



БАЗОВІ ЗНАННЯ З ЯДЕРНОЇ НЕБЕЗПЕКИ: УРОКИ ЧОРНОБИЛЯ І ФУКУСІМИ

Віктор Поярков



СПИСОК

співавторів, які внесли вклад у поліпшення змісту книги і зробили її більш зрозумілою для всіх

<i>Бадалян Степан</i>	Вірменія
<i>Бантуш Анатолій</i>	Молдова
<i>Барнова Тея</i>	Грузія
<i>Бареллі Алессандро</i>	Сан-Марино
<i>Челідзе Лія</i>	Грузія
<i>ЕльМоурах Азелараб</i>	Марокко
<i>Георгієва Ліліана</i>	Болгарія
<i>Гібсон Келсі</i>	США
<i>Грудень Ярослава</i>	Україна
<i>Качанов Сергій</i>	Росія
<i>Казімірова Галина</i>	Україна
<i>Холоша Володимир</i>	Україна
<i>Колео Колєв</i>	Болгарія
<i>Коршунов Сергій</i>	Росія
<i>Мачаваріані Марина</i>	Грузія
<i>Массюе Жан-П'єр</i>	Франція
<i>Марченко Тетяна</i>	Росія
<i>Майєр Кессі</i>	США
<i>МакГрорі-Кліза Ізабель</i>	США
<i>Оджагов Габіб</i>	Азербайджан
<i>Раймонд Аманда</i>	США
<i>Слайтон Хейлі</i>	США

ПЕРЕДМОВА

Один із найважливіших уроків аварії на Чорнобильській АЕС в тому, що влада із запізненням повідомила людям про тяжкість аварії і прийняла необхідні захисні заходи, і це збільшило її вплив на людей.

Ті ж сумніви і відсутність прозорості з боку влади, на жаль, були повторені і в аварії на Фукусімі. Такі помилки в наш час неприпустимі громадянами. При демократії влада підзвітна народові і судам. Отже, рішення, що впливають на життя всіх, повинні бути взяті під пильний контроль громадськості. Ось чому життєво важливо переосмислити управління ризиками, в тому числі радіаційними, поліпшити спосіб, яким в демократичному суспільстві громадяни залучені до прийняття основних рішень, що стосуються їх безпеки і життя.

Рада Європи виступає за більш активну участь громадян у прийнятті рішень, які торкаються їх життя. Наша організація заснована на фундаментальних цінностях прав людини, верховенстві права і демократії. Всі ці цінності були проігноровані політичною системою, яка була свідком аварії на Чорнобильській АЕС. Демократія є необхідною, якщо ми хочемо побудувати більш безпечно, більш стійке суспільство. Люди мають право бути поінформовані про ризики, що оточують їх, і органи державної влади зобов'язані залучати їх до заходів та процедур, спрямованих на їх захист від ризиків. Одним з основних аспектів безпеки є доступ до відповідної інформації, що стосується безпеки, яку деяка промислова діяльність може представляти для населення.

Ця книга є результатом проекту, ініційованого Європейською і Середземноморською угодою про великі небезпеки (EUR-OPA) Ради Європи, про радіаційні небезпеки, в тому розумінні, що поліпшення інформації про ризики допоможе захистити населення. Мета книги, яка у вас в руках, - амбіційна: надати базові знання про ядерну безпеку, які були б прийнятні і цікаві для різних груп людей: вчителів, журналістів, керівників, студентів та інших. Як показали Чорнобиль і Фукусіма, є тільки одне надійне джерело інформації в разі надзвичайної ситуації - власний аналіз людьми вихідної інформації на основі власних базових знань.

Ми вважаємо, що вчені-ядерники самі не можуть створити таку книгу, тому було вирішено, що тільки перший варіант повинен бути підготовлений фізиком-ядерником. Вона уважно вивчалася фахівцями. Потім книга була переведена на одинадцять мов і широко обговорювалася в Азербайджані, Вірменії, Бельгії, Болгарії, Франції, Грузії, Люксембурзі, Марокко, Молдові, Росії, Сан-Марино, Туреччині, Україні, США та інших країнах. Ми отримали багато корисних пропозицій від журналістів, керівників, викладачів і студентів, які сприяли поліпшенню тексту і зробили його більш зрозумілим для людей в усьому світі (див. доданий список співавторів). Ми вдячні їм всім і щиро сподіваємося, що ця книга допоможе поширенню базових знань з ядерної безпеки.

Еладіо Фернандес-Гальяно,

Виконавчий секретар Європейської та Середземноморської угоди
про великі небезпеки (EUR-OPA) Ради Європи

ЗМІСТ

1. Вступ	4
2. Природа радіоактивності, радіоактивні та стабільні атоми, типи радіації	5
3. Взаємодія випромінення з речовиною	6
4. Джерела випромінення	7
<i>Природна радіація</i>	7
<i>Штучна (антропогенна) радіація</i>	8
5. Опромінення людини	11
6. Дія радіації на здоров'я	15
7. Вимірювання радіації	17
8. Ядерні аварії – попередження, готовність та реагування	17
9. Що ми повинні робити у разі ядерної аварії?	21
Доповнення	23

1. Вступ

Ядерна аварія на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС) в 1986 році сколихнула світ. Більш ніж 100 000 чоловік в Білорусі, Росії та Україні були евакуйовані із забруднених районів, понад 5 мільйонів людей отримали додаткове опромінення. У Франції, Німеччині, Польщі та інших країнах Європи були здійснені заходи радіаційного захисту. Ядерна аварія 2011 року в Фукусімі довела, що кожному ядерному реактору притаманна ядерна небезпека. Суспільне сприйняття ядерних аварій у Чорнобилі та Фукусімі ясно продемонструвало вражаючу неефективність інформування людей про радіаційну небезпеку, пов'язану з викидом радіонуклідів в навколишнє середовище.

Дози опромінення в Європі від радіоактивного йоду-131, викинутого в Фукусімі, були менше однієї тисячної опромінення від природних радіонуклідів, таких як радон або калій. Але йод-131 викликав панічний страх значної частини населення в багатьох європейських містах. У разі ядерних аварій тільки деякі люди довіряють офіційній інформації національних органів влади або експертів в оцінці радіаційних ризиків. Цей факт ясно показує, що існує тільки один спосіб надати достовірну інформацію про ядерну небезпеку людям - це дати людям базові знання про радіаційну небезпеку для створення їхніх власних можливостей в оцінці ризику.

На жаль, рекомендації про дії в разі ядерних аварій у вигляді відповідей на найбільш поширені питання зазвичай не працюють. Щоб правильно зрозуміти відповіді на деякі важливі питання, необхідно мати базові знання. У багатьох випадках невеликі дози опромінення від штучних радіонуклідів (таких як йод-131, цезій-137 або стронцій-90) інтерпретуються населенням як такі, що мають набагато більший ризик, ніж опромінення від природної радіації. Але в обох випадках небезпечний той же фактор: гамма, бета чи альфа-випромінення, а міра небезпеки - доза опромінення.

В даний час в деяких країнах більше 50% електроенергії виробляється на атомних електростанціях (АЕС), радіоактивні матеріали широко використовуються в медицині, промисловості, транспорті, військовій та інших галузях людської діяльності. Ми опромінюємося природною радіацією з космосу і землі (від граніту, торієвого піску) або через споживання природно радіоактивного калію, чи вдихаючи радіоактивний радон.

Радіаційне випромінення є частиною нашого життя. З іншого боку, існують ризики ядерних і радіаційних аварій, коли в результаті опромінення можна втратити життя. Всі люди повинні запитати себе:

Що таке реальна ядерна та радіаційна небезпека, яка її природа? Що ми повинні робити в разі ядерної або радіаційної аварії?

І знати відповіді на ці питання.

2. Природа радіоактивності, радіоактивні та стабільні атоми, типи радіації

Всі речовини складаються з атомів. Атом складається з позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, що оточують його. Атомне ядро складається з позитивно заряджених протонів і нейтронів, які не мають заряду. Заряд ядра визначається кількістю протонів в ядрі (див. Доповнення, стор. 5).

Хімічні властивості атомів залежать тільки від кількості електронів, що дорівнює числу протонів у ядрі. Є атоми з однаковими хімічними властивостями, але різною кількістю нейтронів у ядрі, отже, вони мають різні фізичні властивості. Деякі з таких атомів, зберігаючи однакові хімічні властивості, можуть бути нестабільними або радіоактивними.

Радіоактивність - це здатність деяких ядер мимовільно (спонтанно) перетворюватися в інші ядра або в ті самі, але з меншою енергією. Надлишкова енергія випускається у вигляді альфа, бета або гамма-випромінення (в особливих випадках нейтронів або інших частинок).

Атоми з однаковими хімічними властивостями і різним числом нейтронів називаються ізотопами або нуклідами. Радіоактивні ізотопи називаються радіонуклідами. Приміром, існує три основні ізотопи водню. Легкий ізотоп має ядро тільки з одного протона і він стабільний, його масове число $A = 1$ і символ ${}^1\text{H}$. Дейтерій - це ще один ізотоп водню. Він має ядро, яке складається з протона і нейтрона, і також стабільний. Його масове число $A = 2$ і символ ${}^2\text{H}$. Однак ізотоп водню, який має ядро, що складається з одного протона і двох нейтронів, є нестабільним. Це тритій, його символ ${}^3\text{H}$. Стабільним ізотопом йоду є ${}^{127}\text{I}$, ізотоп ${}^{131}\text{I}$ (або йод-131) є радіоактивним. Обидва ізотопи мають однакові хімічні властивості. Елементи в природі це, в деяких випадках, суміш стабільних і довгоживучих ізотопів, наприклад звичайний калій, який присутній в мінералах і продуктах харчування, це суміш стабільних ізотопів ${}^{39}\text{K}$ і ${}^{41}\text{K}$ та долгоживучого радіоактивного ${}^{40}\text{K}$.

