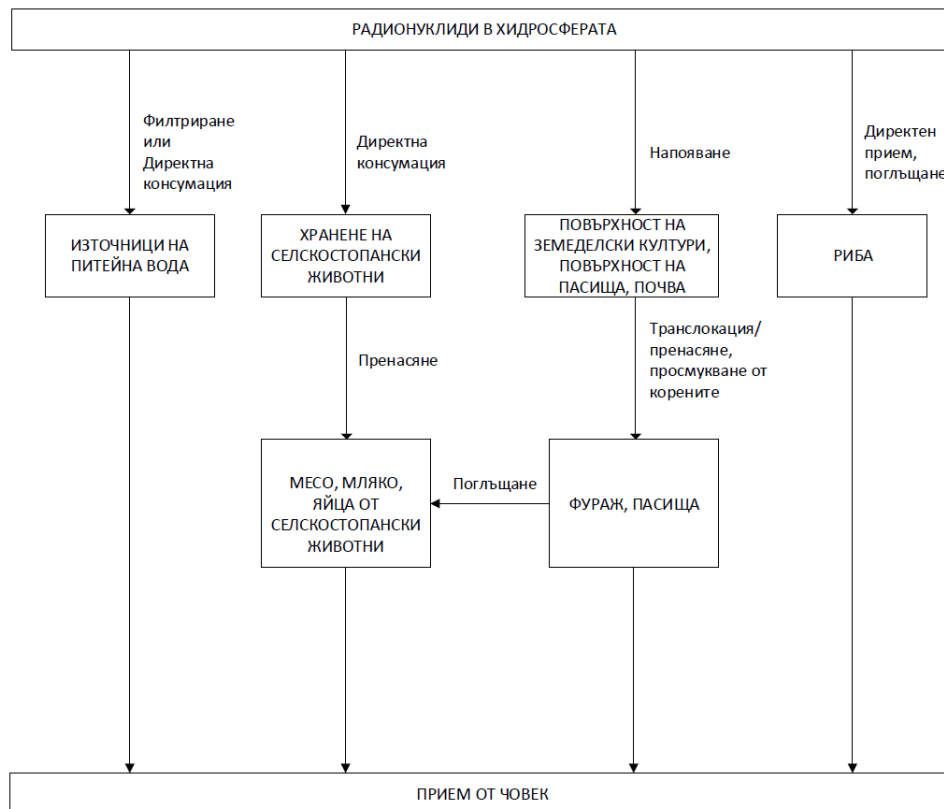
ФИГУРА 1: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ПЪТИЩА НА ИЗЛАГАНЕ НА РАДИАЦИОННО ОБЛЪЧВАНЕ.

На **Фигура 2** е представен концептуален модел на **ESTE** Годишни въздействия: Изчисляване на дозите от поглъщане **вследствие на радиоактивни изхвърляния във въздуха**.

На **Фигура 3** е представен концептуален модел на **ESTE** Годишни въздействия: Изчисляване на дозите от поглъщане **вследствие на течни радиоактивни изхвърляния**.



ФИГУРА 2: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДОЗИТЕ ОТ ПОГЛЪЩАНЕ ВСЛЕДСТВИЕ НА РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ във въздуха.



ФИГУРА 3: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ: ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ДОЗИТЕ ОТ ПОГЛЪЩАНЕ ВСЛЕДСТВИЕ НА ТЕЧНИ РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ.

4 КОНЦЕПЦИЯ ЗА ПРЕДСТАВИТЕЛНО ЛИЦЕ, ПРИЛОЖЕНА В ПРОГРАМАТА ESTE ГОДИШНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ

Под „Представително лице“ се разбира лице, което получава или може да получи доза, която е представителна за лица от населението с по-високо облъчване, дължащо се на даден източник и път на облъчване, изключвайки лицата с екстремни или необичайни навици (съгл. Наредба за радиационна защита³, приета с ПМС № 20 от 14.02.2018 г., посл. изм. и доп. ДВ. бр.110 от 29 Декември 2020г.).

В съответствие с определението за Международната комисия за радиологична защита (ICRP) (ICRP103, 2007 Хроники на ICRP⁴), обичаите и навиците (като консумация на храна, капацитет на дишане, местоположение в околната среда и т.н.) на представителното лице трябва да бъдат типични за малка група от населението. Не се вземат предвид екстремни обичаи на отделен хипотетичен или дори реален човек.

