

ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ І НАУКИ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
ЧЕРКАСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ

М.А. Новосельський

*Радіація та її вплив на
навколишнє середовище*

**Черкаси
2011**

ББК 74.262.23-253

Н – 76

АВТОР:

Новосельський М.А., методист Черкаського ОПОПП

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ляшенко Ю.О., директор Навчально-наукового інституту фізики, математики та комп'ютерно-інформаційних систем Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, доцент кафедри фізики, кандидат фізико-математичних наук;

Кіта Л.Б., вчитель фізики Черкаської спеціалізованої школи I-III ступенів №20 Черкаської міської ради

Матеріал містить інформацію про вплив радіації на організм людини та оточуюче середовище, радіологічне забруднення території України та Черкаської області.

Рекомендовано вчителям загальноосвітніх навчальних закладів для використання на уроках фізики, хімії, основ здоров'я, біології.

Затверджено на засіданні Вченої ради Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників.

Протокол № 1 від 18.03.2011 року.

Зміст

I	Вступ.....	3
II	Властивості радіоактивного випромінювання.....	4
	Характеристики джерела випромінювання та його дії.....	5
	Природний фон випромінювання.....	8
	Радіаційна безпека.....	10
III	Біологічна дія радіації. Вплив радіації на людський організм...	10
	Гостре враження.....	12
	Онкозахворювання.....	15
	Генетичні наслідки опромінення.....	20
IV	Проблеми Чорнобильської аварії.....	24
	Радіологічна ситуація Черкащини.....	27
	Проблеми розвитку радіологічної ситуації.....	28
V	Джерела інформації.....	34

Вступ

Чорнобильська катастрофа 1986 року стала тією подією кінця XX століття, яка перевернула уявлення людства про роль технічного прогресу, його зв'язок з соціальними процесами. Для мільйонів громадян України вона обернулася страхітливою трагедією, наслідки якої до цього часу повністю не усвідомлені суспільством. В свідомість людей ввійшло поняття радіаційної загрози, радіоактивного забруднення, променевої хвороби та радіаційного ураження. Нажаль тривоги населення з приводу виниклої ситуації не були усунені спеціалістами, як технічного профілю, так і медико-санітарних служб. При цьому з'ясувалось, що справа не лише в певному підході владних структур, а і у відсутності потрібної наукової інформації про дію радіації на живі організми, недоступності широкому загалові контрольно-вимірювальної техніки та її недосконалості. Необхідно збирати, досліджувати та аналізувати різнобічну інформацію про зв'язок радіації з життям та здоров'ям людей, екологічні наслідки радіологічного забруднення території.

Сьогодні ж широкий загал повинен мати уяву про сутність радіації, радіологічну ситуацію в регіоні свого проживання, отримати застереження та рекомендації щодо охорони свого здоров'я.

В існуючій літературі на наш погляд недостатня увага приділяється аналізу фізичних причин негативного впливу радіоактивного випромінювання на живі організми.

Слід звернути увагу на проблеми пов'язані з еволюцією радіологічної ситуації в забруднених територіях.

З аналізу властивостей радіоактивного випромінювання встановлюється необхідність:

1. Обов'язкового вивчення змін радіаційного становища районів забруднення в зв'язку з:
 - розмиванням меж раніше окреслених регіонів в зв'язку з перенесенням радіації річковими, паводковими та дощовими змивами, повітряними масами в місцях постійного напрямку вітрів;

- фільтрацією забруднення в глибинні шари ґрунту, що вимагає зміни характеру контролю за різними видами сільськогосподарської продукції.
- 2. Дослідження змін пов'язаних із акумуляцією забруднених відкладень на дні Кременчуцького водосховища.
- 3. Реєстрації, систематизації та вивчення явищ пов'язаних з прогнозованими віддаленими наслідками радіаційного опромінення населення.
- 4. Необхідності встановлення корекції між обрахованою дозою випромінювання та захворюваністю населення.