У разі якщо ізотоп радіоактивний, яка одиниця виміру радіоактивності? Один розпад в секунду - це одиниця радіоактивності, яка називається бекерель (символ Бк.). Застаріла одиниця радіоактивності - кюрі (Ки). 1 Ки дорівнює 3.7×10^{10} Бк. Різні радіоактивні ізотопи (радionукліди) мають різні швидкості розпаду. Швидкість розпаду характеризується періодом напіврозпаду, який дорівнює часу, за який половина з усіх радionуклідів розпадеться і перетвориться в інші атоми. За один період напіврозпаду радіоактивність зменшується в два рази, за 2 періоди напіврозпаду - зменшується в 4 рази, за 3 - в 8 разів і т.д. Короткоживучі радionукліди мають більш високу радіоактивність, ніж така ж кількість довгоживучих радionуклідів. Наприклад, йод-131 (${}^{131}\text{I}$) має період напіврозпаду 8.02 дня, а цезій-137 (${}^{137}\text{Cs}$) має період напіврозпаду 30.07 років, так що ${}^{131}\text{I}$ має в 1370 разів більшу радіоактивність, ніж ${}^{137}\text{Cs}$.

Ядерна енергія може бути вивільнена не тільки при радіоактивному розпаді, але і в ядерних реакціях. Це відбувається, коли одні ядра взаємодіють з іншими і утворюють нові

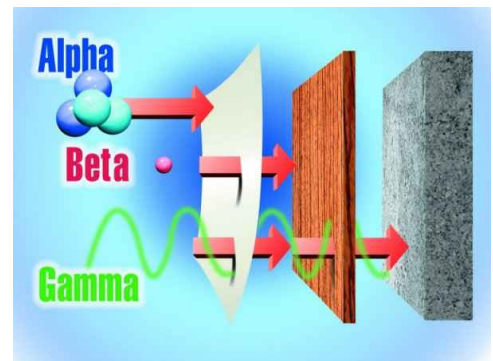
ядра, при цьому також може виділятися енергія. Наше Сонце та інші зірки світять в результаті ядерних реакцій. Усі існуючі ядерні реактори виробляють енергію завдяки контрольованій ланцюговій ядерній реакції поділу, яка, на жаль, також виробляє велику кількість відходів з дуже високою радіоактивністю - головним джерелом радіаційної небезпеки. Теоретично є можливість створення ядерних реакцій, які вироблятимуть енергію без радіоактивних відходів, але поки ніхто не знає, як це зробити. Це гарна тема для майбутніх досліджень.

3. Взаємодія випромінювання з речовиною

Іонізуюче випромінювання - потік альфа, бета або гамма-частинок - є в основному результатом радіоактивного розпаду ядер. Крім того, джерелами іонізуючого випромінювання можуть бути ядерні реакції, такі як поділ ядер або ядерний синтез, а також установки, в яких прискорюються заряджені частинки.

Енергія радіоактивного розпаду виділяється як радіація в трьох основних формах: альфа-частинки, бета-частинки і гамма-промені з різними енергіями.

Заряджені частинки, такі як бета-частинки (потік електронів або антиелектронів) і альфа-частинки (потік ядер гелію-4), безпосередньо взаємодіють з атомними електронами речовини і передають енергію для іонізації або збудження атомів і молекул. Оскільки альфа-частинки важкі і мають подвійний заряд, вони сильніше взаємодіють з речовиною, виробляють більшу кількість іонів на одиницю довжини їх шляху. В результаті вони мають найменшу проникаючу здатність. Наприклад, альфа-частинки з ^{226}Ra можуть пройти тільки близько 4 см в повітрі і зупиняються звичайним аркушем паперу. Вони зможуть пройти тільки близько 4 мкм тканини тіла.



Як і альфа-частинки, бета-частинки мають середню відстань (діапазон) проходження через речовину, яка залежить від їх енергії. Наприклад, бета-частинки з розпаду ^{137}Cs зможуть пройти до 8 м в повітрі і близько 10 мм у воді і будуть повністю поглинутися 1 мм сталі.

Гамма-кванти (промені) і рентгенівські промені не іонізують всі атоми уздовж свого шляху, як альфа чи бета-частинки. Тільки деякі з них взаємодіють з атомними електронами і передають енергію електрону, але значна частина випромінювання проходить через речовину без зміни енергії. Гамма-промені мають високу проникаючу здатність, особливо гамма-промені з високою енергією. Вони також мають менше можливостей для взаємодії з живою тканиною. Так гамма-випромінювання від ^{137}Cs втратить половину своєї інтенсивності після проходження 5 см бетону або 1,7 см сталі, або 1 см свинцю.

Нейтрони не взаємодіють безпосередньо з електронами речовини, і вони не можуть безпосередньо іонізувати атоми. Вони взаємодіють з атомними ядрами і після цього передають енергію речовині. Нейтрони можуть утворювати радіоактивні ядра, які випускають іонізуюче випромінювання в результаті розпаду.

Коли енергія випромінювання передається речовині, відбуваються хімічні зміни на атомарному та молекулярному рівні. Якщо вплив досить великий, ці зміни можна спостерігати. Наприклад, якщо скло сильно опромінити, воно змінює колір.

Кількість поглиненої на грам речовини енергії випромінення називають поглиненою дозою. Поглинена доза є мірою здатності випромінення нанести ушкодження живим тканинам і мірою радіаційної небезпеки. **Грей** (Гр) має розмірність (Дж/кг) і є одиницею поглиненої дози в системі СІ. Це кількість випромінення, при якому 1 **джоуль** енергії поглинається в 1 **кілограмі** речовини. **Рад** є застарілою одиницею дози і дорівнює 0.01 Дж поглиненому в 1 кг речовини. 100 рад = 1 Гр.

4. Джерела випромінення

Природна радіація

Земна радіація. Коли виник наш Всесвіт, були утворені не тільки стабільні ізотопи, але і радіоактивні. Ці стабільні і радіоактивні ізотопи були речовиною, з якої була сформована наша планета Земля. З того часу більшість радіонуклідів розпалися, але деякі з них, такі як уран-235 і 238, торій-232 і калій-40, які мають дуже великий період напіврозпаду, як і раніше існують. Період напіврозпаду урану-238 близько 4.5 мільярдів (10^9) років, урану-235 - 0.71×10^9 років, торію-232 - 14×10^9 років і калію-40 - 1.3×10^9 років. Коли розпадаються радіонукліди урану-235 і 238 або торію-232, вони утворюють радіонукліди, які в свою чергу також радіоактивні. Уран і торій ініціюють ланцюжки радіоактивних сімейств, які майже завжди присутні, якщо є батьківський радіонуклід. Хоча багато з дочірніх радіонуклідів короткоживучі, наприклад радон, вони присутні в навколишньому середовищі, тому що постійно утворюються з довгоживучих батьківських радіонуклідів (див. Доповнення, Таблиця 1).

Радон, невидимий газ, без запаху, приблизно у вісім разів важчий за повітря, є найбільш важливим радіонуклідом в опроміненні людини (він дає близько половини сумарної дози опромінення людини від природної радіоактивності). Він має дві основні форми - радон-222, один з радіонуклідів в сімействі, сформованому розпадом U-238, і радон-220, вироблений при розпаді сімейства Th-232.

Радон є продуктом розпаду урану або торію і виробляється будь-якими матеріалами, що містять уран або торій, такими як скелі, ґрунт, будівельні матеріали та ін. Всі ці матеріали випускають радон в атмосферу. Оскільки радон інертний газ (також відомий як благородний газ), він може вийти із землі в атмосферу. Кількість радону, яка випускається із землі, залежить від вмісту в ній урану або торію. Концентрація радону в повітрі залежить також від припливу свіжого повітря. У підвалах, печерах і шахтах, які мають погану вентиляцію повітря, концентрація радону може досягати високого рівня. Ефективна вентиляція в шахтах часто буває необхідна для підтримки концентрації радону нижче тих рівнів, які небезпечні для робітників.

Радон досить швидко розпадається, утворюючи серію дочірніх радіонуклідів (див. Доповнення, Таблиця 1). Після того, як радіонукліди потомства радону утворені в атмосфері, вони захоплюються частинками пилу або води в повітрі, які можуть безпосередньо вдихатися людиною або осідати на ґрунт і рослини. Дощ ефективно очищає атмосферу від радону і дочірніх продуктів. Концентрація радону в приміщеннях в середньому приблизно в 10-20 разів вища, ніж на відкритому повітрі.

Космічні промені. Ще одним природним джерелом випромінювання є ядерні реакції в зірках. Ядерні реакції виробляють космічне випромінення, яке складається з протонів і

електронів з високими енергіями, інших частинок, гамма-променів і рентгенівського випромінення. Наша найближча зірка - Сонце - виробляє більшу частину космічних променів, що досягають Землі. Магнітне поле і атмосфера Землі захищають людей від космічного випромінення, без цього люди не змогли б жити на поверхні землі.

Інтенсивність космічних променів значно зростає, коли ви знаходитесь на великій висоті - в літаку або в горах. Космічне випромінення також виробляє в атмосфері деякі радіонукліди, такі як ^{14}C і ^3H .