Представителното лице в концепцията на **ESTE Годишни въздействия** се оценява и идентифицира на базата на изчислени индивидуални дози в близост (до 50-100 km) до всяко ядрено съоръжение. Всички пътища на експозиция и всички изпускани нуклиди се вземат предвид.

4.1 ДОПУСКАНИЯ ЗА ОБИЧАИТЕ И ПОВЕДЕНИЕТО НА ПРЕДСТАВИТЕЛНОТО ЛИЦЕ

Представителното лице може да бъде облъчено поради присъствието на радионуклиди в атмосферата и хидросферата. Радионуклидите във въздуха могат да причинят доза от външно облъчване и вътрешно облъчване чрез вдишване. Освен това, представителното лице може

³ <https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2137181041>

⁴ PUBLICATION 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP, публично налични тук: [https://www.icrp.org/docs/icrp_publication_103-annals_of_the_icrp_37\(2-4\)-free_extract.pdf](https://www.icrp.org/docs/icrp_publication_103-annals_of_the_icrp_37(2-4)-free_extract.pdf)

да бъде облъчено от радионуклиди, намиращи се в отлаганията на терена. Радионуклидите в отлаганията (на терена или в почвата) могат да причинят доза от външно облъчване и вътрешно облъчване чрез поглъщане на храни, в които радионуклидите от почвата са преминали през кореновата система или през листната система (растителна респирация или падане на радионуклиди върху листата/повърхността на растението).

Представителното лице може да бъде облъчено чрез прием на радионуклиди, първоначално изпуснати в резултат на рутинната експлоатация на ядрено съоръжение, в хидросферата (повърхностни води):

- Чрез прием на питейна вода;
- Чрез поглъщане на други хранителни продукти, които са били напоявани с вода от реката по време на растеж;
- Или чрез поглъщане на мляко от крави/кози, напоявани с вода от реката.

Престоят на брега на реката (например при риболов), плуването и плаването с лодка или гребането в реката, където са зауствени отпадъчни води, също могат да бъдат незначителен източник на облъчване.

4.2 Допускания за изчисляване на дозите на облъчване на представителното лице

При изчисляване на дозите за представително лице се прилагат следните предположения:

- Вдишване на въздушни радионуклиди: Представителното лице вдишва целия въздух на дадено място (място на пребиваване). Дихателният капацитет е среден, стандартен за възрастовата категория;
- Облъчване от облака и от отлагания на терена: При изчисляване на дозите за представителното лице не се прилага никаква защита (защитен фактор = 1), което означава, че се предполага, че то е навън, на открито, през цялото време.

При изчисляване на дозите от външно облъчване от отлаганията се приема, че отлагането, причинено от емисиите през дадения наблюдаван период (напр. 1 година), води до външно облъчване от отлагането за следващите 15 години. Следователно, в дозата от отлагането на даден радионуклид, общата доза (подобно на "комутирана доза") за следващите 15 години е включена във въздействието на изхвърлянията за дадената година. Даденият радионуклид ще остане отложен на терена или в почвата за още 15 години и ще причини облъчване, което е включено във въздействията за дадената година на изхвърляне, като се взема предвид радиоактивното разпадане на нуклида.

При изчисляване на дозите от поглъщане на храна или вдишване на въздух от представителното лице се определя 50-годишен или 70-годишен период на комутирана ефективна доза (в зависимост от възрастовата категория). В случая за пътищата на поглъщане се приема, че отлагането на даден радионуклид, реализирано в дадена година, се поема от кореновата система на растенията през следващите 15 години. Тоест, приносът на вече отложената активност през следващите 15 години също е включен във въздействията за дадената година, като се вземат предвид радиоактивното разпадане, атмосферните условия и поглъщането на радионуклидите от растенията в почвата, ефективната плътност на почвата, времето между прибирането на реколтата и поглъщането, както и периодът на растеж на растението.

В допълнение моделът позволява изчисление на *Доза за плода при бременни жени – модели за изчисляване на еквивалентна доза за плода*.