Властивості радіоактивного випромінювання

Сутність радіоактивності

Радіоактивність - це здатність окремим ядрам атомів (нуклідів) самодовільно (спонтанно) перетворюватись з випусканням (випромінюванням) частинок та квантів, а також саме явище такого перетворення.

Дія випромінювання на речовину та клітини живого організму полягає в іонізації атомів та руйнуванні сполук і залежить від його виду. Розрізняють корпускулярне випромінювання, яке являє собою потік частинок з масою спокою, та електромагнітне, утворене потоком квантів випромінювання - фотонів. Дія α -частинок зумовлюється тією енергією, яку вони отримують при α -розпаді, і яка в середньому рівна 5 МеВ. Ці частинки належать до короткобіжних. Довжина вільного пробігу їх в повітрі становить декілька сантиметрів. Швидкість втрат енергії частинки на шляху (лінійна передача енергії) в біологічній тканині:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta l} = 100 \frac{keV}{\text{мкм}} = 100 \frac{MeV}{\text{мм}}$$

Це означає, що глибина проникнення α - частинок в біотканину становитиме 0,04 - 0,05 мм.

При β - розпаді випускаються електрони з енергією біля 1 МеВ з швидкістю втрати енергії в біологічній тканині 0,25 кеВ/мкм, і глибиною проникнення в тканину біля 4 мм. Приблизно таку ж енергію (1,3 МеВ) має γ -

випромінювання, яке має високу проникну здатність і може бути лише ослаблене шаром речовини. При заглибленні на 10 см в біотканину відбувається лише половинне зменшення енергії цього випромінювання.

Характеристики джерела випромінювання та його дії

Активність джерела (C) визначається швидкістю розпаду (числом актів розпаду за одиницю часу), тобто відношенням числа розпадів до часу спостереження.

$$C = \frac{dN}{dt}$$

За одиницю активності в системі СІ - *беккерель* (Бк) приймається активність джерела, в якому відбувається 1 розпад за секунду.

$$[C] = \frac{1}{c}$$

На початковому етапі вивчення радіоактивності була введена одиниця активності *кюри* (Ки), яка в 37 млрд разів більша беккереля.

Експозиційна доза (кількість) випромінювання (X) з часів відкриття рентгенівського випромінювання вимірюється за рівнем іонізації повітря, зарядом, який створюється випромінюванням в одиниці маси повітря. Зручність такої характеристики пояснювалась приблизною рівністю середньої молекулярної маси повітря та біологічної тканини. В системі СІ за одиницю приймають 1 кг/Кл, тобто дозу, яка в кг повітря створює заряд 1 Кл. Першою, вживаною до цих часів одиницею, є рентген (Р), який відповідає дозі, що створює в 1кг повітря заряд $q = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл. Таким чином $1Р = 2,58 \cdot 10^{-4}$ кг/Кл, а $1 \text{ кг/Кл} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}$.

Проте експозиційна доза не може вважатися мірою біологічної дії на тканину, так як не містить інформації про поглинуту тканиною енергію.

Мірою біологічної дії на біотканину служить **поглинута доза (D)**, яка визначається подібно до експозиційної. В системі СІ одиницею вимірювання є **грей** (Гр), причому $1\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Стара одиниця вимірювання **рад** в сто разів

менша грея.

Однак все ж слід зазначити, що і поглинута доза не дає повної характеристики величини ушкоджень тканини, так як важливе значення має просторовий розподіл енергії, зокрема зміна коефіцієнта поглинання з глибиною проникнення. Крім того радіація може викликати вторинну радіоактивність речовини та хімічні реакції, які суттєво залежать від виду тканини.

Тому для більш повного врахування дії радіації на тканину вводиться **ефективна еквівалентна доза випромінювання (H)**. $H = DQN$

Де коефіцієнт Q - якісний фактор, який визначається видом та швидкістю втрат енергії радіації.