Штучна (антропогенна) радіація

Антропогенні радіонукліди є результатом діяльності людини. Основними джерелами штучного випромінення є виробництво ядерної зброї і ядерні реактори, а також їх супутні виробництва (видобуток урану, виробництво і переробка ядерного палива, радіоактивні відходи). Крім того, радіонукліди та інші джерела випромінення, такі як генератори рентгенівських променів або прискорювачі заряджених частинок, широко використовуються в промисловості, медицині і військовими.

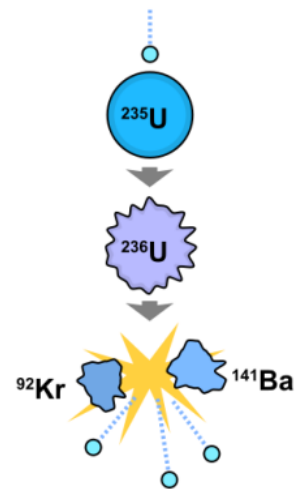
Багато з цих об'єктів створюють радіоактивні відходи і викидають деяку контрольовану кількість радіонуклідів у навколишнє середовище. Радіоактивні матеріали використовуються і в споживчих товарах, таких як детектори диму. Наслідки ядерних випробувань і ядерних аварій також є джерелами антропогенного випромінення.

Ядерні реактори є найбільшим джерелом випромінення і джерелом радіаційної небезпеки. На сьогоднішній день для виробництва ядерної енергії в основному використовується ланцюгова реакція поділу ядер. Важке ядро, наприклад уран-235 (^{235}U), розщеплюється на два більш легких ядра і кілька нейтронів. Надлишок ядерної енергії в кінцевому підсумку перетворюється в теплову енергію і потім - в електроенергію. При цьому основною проблемою є безпека, оскільки утворені при поділі ядра є радіоактивними.

В даний час близько 16% всієї електроенергії в світі виробляється таким чином. У сховищах знаходяться близько 300 000 тонн високорадіоактивного відпрацьованого ядерного палива. Кількість відпрацьованого палива зростає щороку приблизно на 12 000 тонн.

На атомній електростанції джерелом тепла є ядерний реактор. Джерело тепла використовується для виробництва пари. Турбогенератор використовує енергію пари для виробництва електроенергії (див. Доповнення, Схема реактора). Живильний насос забезпечує циркуляцію води через реактор та інші системи.

Ядерне паливо зазвичай використовується у вигляді двоокису урану (UO_2). З двоокису урану виготовлені циліндричні паливні таблетки. З цих таблеток зібрані тепловиділяючі елементи (стрижні), які утворюють паливну збірку.



Кожен реактор містить величезну кількість радіонуклідів. Якби вони були роздані кожній людині в світі, люди отримали б значне опромінення. Основні радіонукліди в реакторі - це продукти поділу, які мають різні властивості: гази - як ксенон-133 (^{133}Xe), летючі елементи - як йод-131 (^{131}I) або цезій-137 (^{137}Cs), або більш тверді - як стронцій-90 (^{90}Sr) або ізомери плутонію. У таблиці 2 (Доповнення) наданий склад найбільш радіологічно важливих радіонуклідів Чорнобильського реактора №4 до вибуху і в викиді на момент аварії.

Основною проблемою безпеки реактора є недопущення викиду радіонуклідів у навколишнє середовище. Чотири бар'єри безпеки запобігають викиду радіоактивних продуктів поділу з реактора в навколишнє середовище: паливні таблетки, оболонка тепловиділяючих елементів, корпус реактора і захисна будівля (контаймент).

Тепловиділяючі стрижні утримують 99% продуктів поділу в паливних таблетках і 1% - в оболонці. Якщо активна зона реактора недостатньо для охолодження покрита водою, вона може перегрітися і привести до руйнування оболонки тепловиділяючих елементів, а потім - і до розплавлення палива. Навіть якщо тепловиділяючі елементи будуть зруйновані, залишаться ще два бар'єри, що обмежують викид радіонуклідів в атмосферу. Активна зона більшості реакторів знаходиться в корпусі зі сталі товщиною близько 30 сантиметрів. Захисна будівля (контаймент) є останнім бар'єром між радіоактивними продуктами і навколишнім середовищем (не всі типи реакторів мають контаймент, і вони мають менше захисних бар'єрів). Він зроблений з посиленого бетону високої щільності товщиною біля двох метрів. Контаймент побудований так, щоб витримати стихійні лиха і техногенні аварії (наприклад, падіння літака). Навіть якщо пошкоджені три перших бар'єри, контаймент буде перешкоджати значним викидам продуктів поділу в навколишнє середовище.

Середня доза опромінення населення за рахунок всієї ядерної промисловості і штучних радіоактивних джерел становить близько 1% від дози за рахунок природної радіації, але це не у випадку ядерної або радіаційної аварії.

Ядерною або радіаційною аварією називають подію, при якій відбувається викид з реактора (установки) значної кількості радіонуклідів, опромінення персоналу та/або населення.

Радіологічні (радіаційні) аварії ініціюються втраченими джерелами випромінювання, аваріями під час перевезення радіоактивних джерел або матеріалів, відмовами устаткування або людськими помилками при експлуатації джерел випромінювання. Джерела випромінювання, часто їх називають «закритими джерелами», це, як правило, невеликі металеві контейнери, в яких запечатана невелика кількість радіоактивного матеріалу. Аварії з втраченими джерелами, це коли радіоактивне джерело загублене або викрадене. Люди, знайшовши ці джерела і не знаючи, що це, можуть їх навіть відкрити і серйозно постраждати від радіаційного впливу.

Ядерні реактори є найбільшими джерелами радіації і ядерних аварій. Якщо пошкоджені бар'єри безпеки, що перешкоджають викиду радіоактивності з реактора, в першу чергу радіоактивні гази і летючі речовини, такі як ^{131}I або ^{137}Cs , будуть викинуті в навколишнє середовище.

Найсерйозніші ядерні аварії пов'язані з розплавленням активної зони реактора. Аварія з розплавленням активної зони реактора виникає, коли тепло, що виділяється ядерним реактором, перевищує кількість тепла, яке відводиться системою охолодження,

і температура принаймні одного з ядерних тепловиділяючих елементів перевищує температуру його плавлення. Аварія з розплавленням активної зони може статися навіть після того, як реактор зупинений, тому що паливо продовжує виділяти тепло за рахунок розпаду радіонуклідів. Коли ядерний реактор зупинений, ланцюгова реакція ядерного поділу не відбувається, однак дуже потужне джерело тепла і далі буде існувати за рахунок радіоактивного розпаду продуктів поділу в активній зоні. У момент зупинки реактора частка тепла розпаду становитиме близько 6,5% від повної потужності реактора, якщо він мав тривалу і стійку історію експлуатації. Через одну годину після зупинки реактора частка тепла розпаду буде становити близько 1,5% від повної потужності реактора. Через день тепло розпаду зменшиться до 0,4%, і через тиждень воно буде лише 0,2%. Темпи виробництва тепла будуть і далі повільно знижуватися з плином часу, швидкість залежить від співвідношення різних продуктів поділу в реакторі і їх відповідних періодів напіврозпаду.

Нагрівання паливних таблеток призводить до виходу з них деяких продуктів поділу. Радіоактивні ксенон і йод швидко покинуть паливні таблетки, кількість ^{134}Cs і ^{137}Cs в проміжку між оболонкою і паливом буде збільшуватися. Якщо оболонка з цирконієвого сплаву, в якій знаходяться паливні таблетки, буде пошкоджена, то відбудеться викид радіоактивних газів, йоду і цезію.

Потенційна небезпека від аварії на ядерному реакторі - вплив радіації. Цей вплив може бути заподіяний викидом радіоактивних матеріалів з реактора в атмосферу, зазвичай такий викид характеризується формуванням шлейфу (хмари). Розмір забрудненої викидом зони визначається кількістю і властивостями викинутого із реактора радіоактивного матеріалу, напрямком і швидкістю вітру, погодними умовами - дощ, сніг, які можуть швидко осаджувати радіоактивні матеріали на землю, викликаючи збільшення щільності випадання радіонуклідів. Значне забруднення може бути на відстані до 30 км від місця аварії.

Дози опромінення, які можуть бути отримані населенням у перші дні після аварії на ядерному реакторі, надходять в основному з п'яти основних джерел:

- 1) зовнішнього гамма-випромінення від радіоактивної хмари чи шлейфу, назване сяянням хмари;
- 2) зовнішнього гамма-випромінення від радіоактивного матеріалу, який випав з хмари на землю, назване сяянням землі;
- 3) зовнішнього бета і гамма-випромінення від радіоактивного матеріалу на шкірі, одязі, будівлях або деревах;
- 4) внутрішнього опромінення від вдихання радіоактивних речовин в хмарі;
- 5) внутрішнього опромінення від пиття забрудненої води та споживання забруднених продуктів харчування.

Під час викиду дози опромінення від сяяння хмари, сяяння землі, забрудненої шкіри, одягу і вдихання радіоактивних речовин є основними джерелами небезпеки. Після того, як хмара пройшла, дози від сяяння землі і споживання в їжу забруднених продуктів, особливо молока, стають найбільш небезпечними.

Дози від зовнішнього і внутрішнього опромінення можна запобігти або зменшити введенням термінових захисних заходів. Це захисні заходи, які повинні бути виконані невідкладно або негайно. Вони включають: укриття, евакуацію і блокування щитовидної залози. Дози від харчування можна зменшити шляхом обмеження споживання місцевих (забруднених) продуктів харчування.