Други хипотези относно изчисляването на дозите за населението/жителите:

1. Отлагане на терена и неговият принос към външната експозиция, както и към активността на растенията чрез поемане от кореновата система, се предполага за следващите 15 години. Приема се, че радионуклидът ще остане отложен на терена и ще се смеси в почвата за още 15 години и ще причини облъчване на представителното лице, като се вземат предвид радиоактивното разпадане и преносът към по-дълбоките почвени слоеве. Това означава, че се включва приносът на отложената активност през следващите 15 години към въздействията от изпусканията през текущата година.
2. Когато се изчисляват дозите от поглъщане на храна или вдишване на въздух от представително лице, се определя 50-годишен или 70-годишен период на ангажирана ефективна доза (в зависимост от възрастовата категория). В случая за пътищата на поглъщане се приема, че отлагането на даден радионуклид, изпуснат през годината, ще допринесе чрез поемане от кореновата система на растенията за дозите от поглъщане през допълнителните 15 години. Този принос към дозата от поглъщане се добавя към въздействията на текущата година. Взаема се предвид радиоактивното разпадане и други фактори, като отстраняването на радионуклиди от растенията в почвата, ефективната плътност на почвата, времето между прибирането на реколтата и поглъщането и периодът на растеж на растението.
3. В случай на колективни дози чрез поглъщане се приема принос само на селскостопански продукти, произведени локално. Трансферът на потенциално замърсени продукти между региони не се взема предвид. По подразбиране, локално произведените зеленчуци представляват 50 % от консумираните зеленчуци, като за листните зеленчуци е 100%; останалите са чисти (незамърсени). За други продукти се приема, че локалното производство представлява 10 % от консумираното количество. В случай на прием на отделни „напоявани“ храни, се приема, че представително лице консумира максимум 50 % от храната си от „напояване“.
4. Представителното лице консумира цялата питейна вода от кладенец или водоизточник, в който прониква вода от реката. Оценява се дали населеното място се намира в близост до брега на реката (приблизително на разстояние до 100 m от брега). Ако това е така, тогава моделът приема, че в населеното място може да живее представително лице и това лице реализира цялото си годишно потребление на питейна вода от подземни води, в които прониква водата от водотока. В същото време, при изчисляването на колективната доза за дадена община се приема, че 100 % от жителите на дадена община (по-малко от 2000 жители) пият вода от кладенец (или от водоснабдителна система, която се захранва от подземни води), в която прониква водата от водотока.
5. Представително лице консумира цялото рибно месо от риби, които живеят през целия си живот в реката, в близост до селото/града (само ако това е село/град, чието землище се намира в близост/граничи с реката).
6. Представително лице (на възраст над 2 г.) се къпе 100 часа годишно в реката, в близост до селото/градчето (само ако землището на населеното място се намира на брега на реката).
7. Представително лице (на възраст над 2 г.) прекарва 200 часа годишно на реката в близост до селото/града (само ако това е село/град, чието землище се намира на брега на реката).
8. Представително лице (на възраст над 2 г.) прекарва 100 часа годишно в гребане по реката в близост до селото/градчето (само ако това е село/град, чието землище се намира на брега на реката).

4.3 Допускания на модела за изчисляване на еквивалентната доза за плода

Моделът предполага, че майката е живяла на дадено място в изчислителната зона през цялата бременност, от момента на зачатие на плода. Плодът в тялото на майката е изложен на дългосрочните ефекти от изхвърлянията (хронично облъчване). Бременната жена (майката) има характеристиките на възрастно представително лице. Плодът е облъчен поради вдишването на въздух от майката, поради поглъщането на храна от майката, както и поради външно облъчване от облака и от депозирането на терена. Процедурата за изчисляване на дозата за плода се определя на базата на:

- Публикация 88 на ICRP: Дози за ембриона и плода от приема на радионуклиди от майката (Annals of the ICRP, V.31, 2002 г.)⁵ и
- Документ на Агенцията за защита на здравето, Обединеното кралство: Ръководство за прилагане на коефициенти на дозата за ембриона, плода и кърмачето при оценка на дозата за населението (HPA, 2008 г.)⁶.

При изчисляването на дозата за плода се приема, че майката непрекъснато приема радионуклиди от околната среда около ядреното съоръжение чрез вдишване и поглъщане от момента на зачеването. Бременната жена (майката) има характеристиките на възрастен представителен човек (но не се взема предвид плуването в река, престоя край водата и плаването с лодка).

В уравненията за изчисляване на дозата за плода, получена при поглъщане или вдишване от майката, се приема, че:

- ако избраният период от време за изчисляване на въздействието е по-дълъг от 9 месеца (напр. една календарна година), тогава приемът на нуклиди от майката е еднакъв за целия период и от гледна точка на плода е само 9 месеца (напр. 9/12 от целия избран период за изчисляване на въздействието);
- ако избраният период от време за изчисляване на въздействията е по-кратък или равен на 9 месеца, тогава уравнението за дозата за плода от поглъщане или вдишване от майката е формално идентично с уравненията за възрастовите категории, но прилаганите коефициенти на преобразуване са за "плод".