Радіаційна аварія може статися там, де використовуються, зберігаються або перевозяться радіоактивні матеріали. Лікарні, університети, науково-дослідні лабораторії, промисловість, автомобільні та залізничні шляхи, морські судна і військові об'єкти можуть бути місцем радіаційної аварії на додаток до атомних електростанцій та інших ядерних об'єктів.

5. Опромінення людини

Протягом історії життя на Землі живі організми постійно знаходились під впливом космічних променів, радіонуклідів, що вироблені космічним випроміненням в атмосфері, і опромінювалися природними радіонуклідами, які повсюдно поширені у всіх компонентах навколишнього середовища. Люди адаптувалися до природної радіації. Незважаючи на те, що високі рівні радіації, безумовно, шкідливі для живих організмів, природна радіація має велике значення для життя. Приміром, природна радіація сприяла основним процесам біологічної еволюції.

Кількість енергії випромінення, передана на одиницю маси речовини, називається «поглиненою дозою». Одиниця поглиненої дози - грей (Гр), що дорівнює 1 джоуль на кілограм. Різні іонізуючі випромінення - бета, гамма, рентгенівське, нейтрони або альфа-частинки - відрізняються способом, яким вони взаємодіють з біологічними матеріалами, тому рівні поглинені дози не завжди дають однакові біологічні ефекти. Також необхідно врахувати різну радіочутливість органів людини, тому мірою біологічної дії випромінювання є ефективна доза. Ефективна доза дорівнює поглиненій дозі, помноженій на коефіцієнт, який враховує відносну ефективність біологічних пошкоджень.

Одиницею виміру ефективної дози є зіверт (Зв). Для бета, гамма і рентгенівського випромінення 1 Гр збігається з 1 Зв, але нейтрони і альфа-частинки завдають більші пошкодження живої тканини, і для них 1 Гр дорівнює від 5 до 20 Зв.

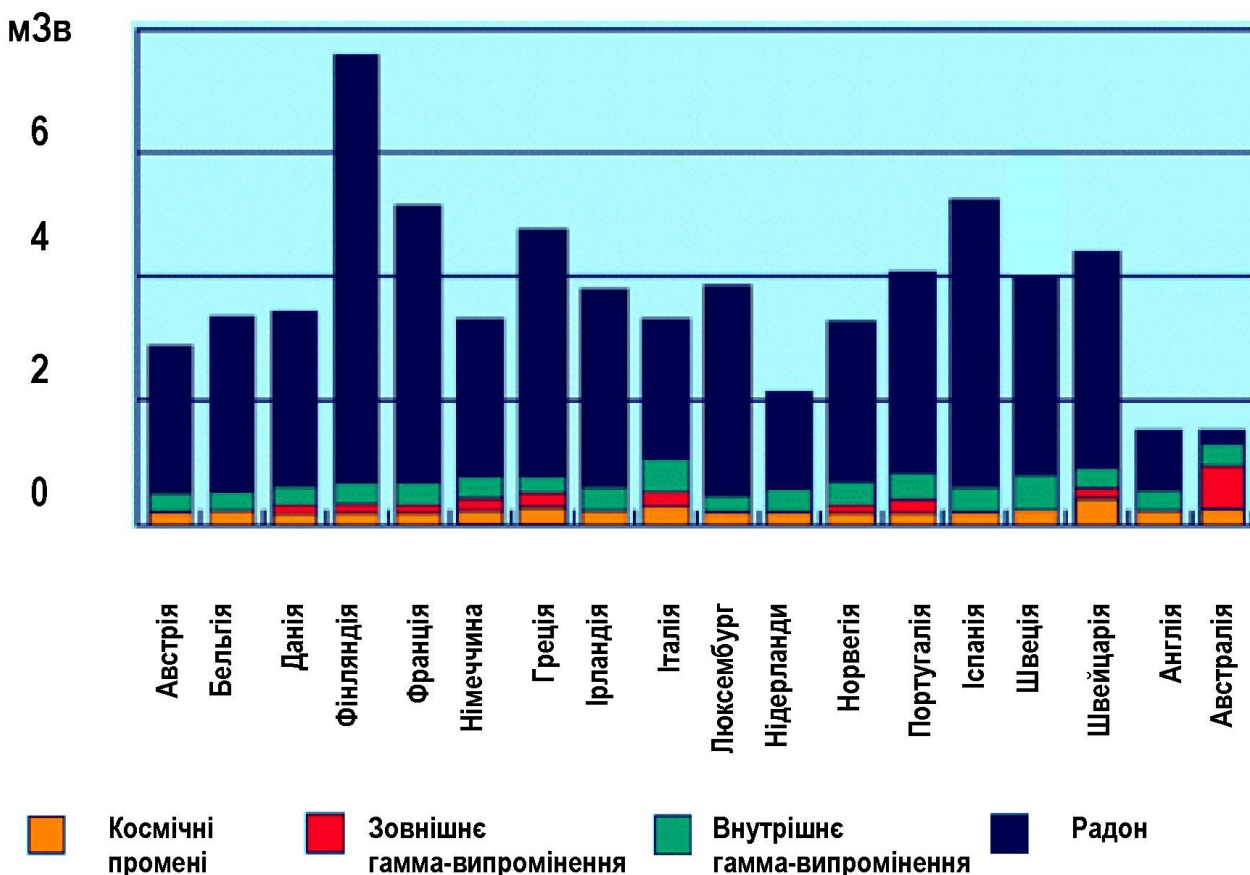
Опромінення природними джерелами фонового випромінення

Фон, або природна радіація, природним чином присутні в навколишньому середовищі. Його інтенсивність може сильно розрізнятися. Люди, що живуть в районах, де багато граніту або чорного торієвого піску, отримують великі дози природної радіації від землі, в той же час люди, що живуть або працюють на великих висотах, можуть отримати більше космічного випромінювання. Основний внесок у наше опромінення від природних джерел обумовлено радоном, газом, який вивільнюється (еманує) із земної кори і присутній в повітрі, яким ми дихаємо. Більш висока концентрація радону в повітрі приміщень. Вона залежить від типу будинку, будівельних матеріалів, вентиляції і може варіюватися в десятки разів.

Природне фонове випромінення є основним джерелом опромінення для більшості людей. Дози опромінення зазвичай складають 1,5 - 3,5 мЗв/рік (1 Зв = 1000 мЗв), середня річна доза - 2,4 мЗв/рік, але вона може бути і більш ніж 50 мЗв/рік. Високі рівні фонового опромінення отримує населення в штатах Керала і Мадрас в Індії, де близько 140 000 чоловік отримують дози, в середньому більші 15 мЗв/рік від зовнішнього гамма-випромінювання на додаток до аналогічних доз від радону. Порівнянні рівні в Бразилії і

Судані, де середнє опромінення до 40 мЗв/рік для багатьох людей. Відомі кілька місць в Ірані, Індії та Європі, де природне фонове випромінювання дає річну дозу від 50 мЗв до 260 мЗв (в Рамсарі, Іран). У Фінляндії середньорічні дози опромінення приблизно в чотири рази більші, ніж у Великобританії. Однак немає жодних свідчень про збільшення числа ракових захворювань або інших проблем зі здоров'ям, пов'язаних з цими високими рівнями опромінення.

СЕРЕДНІ РІЧНІ ДОЗИ ВІД ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ РАДІАЦІЇ



Опромінення у разі ядерних аварій

У разі виникнення ядерної аварії зруйновані бар'єри безпеки, створені для захисту людей і навколишнього середовища від випромінювання реактора, і частина радіонуклідів викинута в навколишнє середовище.

Опромінення населення та персоналу в значній мірі залежить від масштабів аварії та інших факторів. Історія ядерної енергетики має досвід трьох важких аварій: на атомній електростанції Три Майл Айленд, США в 1979 році; Чорнобильській АЕС, Радянський Союз в 1986 році; на атомній електростанції Фукусіма -1, Японія в 2011 році.

Найзначніша аварія в Сполучених Штатах сталася на комерційній атомній електростанції Три Майл Айленд в 1979 році. В результаті збою обладнання і помилки оператора охолоджуюча вода, яка повинна покривати активну зону реактора, витікала з системи реактора. Ця радіоактивна вода, майже 260 000 літрів, наприкінці потрапила в цокольний поверх будівлі контейнера та допоміжні будівлі.

Втрата охолоджуючої води в зоні реактора продовжувалася до тих пір, поки паливо активної зони реактора вже не було повністю покрито водою. Без достатнього охолодження, забезпечуваного водою, паливні елементи розплавилися. Велика кількість води з радіоактивними матеріалами витекла в будівлю контейнера. Контейнер виконав своє призначення - і викид радіоактивних речовин в атмосферу був невеликим.

В цілому було викинуто до 370 ПБк (1 ПБк = 10^{15} Бк) радіоактивних благородних газів і 0,55 ТБк (1 ТБк = 10^{12} Бк) ^{131}I . Середня доза опромінення людей, що живуть в радіусі десяти миль (16 км) біля станції, була близько 0,08 мЗв і не більше ніж 1 мЗв для будь-якої людини. Грунтуючись на цих даних, в наукових публікаціях вплив випадіння на здоров'я людей оцінювався як один або два можливих додаткових випадки смерті від раку в районі 16 км навколо атомної станції.

26 квітня 1986 найбільша в історії ядерної енергетики аварія сталася на четвертому блоці Чорнобильської атомної електростанції в колишньому Союзі Радянських Соціалістичних Республік, недалеко від спільних кордонів Білорусі, Російської Федерації та України. В результаті вибуху реактор був повністю зруйнований, і радіонукліди були викинуті в навколишнє середовище.