Изчислената доза за плода включва дозата за ембриона и плода в тялото на майката и 70-годишната ангажирана доза на новороденото, причинена от нуклидите, които то е „донесло на света“ в тялото си при раждане.

При изчисляване на експозицията на представително лице, плодът се разглежда като една възрастова категория. Това означава, че в някои ситуации може да се случи така, че плодът да е най-облъчената група от населението, т.е. плодът да е представително лице.

4.4 Други допускания относно изчисляването на дозите за населението

1. В случай на колективна доза чрез вдишване се приема, че цялото население вдишва само въздуха от дадения сектор. Миграция поради работа и т.н. не се взема предвид.
2. За изчисляване на колективната доза, свързана с износа на селскостопански продукти извън изчислителната зона се приема, че всички неконсумирани продукти (свързани с местното производство и консумационна норма) се изнасят и се консумират от други жители на страната и тези изнесени продукти причиняват колективна доза за цялото население на дадената държава, което живее извън

⁵ ICRP, 2001. Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31 (1-3), публично налично тук: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2088>.

⁶ Guidance on the application of dose coefficients for the embryo, fetus and breastfed infant in dose assessment for members of the public (HPA, 2008), публично налично тук: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7e4b9bed915d74e33f1506/RCE-5_dosecoef.pdf.

изчислителната зона. Това предположение се прилага за изчисляване на колективните дози за жителите на съседни държави. Износът на потенциално замърсени продукти между държавите не се взема предвид.

3. За въглерод-14 (^{14}C) се приема, че неорганичният ^{14}C преминава в хранителната верига в района на изследване. За изчисляване на дозата от вдишване обаче се вземат предвид както органичните, така и неорганичните форми на ^{14}C в същата зона.

4.5 ДОПУСКАНИЯ НА МОДЕЛА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА РАДИОЛОГИЧНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ ВЪРХУ БИОТАТА

ESTE Годишни въздействия включва също модели за изчисляване на радиологични въздействия върху биотата, т.е. върху референтни животни и растения. Концепцията и подходът, внедрен в **ESTE Годишни въздействия** се прилага съгласно методология, описана в:

- Публикация 108 на Международната комисия за радиологична защита (ICRP): Опазване на околната среда: Концепцията и използването на референтни животни и растения, ICRP (2008)⁷;
- Публикация 114 на Международната комисия за радиологична защита (ICRP): Опазване на околната среда: Трансферни параметри за референтни животни и растения, ICRP (2009)⁸;
- Стандарти за безопасност на МААЕ, DS427, Перспективна оценка на радиологичното въздействие върху околната среда от съоръжения и дейности, Извлечени референтни нива на разглеждане⁹.

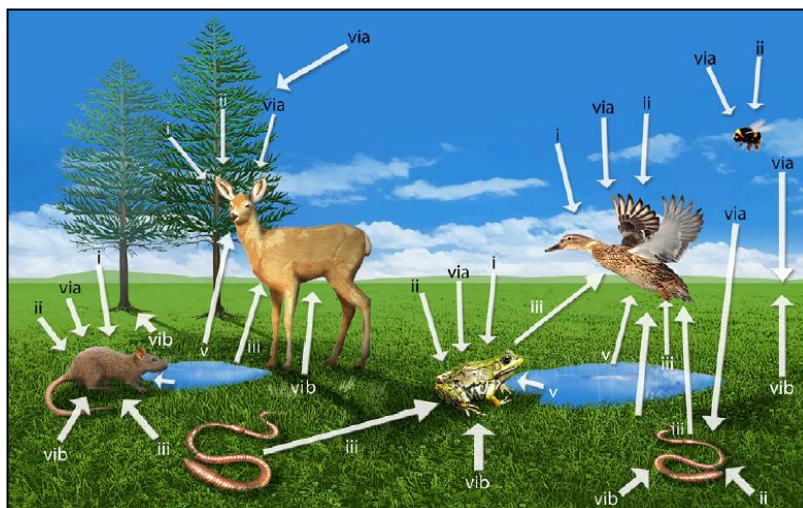
За целите на прилаганата методология се използва списък с референтни животни и растения (RAP).