Основний викид радіонуклідів з чорнобильського реактора тривав протягом десяти днів після вибуху 26 квітня. Він включав радіоактивні гази, аерозолі і частинки палива. У сумі було викинуто близько 14 ЕБк (1 ЕБк = 10^{18} Бк) радіоактивних матеріалів, у тому числі 1,8 ЕБк ^{131}I , 0,085 ЕБк ^{137}Cs , 0,01 ЕБк ^{90}Sr і 0,003 ЕБк ізотопів плутонію. Радіоактивні благородні гази внесли близько 50% в загальний викид (див. Доповнення, Таблиця 2).

Чорнобильська аварія стала наслідком істотних недоліків у конструкції реактора. Крім того, оператори не були поінформовані про недоліки конструкції та їх дії не повністю відповідали всім вимогам експлуатації. Поєднання цих факторів призвело до найтяжчої ядерної аварії, коли протягом декількох секунд був повністю зруйнований реактор.

Викид та випадання радіоактивного йоду став причиною невідкладних заходів, однак ця проблема була обмежена тільки першим місяцем після аварії через швидкий розпад найбільш важливого ізотопу ^{131}I . Радіоактивний йод швидко перейшов в молоко, що призвело до великих доз опромінення щитовидної залози у тих, хто споживав молоко (особливо дітей). Високі рівні забруднення були в Білорусі, Росії та Україні. В іншій частині Європи підвищені рівні радіоактивного йоду в молоці спостерігалося в районах, де молочна худоба паслася на відкритому повітрі. У Франції, Німеччині, Польщі та інших країнах Європи були здійснені заходи радіаційного захисту.

Більше 200 000 квадратних кілометрів Європи були забруднені ^{137}Cs (період напіврозпаду 30 років) до рівня вище 37 кБк/м². Велика частина цієї території була в трьох найбільш постраждалих країнах - Білорусі, Росії та Україні. Рівні випадіння були надзвичайно різноманітні і вищі в районах, де був дощ в той час, коли проходили забруднені повітряні маси. Більша частина стронцію і плутонію випала в межах 30 км від зруйнованого реактора за рахунок більш великих розмірів часток.

У період 1986-1987 років близько 350 000 чоловік (персонал АЕС, пожежні, медичні та інші працівники) були залучені до робіт з ліквідації наслідків аварії. Навесні і влітку 1986 року 116 000 осіб були евакуйовані з найбільш забруднених населених пунктів в 30-км зоні відчуження. Пізніше були додатково переселені ще близько 220 000 людей. Через 25 років після аварії близько п'яти мільйонів жителів Білорусі, Росії та України живуть на територіях, забруднених до рівнів більш ніж 37 кБк/м² ^{137}Cs (рівні нормалізовані до 1986 року).

Синдром гострої променевої хвороби (ГПХ) було діагностовано у 134 аварійних працівників, які зазнали опромінення всього тіла від 1 до 16 Гр. Двадцять вісім пацієнтів померли протягом трьох місяців після опромінення. Дози опромінення населення чорнобильськими радіонуклідами були набагато нижчими, ніж у аварійних працівників, і ГПХ у них не спостерігалось (можливо, з причини недостатньо ефективної системи моніторингу).

Рак щитовидної залози у тих, хто був опромінений ^{131}I в дитячому віці, визнається як основний медичний ефект аварії, що підтверджено результатами багатьох національних і міжнародних досліджень. За 25 років після аварії в Білорусі, Росії та Україні було діагностовано майже 6 000 випадків раку щитовидної залози у осіб віком до 18 років на момент аварії.

Ядерна аварія на Фукусімі-1 (Dai-ichi) була результатом серії відмов обладнання, викликаних наслідками сильного землетрусу магнітудою 9.0 балів і цунамі 11 березня 2011 року, що призвело до викиду радіоактивних матеріалів із атомної електростанції Фукусіма-1. Атомна станція була затоплена хвилями цунамі, електроживлення для охолодження реакторів було втрачено - і вони почали перегріватися за рахунок енергії розпаду продуктів поділу, створених до зупинки реакторів. Руйнування, викликані повинню і землетрусом, перешкождали наданню зовнішньої допомоги.

Незабаром з'явилися ознаки часткового розплавлення активної зони реакторів 1, 2 і 3; вибухи водню зруйнували верхню частину будівель реакторів 1, 3 і 4; вибух пошкодив контейнер реактора 2; кілька пожеж виникли в будівлі реактора 4. Незважаючи на те, що спочатку вони були зупинені, реактори 5 і 6 почали перегріватися. Паливні стрижні, що зберігаються в басейнах-охолоджувачах в кожній будівлі реактора, також почали перегріватися, тому що рівень води в басейнах впав.

Загальний викид з реакторів АЕС Фукусіма-1 був оцінений як 0,16 ЕБк для ^{131}I і 0,015 ЕБк для ^{137}Cs . Близько 7 800 аварійних робітників отримали середню дозу приблизно 7,7 мЗв. Зафіксовано, що тридцять осіб отримали дози більше 100 мЗв. Повідомлялося, що троє робітників отримали радіаційні опіки на ногах від непередбачуваного опромінення сильно забрудненою водою в підвалі турбінного залу. Після чотирьох днів стаціонарного лікування вони були виписані, при цьому не повідомлялося про ймовірність довгострокових значних наслідків. Було підтверджено, що три робітники загинули від поранень (не пов'язаних з опроміненням).

Щоб уникнути можливого опромінення населення, влада вжила запобіжних заходів - оголосили евакуацію спочатку в зоні 3 км, потім - 10 км і, нарешті, - в 20 км від станції, а також про укриття і підготовку до евакуації, спочатку в зоні 20 км, потім - 30 км від станції. В кінцевому підсумку більше 70 000 чоловік були евакуйовані після аварії.

Найважча радіаційна аварія сталася в Гоянії, штат Гояс, Бразилія, 12-29 вересня 1987 року. Радіотерапевтичний пристрій залишився в клініці, яка була покинута, і потім будівля зруйнована. Пристрій мав джерело цезію-137 активністю 1 375 кюрі, закрите в два вкладених один в один контейнери з нержавіючої сталі.

Дві людини 12 вересня демонтували пристрій, витягли джерело і принесли його додому. 13 вересня у обох почалася блювота. Матеріал пристрою був проданий на склад металобрухту, що належить Д., який помітив вночі блакитне сяяння, що виходить з контейнера. Він і його дружина М. стали розглядати матеріали ближче, запросивши ще кілька людей для вивчення капсули. 21 вересня радіоактивний матеріал джерела був витягнутий і поширений серед кількох людей, деякі з яких нанесли його на свою шкіру.

Багато людей захворіли до 28 вересня. Були оглянуті близько 112 800 чоловік, з яких 129 були визнані забрудненими, 20 були госпіталізовані. У підсумку 5 людей загинули, 23 отримали локальні радіаційні опіки і потребували ампутації пальців. Під час госпіталізації багато пацієнтів страждали від депресії та інших емоційних проблем.

У таблиці 3, як основа для оцінки небезпеки радіації, представлені дози опромінення від різних природних і антропогенних джерел.

Таблиця 3. Дози опромінення від різних джерел радіації

Джерело	Типова доза (мЗв)
10 - годинний політ в літаку	0.03
Рентгенівське обстеження грудної клітки	0.05
Томографія	10
Річна доза від природного фону	2.4
Річна доза від космічного випромінювання на рівні моря	0.4
Річна доза працівника атомної станції (нормальна експлуатація)	1
Річна доза від космічного випромінювання в Мехіко (2 300м)	0.8
Аварійне опромінення працівників підчас Чорнобильської аварії	до 16 000
Середня річна доза для населення найбільш забруднених районів навкруги Чорнобиля в 1986 році (біля 150 000 чоловіків)	16

6. Дія радіації на здоров'я

Іонізуюче випромінювання діє на людей шляхом передачі енергії тканинам тіла, що може стати причиною пошкодження або загибелі клітин. У деяких випадках це може не викликати впливу на здоров'я людини, в інших випадках клітини можуть вижити, але стати аномальними, тимчасово або постійно, ці аномальні клітини можуть стати злоякісними. Великі дози радіації можуть призвести до великих клітинних пошкоджень та смерті. Від менших доз людина може вижити, але пошкоджені клітини збільшують ймовірність раку. Ступінь пошкодження залежить від кількості переданої енергії, тривалості опромінення, потужності дози і конкретного органу (ів), які опромінюються.

Існує два типи ефектів впливу опромінення на здоров'я. Перші називаються детермінованими ефектами. Детерміновані ефекти - це результат гострого опромінення, яке є результатом впливу великої одноразової дози, або серії доз, за короткий період часу. У більшості випадків значне гостре опромінення (більше 1 зіверта) може викликати як безпосередні, так і віддалені ефекти.

Для людей та інших ссавців гостре опромінення, якщо воно достатнє, може викликати швидкий розвиток гострої променевої хвороби (ГПХ), яка проявляється в

шлунково-кишковому розладі, бактеріальній інфекції, крововиливах, анемії та інших ознаках. Безпосередні прояви відбуваються відносно швидко (протягом днів, тижнів) після впливу великої дози при високій потужності дози. При високій потужності дози ушкодження тканини від радіації є настільки великими, що тілу не вистачає часу для відновлення тканин, і таким чином ефекти стають видимими з багатьма ознаками термічних опіків, але значно більш глибокими і тривалими. Детерміновані ефекти часто локалізовані на тілі в залежності від схеми опромінення і проникнення випромінювання. Віддалені біологічні ефекти можуть включати катаракту, тимчасове безпліддя, рак і генетичні ефекти.