Въздействията върху БИОТА, според препоръките на МААЕ, се изразяват в Gy/ден. При изчисляването на **ESTE Годишни въздействия**, това е средната доза за наблюдавания период. Пътищата на експозиция/облъчване за сухоземната среда са представени на ERROR! REFERENCE SOURCE NOT FOUND..

⁷ ICRP, 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6), налично публично тук: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%20108>

⁸ ICRP, 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6), налично публично тук: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20114>

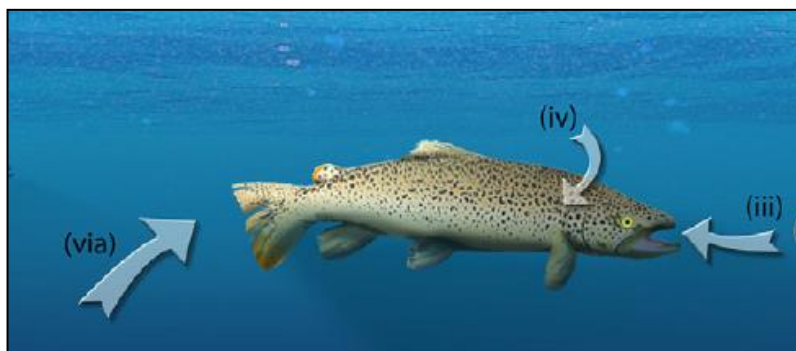
⁹ IAEA SAFETY STANDARDS, DS427, Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities, DERIVED CONSIDERATION REFERENCE LEVELS, публично налично тук: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1819_web.pdf



- i – вдишване
- ii – замърсяване на кожата
- iii – поглъщане
- v – прием на вода
- via – външно, въздух
- vib – външно, почва

ФИГУРА 4: ПЪТИЩА НА ЕКСПОЗИЦИЯ/ОБЛЪЧВАНЕ ЗА СУХОЗЕМНАТА СРЕДА.

Пътищата на експозиция/облъчване за сладководната среда са представени на ERROR! REFERENCE SOURCE NOT FOUND..



- iii – поглъщане
- iv – прием на вода
- via – външна експозиция/
облъчване от водата

ФИГУРА 5: ПЪТИЩАТА НА ЕКСПОЗИЦИЯ/ОБЛЪЧВАНЕ ЗА СЛАДКОВОДНАТА СРЕДА.

5 ОЦЕНКА НА РАДИОБИОЛОГИЧНИТЕ ЕФЕКТИ ОТ РАДИОАКТИВНИ ИЗХВЪРЛЯНИЯ В ХИДРОСФЕРАТА

За оценка на радиологичното въздействие върху човешкото население и върху нехуманната биота от радиоактивни изхвърляния в хидросферата от ядрени съоръжения на площадката „Козлодуй“ (както съществуващи съоръжения, така и планирани нови блокове), ще бъде приложена програмата **ESTE Годишни въздействия**. За тази оценка ще бъде използван **хидроложки модел на района на Козлодуй**, включително модел на река Дунав до нейното устие в Черно море, адаптиран за използване в рамките на системата ESTE и имплементиран в **ESTE Годишни въздействия**.

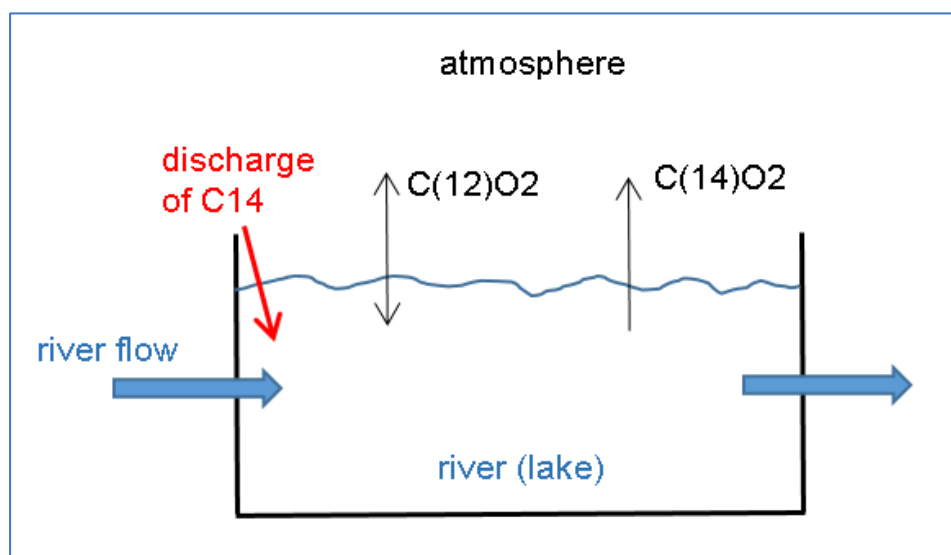
В рамките на програмата **ESTE Годишни въздействия**, хидросферата се разглежда като система от речни течения, водоеми, езера или морска среда. Моделът на хидросферата, приложен в **ESTE Годишни въздействия**, е описан в т. 2.2 по-горе.