Надзвичайно високий рівень гострого опромінення може призвести до смерті через кілька годин, днів або тижнів. Оскільки опромінення діє на різних людей по-різному, тому неможливо визначити, яка доза буде смертельною в конкретному випадку. Проте вважається, що 50% людей помре протягом тридцяти днів після отримання дози від 3,5 до 5 Зв на все тіло за час опромінення від декількох хвилин до декількох годин. Такі наслідки будуть варіюватися в залежності від здоров'я людей до опромінення і медичного обслуговування, отриманого після опромінення. Такі ж дози опромінення на окремі частини тіла, швидше за все, приведуть до більш локалізованих ефектів, таких як радіаційні опіки шкіри.

Чим вищі дози опромінення, тим більш важкі наслідки для тканини і раніше з'являються симптоми (при дуже високих дозах опромінення вони можуть з'явитися протягом декількох годин). Однак при низьких дозах і потужності дози ці ефекти взагалі не виникають, існує поріг дози, нижче якого детерміновані ефекти не існують. Це має велике значення для задач аварійного реагування - прагнути підтримувати дози нижче порога детермінованих ефектів. Детерміновані ефекти вимагають спеціалізованого лікування для відновлення постраждалого.

Другим типом ефектів впливу опромінення на здоров'я є, так звані, стохастичні ефекти, такі як рак або спадкові ефекти у майбутнього потомства. Вони в основному є результатом хронічного опромінення, це безперервне або з перервами опромінення малими дозами протягом тривалого періоду часу. Хронічне опромінення викликає тільки ефекти, які можна спостерігати через деякий час після первісного впливу. До них відносяться генетичні ефекти і такі, як лейкемія і рак.

Стохастичні ефекти характеризуються їх пізнім проявом (через кілька років чи десятиліть) і особливо тим, що наслідків взагалі може не бути. Випромінювання може викликати пошкодження клітин тіла, які не видно, але вони змінюють функції цих клітин. Ці зміни можуть проявитися значно пізніше, як наприклад рак. Слід звернути увагу, що ми говоримо - ефекти «можуть» бути, тобто немає визначеності в їх виникненні. Для стохастичних ефектів ймовірність їх появи збільшується для більш високих доз опромінення. Таким чином, при низьких дозах є дуже мала ймовірність розвитку раку, а при більш високих дозах існує більш висока ймовірність. Однак не існує «безпечної» дози, або порога дози, нижче якого додаткові випадки раку не виникають.

Чи відрізняється рак, індукований радіацією, від викликаного іншими факторами (наприклад хімічні речовини, біологічні агенти, природні генетичні зміни і т.д.)? Відповідь - вони не відрізняються, на відміну від детермінованих ефектів, які можна легко визначити за специфічними наслідками опромінення. Це означає, що єдиним способом виявлення стохастичних ефектів може бути тільки вивчення статистики захворювань на рак у населення, ретельно реєструючи захворювання раком і відповідні дози опромінення.

7. Вимірювання радіації

Для оцінки радіологічної небезпеки необхідно вимірювати дози зовнішнього опромінення, забруднення ґрунту, води, їжі і т.д. Існує широкий спектр інструментів, що використовуються для вимірювання різних видів випромінювання в різних енергетичних діапазонах і з різною точністю. Нижче наведено кілька прикладів.

У рентгенографії, наприклад при рентгені грудної клітки, відмінності в проникаючій здатності рентгенівських променів в кістковій і м'язовій тканині породжують зображення на фотоплівці або іншому пристрої. Іонізаційна камера збирає заряди, вироблені випромінюванням в газі. Інші інструменти вимірюють сцинтиляції в кристалах, вироблені випромінюванням.

Для оцінки зовнішнього опромінення від радіоактивної хмари чи забрудненої поверхні використовуються дозиметри.

Для оцінки внутрішнього опромінення ми повинні знати концентрацію різних радіонуклідів, таких як ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu в повітрі, воді, продуктах харчування. Різні радіонукліди мають різний ступінь небезпеки при внутрішньому опроміненні, це залежить від їх метаболізму в організмі людини і типу випромінювання (альфа, бета або гамма). Для таких вимірів відбираються зразки води, продовольства і т.д., готуються і вимірюються на гамма-спектрометрі або іншому детекторі. Для концентрації радіонуклідів у повітрі воно прокачується через фільтри і вимірюється вміст радіонуклідів у фільтрі.



8. Ядерні аварії – попередження, готовність та реагування

Ядерні реактори (енергетичні, військові або дослідницькі) є основними джерелами антропогенного випромінювання. Радіоактивність ядерного реактора в мільйони разів вища, ніж будь-якого іншого джерела випромінювання. Будівництво та експлуатація атомних електростанцій посилено контролюється і регулюється. Однак, незважаючи на значні зусилля по запобіганню ядерних аварій, вони, хоча малоімовірні, але можливі.

Якщо відбулася важка ядерна аварія, персонал і населення піддаються ризику від викинутих в навколишнє середовище радіонуклідів. Люди повинні бути захищені. Опромінення пов'язане з радіоактивними речовинами, викинутими в повітря з реактора, зазвичай у вигляді шлейфу (або хмари).

Розмір постраждалої зони визначається кількістю викинутого радіоактивного матеріалу, напрямком і швидкістю вітру, погодними умовами: чи є дощ, сніг і т.д., які збільшують швидкість осадження радіонуклідів на поверхню землі. Значне забруднення може бути в основному на відстані до 30 км від місця аварії. Основною метою захисних заходів є зведення до мінімуму впливу аварії на здоров'я людей - персоналу та населення - в тому числі завдяки кращій інформованості та знанням про ядерну небезпеку.



Основною метою захисних заходів є зведення до мінімуму впливу аварії на здоров'я людей - персоналу та населення - в тому числі завдяки кращій інформованості та знанням про ядерну небезпеку.

Захисні заходи в разі ядерної аварії включають в себе:

Термінові захисні заходи, які повинні бути прийняті протягом декількох годин, щоб бути ефективними. До них відносяться: *евакуація*, *застосування таблеток стабільного йоду* (йодна профілактика) і *укриття* (населення повинно укритися в будівлях для захисту від прямого опромінення і вдихання забрудненого повітря).

Довгострокові захисні заходи, які можуть знадобитися протягом декількох днів після аварії. До них відносяться: обмеження використання забруднених продуктів харчування та води і переселення.

Евакуація - це термінове видалення населення з району, де люди можуть отримати значне опромінення. Це найбільш ефективний захисний захід проти значних повітряних викидів радіоактивного матеріалу, але є деякі труднощі. По-перше, люди мають бути поінформовані про можливість евакуації в разі виникнення аварії, вони повинні отримати чітке повідомлення або сигнал про початок евакуації, повинно бути достатньо транспортних засобів для евакуації всього населення, в тому числі людей з лікарень і в'язниць. Дорожня інфраструктура повинна бути готова для забезпечення масової евакуації без заторів. Повинна бути також забезпечена дезактивація людей, транспорту та іншої техніки при виході із забрудненої зони. Людям необхідно змінити одяг, який був забруднений в зоні аварії, та змити забруднення зі шкіри і волосся, організувавши миття людей водою з м'якими засобами.

І нарешті, повинна бути вирішена проблема, де розмістити евакуйованих людей протягом декількох днів. Не рекомендується евакуація та проживання в надзвичайних центрах більше семи днів. Евакуація вимагає часу для своєї реалізації, і цей час необхідно врахувати при розробці аварійних планів.

Йодна профілактика. При перегріві палива реактора і руйнуванні тепловиділяючих елементів велика кількість радіоактивного йоду може бути викинута в навколишнє

середовище. Цей йод може вдихатися або випадати на овочі, рослини та концентруватися в молоці тварин, які випасалися на забрудненій траві. Йод, який потрапив всередину людини з диханням або споживанням продуктів харчування та водою, буде акумулюватися в щитовидній залозі людини. Високі дози опромінення щитовидної залози можуть її знищити або значно збільшити ризик раку щитовидної залози, особливо у дітей.

Надходження радіоактивного йоду в організм можна значно зменшити шляхом захисту органів дихання, введенням заборони на вживання потенційно забрудненої їжі та води. Дозу на щитовидну залозу можна зменшити шляхом прийняття стабільного (нерадіоактивного) йоду, це називається блокуванням щитовидної залози (йодною профілактикою). Стабільний йод насичує щитовидну залозу йодом і запобігає або зменшує поглинання радіоактивного йоду. Зазвичай стабільний йод приймається у вигляді таблеток KI або KIO₃ або крапель рідкого йоду, розчинених у склянці води. Дози прийому стабільного йоду наведені в Таблиці 4 (Доповнення).

Захист людей від високих доз опромінення щитовидної залози вимагає блокування щитовидної залози до або відразу після викиду. Блокування щитовидної залози захищає тільки щитовидну залозу, але не захищає від опромінення всього тіла, що є основним джерелом більшості ранніх смертей від ядерної аварії.

Укриття передбачає знаходження населення в придатних будівлях для зменшення опромінення від радіоактивних речовин у повітрі і від забрудненої поверхні землі. Укриття не рекомендується на термін більше 48 годин. Повне укриття передбачає використання приміщень із спеціально екранованими стінами або підвалів великих будівель. Системи вентиляції з фільтрами з активованого вугілля для захисту від радіоактивного йоду можуть також використовуватися в деяких укриттях.

Ефективність укриття для захисту від зовнішнього випромінювання із хмари і забрудненої поверхні землі залежить від типу використовуваної будівлі і від здатності населення належним чином здійснювати укриття. Приміром, будинки з легким дахом, що, як правило, використовуються в умовах жаркого клімату, не надають достатній захист. Якщо ви знаходилися на вулиці під час проходження радіоактивної хмари, необхідно змінити одяг і змити забруднення зі шкіри і волосся, помившись водою з миючими засобами. У «реальному житті» важко просити людей залишатися в їх будинках більш ніж пару днів. З досвіду аварії на Три Майл Айленд, в регіонах, де середня сім'я має доступ до одного або більше автомобілів, сигнал про укриття може привести до спонтанної евакуації. Це може викликати додаткові труднощі і ще більше погіршити радіологічні наслідки, особливо якщо евакуація хаотична і призводить до утворення транспортних заторів під час проходження хмари або на сильно забрудненій місцевості.

Довгострокові захисні заходи є в реальності дуже дорогими, які складно реалізувати. Вони вимагають особливі умови життя і забезпечення продовольством великої чисельності населення. Є також істотні психологічні наслідки, пов'язані з цими захисними заходами. Наприклад, у випадку аварії на Чорнобильській АЕС переселення сільського населення в міські райони призвело до погіршення здоров'я, викликаного стресом переїзду. Сільськогосподарські контрзаходи особливо важкі для фермерів і виробників продуктів харчування, які понесуть значні фінансові збитки. Фінансова компенсація є проблемою у всіх випадках, пов'язаних з довгостроковими захисними заходами.

Тимчасове переселення і переселення. Тимчасове переселення використовується, коли необхідно перемістити населення з постраждалого району на період, що перевищує приблизно 7 днів, але не більше ніж на кілька місяців. Воно застосовується, коли доза постраждалого населення, що має бути отримана протягом життя, може перевищити допустиму межу. Цей захід вимагає забезпечити тимчасові, але достатні умови для постраждалого населення. Очікується, що тимчасово переселене населення матиме змогу повернутися в свої будинки в запланований час. Однак переселення в реальності може стати постійним.

Сільськогосподарські контрзаходи. Захисні заходи, пов'язані з продуктами харчування, включають: негайну заборону на споживання продуктів харчування, вироблених в постраждалому районі; захист місцевих продуктів харчування та води шляхом, наприклад, покриття відкритих колодязів та укриття тварин і їх кормів; та в довгостроковій перспективі - відбір проб і контроль забруднення радіонуклідами продуктів харчування та кормів місцевого виробництва. Контроль молока особливо важливий, тому що це значна частина харчування дітей, в ньому також концентруються такі важливі радіонукліди, як йод і цезій.

Якщо очікується, що радіоактивне забруднення буде включати ^{131}I , негайно слід припинити споживання місцевого молока до тих пір, поки рівень забруднення ^{131}I не буде визначений. Детальна інформація та інструкції повинні бути отримані від відповідних представників державної влади.

Однак, якщо є час до безпосереднього випадіння радіоактивних опадів у вашій місцевості, слід вжити такі превентивні захисні заходи:

- захистити вирощувані овочі та корми для тварин (закрыти плівковою плівкою);
- привести худобу з пасовища (перемістити тварин в укриття);
- зібрати урожай і помістити в укриття.

Після радіоактивних опадів:

- не вживати молоко та овочі місцевого виробництва (якщо не були вжиті превентивні захисні заходи);
- не випускати тварин, яких зазвичай випасають на відкритому повітрі, і забезпечити їх незабрудненими кормами;
- заборонити полювання, риболовлю, збирання грибів і споживання овочів і води, дотичних з водою відкритих водоймищ або опадами.

У потенційно забруднених районах:

- не використовувати воду відкритих водойм для зрошення;
- уникати можливого прямого забруднення продовольства і сільськогосподарської продукції (пил, опади);
- не спалювати рослинність або будь-які матеріали, що зберігалися на відкритому повітрі, у тому числі дрова;
- не створювати пил, який після випадіння став радіоактивним.

Основне завдання аварійного реагування - локалізація будь-яких аварій, які можуть виникнути, і зведення до мінімуму негативних наслідків аварій для здоров'я, навколишнього середовища і майна. Аварійні плани (див. Доповнення, Аварійні плани) є ключовим інструментом забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій. Вони повинні чітко визначити всі заходи для ефективного реагування на надзвичайні ситуації, визначити ролі

та обов'язки всіх сторін, в тому числі населення. Слід чітко вказувати ланцюжок командування та координації дій між сторонами, а також лінії комунікації та засоби отримання необхідної технічної, метеорологічної та медичної інформації.

9. Що ми повинні робити у разі ядерної аварії?

З попередніх розділів ви отримали базові знання про ядерну небезпеку, ви тепер знаєте, що таке іонізуюче випромінювання, як воно може вражати ваше тіло, що таке природне фонове випромінювання і як впливає радіація на здоров'я. Ви знаєте про джерела опромінення, такі як ядерні аварії, вплив викинутих з реактора радіонуклідів на людей і належні заходи захисту. У вас є знання, щоб зрозуміти навіть мінімальну інформацію про ядерну аварію, і ви знаєте, чому той чи інший захисний захід рекомендований вам відповідальним органом.

Це ваш обов'язок - знати більше про ядерну небезпеку, якщо ви погоджуєтесь на використання ядерної енергії та живете в умовах радіаційної небезпеки. Якщо ви використовуєте вогонь або електрику - ви знаєте про відповідні ризики та захисні заходи, те ж саме з ядерною енергією - вам потрібно знати про радіоактивність, йодну профілактику та дози опромінення. Якщо ви живете в 30-км зоні навколо атомної електростанції, ви розумієте, що в разі важкої ядерної аварії вам, ймовірно, повідомлять про рекомендовані заходи захисту, і вам треба буде бути готовим до евакуації або укриття, йодної профілактики. Якщо ви не пам'ятаєте, де видані вам раніше таблетки KI, можна просто взяти кілька крапель розчину йоду, змішати зі склянкою води і випити. Пізніше ви отримаєте таблетки KI від влади, але ви будете краще захищені, якщо приймете стабільний йод до приходу радіоактивної хмари. Але, безумовно, спочатку вам потрібно отримати офіційну інформацію про викид радіонуклідів з АЕС.

У багатьох випадках для підвищення обізнаності населення про ядерну небезпеку публікуються питання, що часто задаються, (FAQ) та відповіді на них. Тепер, коли ви в змозі краще зрозуміти основу цих рекомендацій і як слідувати їм, ви, ознайомившись з наступними прикладами FAQ, краще зрозумієте заходи безпеки у відповідях.

Питання # 1. Якщо ядерна аварія сталася, що робити?

Відповідь: Чекаючи оповіщення через засоби масової інформації - телебачення, радіо і систему аварійного оповіщення. Ви повинні уважно прослухати інструкції, щоб знати, які заходи захисту рекомендуються.

Ви знаєте, що для того, щоб захистити організм від зовнішнього опромінення, можуть бути рекомендовані такі заходи захисту:

- захист відстанню (знаходитися якнайдалі від джерела випромінювання);
- захист часом (покинути місце поблизу джерела випромінювання як можна швидше);
- захист укриттям (переміститися в безпечну будівлю, виготовлену з бетону або каменю).

Для того, щоб захистити організм від внутрішнього опромінення, такі заходи захисту можуть бути рекомендовані:

- запобігання вдихання радіонуклідів (використовувати захисну маску або мокру хустку);
- запобігання вживання радіонуклідів з продуктами харчування та водою (не пити воду з відкритих джерел, не їсти фрукти і овочі, які перебували на відкритому просторі після викиду);
- йодна профілактика (прийняти препарати стабільного йоду, слідує інструкціям).

Питання # 2. Якщо вас просять сховатися в приміщенні, що робити?

Відповідь: Ви повинні піти до найближчої доступної будівлі, будинку, громадської будівлі і т.д. Вам слід:

- закрити всі двері й вікна;
- прийняти душ, помити руки, обличчя і волосся, змінити одяг, якщо ви були зовні;
- вимкнути вентиляцію і кондиціонери, помістити продукти харчування в контейнери і упакувати;
- зробити запас питної води в закритому посуді для використання протягом наступного тижня;
- не вживати молоко або овочі місцевого виробництва;
- помістити в приміщення тварин, які зазвичай випасаються на відкритому повітрі, і надати їм незабруднені корми.

Питання # 3. Якщо вам пропонують евакуацію, що робити?

Відповідь: Сховайтеся в приміщенні і спокійно підготуйтеся до евакуації:

- вимкніть газ, воду, відключіть електроенергію і витягніть вилки з розеток;
- зателефонуйте і повідомте сусідів;
- зверніться до місцевих органів влади про необхідність надати допомогу в евакуації особам, нездатним пересуватися самостійно;
- залишіть запас їжі і води для тварин, помістіть їх всередину будівлі,
- зачиніть всі двері при виході з будинку;
- дотримуйтесь інструкцій компетентного органу, наприклад рятувальних служб або представників місцевих органів влади, про наступні кроки для евакуації.

Ми сподіваємося, що базові знання з нашої книги дадуть вам можливість розуміти реальний ступінь ядерної небезпеки в разі виникнення надзвичайної ситуації і ці знання допоможуть вам захистити ваше життя.