•

Този модел позволява **детайлно проследяване и оценка на въздействието върху хидросферата** от попадналите в нея радиоактивни изхвърляния.

Програмата **ESTE Годишни въздействия** включва също така **всеобхватен и сложен модел за неорганичен въглерод-14 (C-14)** в течни отпадъчни води, т.е. програмата моделира обемната активност на неорганичната форма на C-14 във **риби, обитаващи реката**, както и в **растения, напоявани с вода от замърсената река**.

Схемата на пренос на $C(14)O_2$ между различни компоненти на околната среда е представена на **ФИГУРА 6**.



ФИГУРА 6: СХЕМА НА ПРЕНОС НА $C(14)O_2$ МЕЖДУ РАЗЛИЧНИ КОМПОНЕНТИ НА ОКОЛНАТА СРЕДА

В модела се разглеждат разтворими неорганични форми на въглеродни съединения (особено CO_2), обозначавани като **разтворен неорганичен въглерод (DIC)**. Приема се, че специфичната активност в **фитопланктона** и в **речната вода** е еднаква, поради бързия метаболизъм на тези микроорганизми. Частта от разтворените съединения, която не е усвоена от микроорганизмите, се обменя с атмосферата – особено CO_2 . Моделът приема съществуването на **градиент на концентрация на $C(14)O_2$ между водата и атмосферата**, но не и на CO_2 (вж. фигурата). Едновременно с това се предполага, че общото количество CO_2 във водата не се изменя или се изменя незначително.

6 ВИДОВЕ ОБЛЪЧВАНЕ

Облъчването от йонизиращи лъчения може да бъде съществуващо, планирано (предвидено) и аварийно. В хода на експлоатацията на ядрена електроцентрала *планирано облъчване* е това по отношение на персонала и населението. *Професионалното облъчване* при нормални условия на работа е облъчване с относително постоянни мощности на дозата с ниски дози в продължение на години. Но съществува риск от облъчване със значително високи дози, реализирани за кратко време. Облъчването може да е и:

- Според продължителността (времето): остро, подостро и хронично, както и кратковременно, продължително и фракционирано.
- Според локализацията: цялостно и локално;
- Според начина на облъчване: вътрешно (от източници, намиращи се в тялото) и външно (от източници, намиращи се извън тялото).

Според здравните ефекти, дължащи се на облъчването, дозите на облъчване се разделят на:

- Ниски или малки дози – до 0.2 Gy (или Sv) при мощности до около 0.1 Gw/h;
- Големи или високи дози – над 1.0-1.5 Gy;

→ Средни дози – междинни стойности.

Резултатът от всички радиационни въздействия върху живия организъм се нарича дозово натоварване, което зависи от:

- физическите характеристики на източниците на облъчване;
- особеностите на облъчваните тъкани;
- продължителността на въздействие.

7 БИОЛОГИЧНО ДЕЙСТВИЕ НА ЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ

Ефектите от биологичното действие на йонизиращите лъчения най – общо се делят на два вида – соматични и генетични увреждания.

Известно е, че йонизиращите лъчения са мощен мутагенен фактор. Молекулата на ДНК в клетката е главната мишена. Въздействието на йонизиращите лъчения води до двойно верижни разкъсвания на ДНК молекулата. Тези увреждания могат да се възстановят напълно. На клетъчно ниво това равновесие между увреждане и регенерация може да се мени - от пълно измиране на клетъчната популация до нейното намаляване. Това означава, че увреждането, което радиацията предизвиква в живите организми, при подходящи условия нормалната структура и нормалната функция могат да бъдат възстановени, т.е. увреждането, предизвикано от поглъщането на енергия от йонизиращо лъчение, може да бъде репарирено в различни степени съобразно условията на облъчването и характера на тъканта. На клетъчно ниво някои от радиационно индуцираните ефекти и тяхната репарация протичат много бързо, а други изискват часове или още по-големи интервали от време. Индивидуалната лъчечувствителност може да се мени в широки граници под влияние на различни генетични фактори, фактори на външната среда и пр.

В резултат от съвкупността от процеси, протичащи на молекулярно, клетъчно, тъканно и органно ниво под въздействието на йонизиращото лъчение в организма настъпват следните радиационни увреждания.

7.1 ДЕТЕРМИНИСТИЧНИ ЕФЕКТИ (НЕСТОХАСТИЧНИ)

Наричат се още ранни, детерминирани или прагови. За „Детерминистичен ефект“ съществува легално определение в Наредба за радиационна защита като увреждане на здравето от въздействие на йонизиращо лъчение, което може да възникне над определено прагово ниво на дозата, като тежестта на проявения вреден ефект (реакцията на облъчена тъкан или орган) се увеличава с нарастване на получената доза.

Детерминистичните ефекти са прагови, вредни ефекти, проявяващи се в различни органи и системи (вкл. лъчева болест), за които има минимална доза (дозов праг). Тежестта на тези ефекти расте пропорционално на дозата. За повечето органи и тъкани дозовите прагове са около 500 mSv. Повечето детерминирани ефекти се проявяват веднага или в кратки срокове след облъчването.

Детерминирани ефекти са острата лъчева болест (остър радиационен синдром), хроничната лъчева болест, лъчева катаракта, лъчев радиодермит, потискане на кръвотворенето в костния мозък, угнетяване на сперматогенезата, нарушени функции на яйчниците, траен стерилитет, при увреждане на главния мозък на плода по време на бременността – умствено изоставане, атрофия на мозъка и други, които се наблюдават при надхвърляне на определена прагова доза.

Системите за възстановяване на организма са в състояние да компенсират тези увреждания, получени при облъчване с ниски дози /до 0.3 Sv/. Но при по-високи дози тези компенсаторни възможности се изчерпват. При човека това става при дози от порядъка на 1 Sv, при които се наблюдават симптоми на остра лъчева болест или т.нар. остър радиационен синдром. При

дозы от порядъка на 4 Sv /наречени LD₅₀/ около 50 % от облъчените умират. Дози над 5-7 Sv /LD₉₀/ водят до смърт на около 90% от облъчените.

Появата на детерминистични ефекти при отделните хора е различно. Те зависят освен от характеристиките на лъчението и дозата на облъчване и от физиологичното състояние на организма, способността на организма да възстанови уврежданията.

7.2 СТОХАСТИЧНИ ЕФЕКТИ

Стохастичните ефекти са безпорови, вероятностни ефекти, които се проявяват при облъчвания с относително ниски дози, които не могат да доведат до детерминистични ефекти, но могат да доведат до стохастични здравни последици в резултат на клетъчни модификации и трансформация. Вероятността за тяхната поява нараства с нарастване на дозата и зависи както от дозата, така и от лъчечувствителността на облъчваната тъкан. Увредените клетки запазват способността си за възпроизводство.

Наредба за радиационна защита дава следното определение за стохастичен ефект, а именно: *"Стохастичен (вероятностен) ефект" е вреден за здравето ефект от въздействието на йонизиращо лъчение, за който се приема, че няма праг на дозата и вероятността за възникване е пропорционална на получената доза, като тежестта на вредния ефект не зависи от дозата."*

Тези ефекти **не са дозово детерминирани** и **няма праг**, надвишаването, на който да доведе до възникването им. По отношение на зависимостта **доза-ефект** тук се получава стохастично /вероятностно/ разпределение на случаите, т.е. с повишаване на дозата нараства вероятността за заболяване, а не тежестта му, както е при детерминистичните ефекти. Стохастичните ефекти имат случаен, вероятностен характер и тяхната проява зависи от физиологичните особености на организма, от неговата способност да репарира уврежданията. Тъй като запазват възпроизводителната си способност, модифицираните клетки създават своя популация. Тази популация може да бъде унищожена от защитните механизми на организма. Но когато поради редица причини това не стане след определен латентен период се проявява стохастичен ефект, като вероятността за неговата поява зависи от броя на възникналите след облъчване модифицирани клетки и колкото по-голям е техният брой, толкова по-голяма е вероятността за оцеляването им. Времето на проява на стохастичните ефекти и тежестта им не зависи от получената доза. Тъй като радиацията не е единствената позната причина за повечето от тези ефекти е почти невъзможно да се определи клинично дали индивидуален случай е резултат от радиационно излагане или не.