Стор. 5. Структура атома

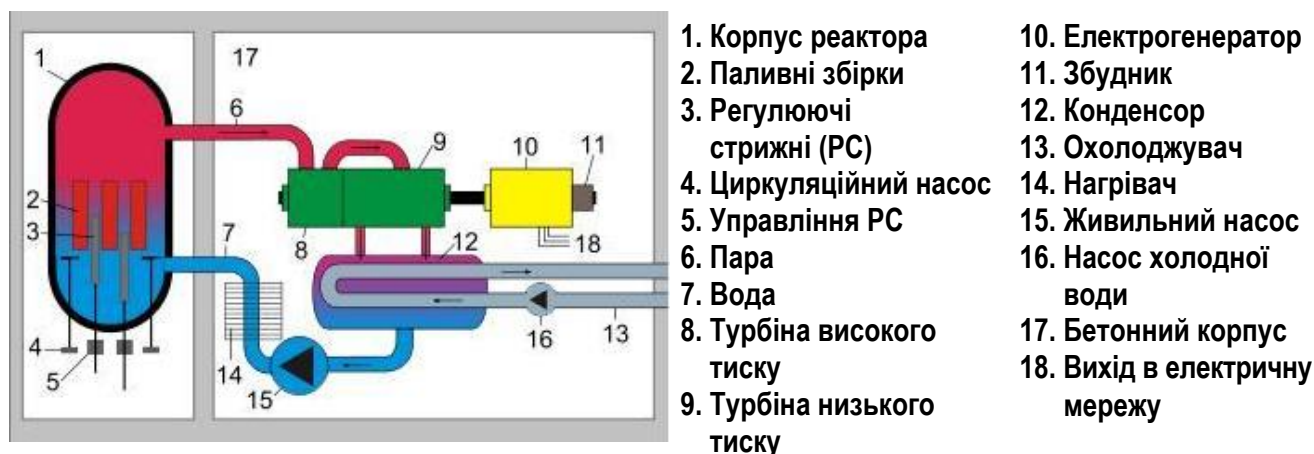
У 1911 році Ернест Резерфорд показав, що маса атома головним чином зосереджена (99,9%) в ядрі. Розмір ядра приблизно в 10 000 разів менший, ніж атома (близько 10^{-10} м.). Атом не має електричного заряду. Заряд ядра Z - позитивний і дорівнює кількості атомних електронів (порядковому номеру хімічного елемента в періодичній таблиці елементів). Атомне ядро складається з позитивно заряджених протонів і нейтронів, які не мають заряду, обидва вони називаються нуклонами. Заряд ядра визначається кількістю протонів в ядрі. Число протонів і нейтронів в ядрі називається атомним масовим числом A .

Стор. 7. Таблица 1. Схема розпаду U-238 та Th-232

уран-238			торій-232		
Радіонуклід	Період напіврозпаду	Випромінення	Радіонуклід	Період напіврозпаду	Випромінення
^{238}U	$4.5 \cdot 10^9$ років	α, γ	^{232}Th	$14 \cdot 10^9$ років	α, γ
^{234}Th	24 дні	β, γ	^{228}Ra	6.7 років	γ, β
^{234}Pa	1.2 хвилин	β, γ	^{228}Ac	6.1 годин	γ, β
^{234}U	$2.5 \cdot 10^5$ років	α, γ	^{228}Th	1.9 років	α, γ
^{230}Th	$8 \cdot 10^4$ років	α, γ	^{224}Ra	3.6 днів	α, γ
^{226}Ra	1620 років	α, γ	^{220}Rn	55 сек	α, γ
^{222}Rn	3.8 днів	α, γ	^{216}Po	0.16 сек	α, β
$^{218}\text{Po}^*$	3.1 хвилин	α, β	^{212}Pb	11 годин	γ, β
^{214}Pb	27 хвилин	β, γ	^{212}Bi	61 хвилина	α, γ, β
$^{214}\text{Bi}^*$	20 хвилин	α, γ, β	^{212}Po	$3 \cdot 10^{-7}$ сек	α
^{214}Po	$1.6 \cdot 10^{-4}$ сек	α	^{208}Pb	стабільний	немає
^{210}Pb	19 років	β, γ			
$^{210}\text{Bi}^*$	5 днів	α, γ, β			
^{210}Po	138 днів	α, γ			
^{206}Pb	стабільний	немає			

* Вказані тільки основні напрямки розпаду

Стор. 8. Схема реактора



Стор. 9. **Таблиця 2.** Склад найбільш радіологічно важливих радіонуклідів у Чорнобильському реакторі №4 до вибуху та у викиді на момент аварії

Вміст в реакторі на 26.04.1986			Сумарний викид, активність приведена на 26.04.1986	
Нуклід	Період напіврозпаду	Активність (ПБк)	% від вмісту	Активність (ПБк)
¹³³ Xe	5.3 днів	6500	100	6290
¹³¹ I	8.0 днів	3200	20	1650
¹³⁴ Cs	2.0 років	180	20	52
¹³⁷ Cs	30.0 років	280	13	85
¹³² Te	78.0 годин	2700	25-60	~1020
⁸⁹ Sr	52.0 днів	2300	4-6	93
⁹⁰ Sr	28.0 років	200	4-6	8.1
¹⁴⁰ Ba	12.8 днів	4800	4-6	180
⁹⁵ Zr	64 дні	5600	3.2	155
⁹⁹ Mo	67.0 годин	4800	>3.5	-
¹⁰³ Ru	39.6 днів	4800	2.9	170
¹⁰⁶ Ru	1.0 років	2100	2.9	59
¹⁴¹ Ce	33.0 днів	5600	2.3	190
¹⁴⁴ Ce	285.0 днів	3300	2.8	137
²³⁹ Np	2.4 днів	2700	3	1440
²³⁸ Pu	86.0 років	1	3	0.03
²³⁹ Pu	24400.0 років	0.85	3	0.03
²⁴⁰ Pu	6580.0 років	1.2	3	0.044
²⁴¹ Pu	13.2 років	170	3	5.9
²⁴² Cm	163.0 днів	26	3.5	~0.9
Разом		73559		~10933

Стор. 19. Застосування таблеток стабільного йоду

Вживання стабільного йоду є ефективним засобом для захисту від шкідливих наслідків вдихання радіоактивного йоду за умови, що він буде застосований до або на початку викиду. Однак розподіл і доставка стабільного йоду людям - це не просте завдання. До прикладу, якщо таблетки стабільного йоду зберігаються в центральному місці, як це робиться в деяких країнах, доводиться мати справу з труднощами забезпечення поширення йоду для всіх постраждалих людей під час надзвичайної ситуації, що забирає багато часу, вимагає багато виконавців, які мають додатковий ризик опромінення.

Попереднє поширення таблеток стабільного йоду має проблеми, пов'язані з необхідністю їх періодичного оновлення, обумовленого обмеженим терміном їх зберігання, оновленням розподілу для новоприбулих і відстеженням забезпечення тимчасового населення. Крім того, цей захисний захід вимагає, щоб великі запаси стабільного йоду зберігалися постійно.

Ефективність йодної профілактики швидко зменшується, якщо йод буде прийнятий після впливу. Блокування щитовидної залози є ефективним більш ніж на 90%, якщо воно реалізоване до або під час надходження радіоактивного йоду. Його ефективність швидко падає, якщо воно застосовується після надходження радіоїоду.

Таким чином, захист людей від високих доз опромінення щитовидної залози вимагає блокування щитовидної залози до або відразу після викиду. Блокування щитовидної залози захищає тільки щитовидну залозу, але не від опромінення всього тіла, що є основним джерелом більшості ранніх смертей від ядерної аварії. Отже, необхідно переконатися, що поширення стабільного йоду для блокування щитовидної залози не завадить евакуації або укриттю населення.

Для важких аварій доза від вдихання радіоактивного йоду може бути достатньо високою для того, щоб виправдати захисні заходи з блокування щитовидної залози на відстані більш ніж 100 км від місця аварії. Однак з практичних міркувань поширення стабільного йоду для блокування щитовидної залози може бути обмежене меншою територією з найбільшим ризиком. Блокування щитовидної залози вважається безпечним. Реагуючи на Чорнобильську аварію, польський уряд використовував блокування щитовидної залози для приблизно 18 мільйонів людей, і тільки у двох випадках була відзначена серйозна побічна реакція у дорослих з відомою високою чутливістю до йоду.

Таблиця 4. Рекомендовані Всесвітньою організацією охорони здоров'я одноразові дози прийому стабільного йоду залежно від віку

Вікова група	Маса йоду (мг)	Маса KI (мг)	Маса KIO ₃ (мг)	Частка 100-мг таблетки
Дорослі та підлітки (старші 12 років)	100	130	170	1
Діти (від 3 до 12 років)	50	65	85	0.5
Немовлята (від 1 місяця до 3 років)	25	32	42	0.25
Новонароджені (від народження до 1 міс.)	12.5	16	21	0.125

Стор. 20. Аварійні плани

Аварійний план повинен гарантувати, що потенційно постраждале населення:

- отримало загальну інформацію про характер, масштаби та потенційний вплив на здоров'я людей та/або навколишнє середовище, майно можливих великих аварій на запланованих або існуючих небезпечних об'єктах;
- поінформоване своєчасно про поведінку і заходи безпеки, які воно повинно взяти в разі виникнення радіаційної аварії або інших аварій з викидом небезпечних речовин;
- має доступ до іншої інформації, необхідної для розуміння природи аварії і можливих наслідків для здоров'я (наприклад, інформація про радіонукліди або інші небезпечні речовини, що здатні викликати серйозні наслідки);
- має можливість брати участь у прийнятті рішень, що стосуються небезпечних об'єктів, і розробці аварійних планів готовності до надзвичайних ситуацій.