- **Соматични (рак)** - Късни соматични ефекти – злокачествени новообразувания, появяват се години и десетилетия след облъчването – след латентен период.

Злокачествените новообразувания /различни форми на карциноми и левкози/ са късни соматични ефекти. Характерно за тях е, че се проявяват след дълъг латентен период - от няколко години до десетилетия. Решаващо значение има появата на унаследено изменение в генетичния апарат на клетката. Оценката на канцерогенния риск е трудна, поради високата спонтанна честота на туморни заболявания и ежегодните ѝ колебания. Оценката на риска се извършва чрез наблюдение на групи хора, получили по-високи дози, тъй като само в тези групи след дългогодишни изследвания е установена повишена честота на злокачествените новообразувания. Такива оценки са обект на радиоепидемиологични проучвания. Резултатите от тези наблюдения позволяват да се създадат модели на зависимостта доза-допълнителен риск, които модели да се екстраполират за малки дози. При високи дози зависимостта **доза-риск** е линейна безпорова, т.е. допълнителният риск е правопрпорционален на дозата. За по-често срещани злокачествени заболявания се определя коефициент на риска, отчитащ риска вследствие на еднократно облъчване с определена доза за целия

остатък от живота на облъчените лица (коефициент на пожизнен риск). При много високи дози и мощности на дозата зависимостта **доза-риск** е линейно-квадратична, т.е. допълнителният риск намалява по-бързо с намаляване на дозата.

- **Генетични (наследствени)**- генни мутации и хромозомни аберации, проявяват се в поколението на облъчения индивид.

Генетичните ефекти се дължат на облъчването на половите клетки преди или в репродуктивна възраст, в резултат на което възникват мутации, които се предават на поколението. Йонизиращата радиация е мощен мутаген и най-честите генетични увреждания, които предизвиква са генните мутации и хромозомни аберации. Оценката на генетичния риск от въздействието на йонизиращата радиация е трудна, поради високата спонтанна честота на генетичните увреждания. И тук се прилага линейната безпрагова зависимост, характеризираща отношението **доза-генетичен риск**. Оценката на генетичния риск може да се извърши по два начина: При първия, генетичният риск се изразява чрез честотата на генетичните увреждания на единица доза. При втория, генетичният риск се изразява, чрез дозата, която удвоява естествената мутационна честота.

Терминът „**радиационен генетичен риск**” означава вероятност за вредни генетични ефекти, проявяващи се в потомството на популацията, подложена на радиационно облъчване. Оценката разглежда проблема във връзка с три основни фактора:

- способност на йонизиращите лъчения да индуцират мутации както в соматичните, така и в половите клетки;
- възможност за предаване на индуцираните мутации на потомството;
- генни мутации и хромозомни аберации, възникнали спонтанно, които са в основата на наследствената патология.

Тези ефекти се изразяват в превишаване на фоновата честота на генетичните заболявания в популацията на единица доза облъчване с ниска ЛПЕ (*линейното предаване на енергията*) при хронично облъчване с ниски дози. В случай че облъчването с йонизиращи лъчения може да бъде причина за наследствено увреждане по описания механизъм, то следва и въпроса колко голямо е това увреждане и колко дълго може да персистира (да се констатира).

- **Тератогенни ефекти**

При облъчване по време на бременност се увеличава възможността от възникване на нарушения на здравето на децата, които са били облъчени по време на развитието си в утробата на майката. Тератогенните ефекти са соматични ефекти, а не генетични, т.е. дължат се на облъчване на самия плод по време на вътреутробното развитие, а не на облъчване на организма на майката. Те може да са детерминирани или стохастични.

Основните видове тератогенни ефекти са:

- Смърт на зародиша в резултат на облъчване през първите три седмици след зачеване. При по-ниски дози от 100 mSv вероятността от смърт на зародиша е много малка и няма причина да се смята, че съществува значителен риск за здравето на детето след неговото раждане;
- Различни видове малформации в органа, който се развива по време на облъчването – около 3-та до 8-ма гестационна седмица след началото на бременността. Този ефект има дозов праг от порядъка на 100 mGy;
- Изоставане в умственото развитие при облъчване между 8-ма до 25-та седмица и дозов праг около 100 mGy;
- Увеличаване на вероятността за рак при новородени деца при облъчване, в който и да е етап на бременността.