Величина коефіцієнта якості даного випромінювання встановлюється на основі порівнювання наслідків дії даного випромінювання з відповідними наслідками викликаними рентгенівським випромінюванням при однаковій дозі. В радіобіології цей коефіцієнт називають також **відносною біологічною ефективністю (ВБЕ)**.

Вид випромінювання	Якісний фактор Q
Кванти та β - частинки	1
α - частинки	20
Протони	10
Нейтрони (повільні)	5
Нейтрони (швидкі)	10

Залежність коефіцієнта Q від лінійної передачі енергії доцільно показати на прикладі води, так як організми ссавців приблизно на 75% складаються саме з неї.

Лінійна передача енергії в воді (кеВ/мкм)	Якісний фактор
3,5	1
3,5-7	1-2
7-23	2-5

23 - 53	5-10
53-175	10-20

Коефіцієнт N - тканинний фактор, який залежить від виду біотканини, що зазнає опромінювання. Деякі тканини доволі нечутливі до випромінювання, в той же час як інші, наприклад статеві залози, мають підвищену чутливість. Якщо середню чутливість до випромінювання всього організму, виражену тканинним фактором, прийняти за одиницю, то таблиця тканинної чутливості виглядатиме наступним чином.

Тканини, органи	Тканинний фактор N
Все тіло	1
Статеві залози	4
Молочні залози	6
Червоний кістковий мозок, легені	8
Щитовидна залоза, кістки	33

Одиницею вимірювання еквівалентної дози в системі СІ слугує **зіверт (Зв)**, який пов'язаний з греєм і має його розмірність. До старих одиниць належить **бер**, пов'язаний з радом і тому теж в сто разів менший зіверта.

Коефіцієнти радіаційного ризику для різних тканин (органів) людини при рівномірному опроміненні тіла

Тканини (органи)	Коефіцієнт
Щитовидна залоза	0,03
Легені	0,12
Молочні залози	0,15
Статеві залози	0,25
Кісткова тканина	0,03
Червоний кістковий мозок	0,12

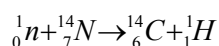
Природний фон випромінювання

Повсякденна дія випромінювання на людину починається з світлових променів, які разом з радіохвилями належать до діапазону електромагнітних хвиль і являють собою потік квантів різної енергії. Слід пам'ятати, що до складу сонячної радіації

поряд з видимим світлом входить інфрачервоне, ультрафіолетове та рентгенівське випромінювання, а також випромінювання корпускулярного характеру (протони, нейтрони). Жорстка частина сонячного випромінювання значно зростає в період сонячної активності. Якщо енергії інфрачервоного випромінювання недостатньо для іонізації атомів речовини, то ультрафіолетове здатне іонізувати окремі атоми. Проте вплив ультрафіолетового випромінювання головним чином викликає порушення внутрішньомолекулярних зв'язків, що може стати причиною небезпечних захворювань шкіри, тяжких опіків, а при тривалій дії навіть раку шкіри. Помічено, що у людей з слабкою пігментацією шкіри при надлишковому впливі сонячних променів захворювання на рак шкіри зустрічаються значно частіше, ніж у тих, які не зловживають перебуванням на сонці. На щастя ультрафіолетове випромінювання, яке проникає через досить ефективний захисний природний екран у вигляді озонового шару земної атмосфери, далі в значній мірі послаблюється нижніми атмосферними шарами з високою густиною повітря. Це означає, що інтенсивність ультрафіолетового випромінювання на достатньо великих висотах більша поверхневої. Шкідливий вплив умов високогір'я був поміченим у жителів таких міст, як Мехіко (Мексика).

Але не лише Сонце створює радіаційний фон на поверхні Землі. Свою частку в його створення вносить і далекий Космос, з глибин якого до Землі надходить рентгенівське випромінювання та протонно - нейтронний потік в сукупності з нейтрино. Таким чином космічні промені складаються з сонячного та позасонячного випромінювання, яке на 90% складається з протонів. Незважаючи на те, що потоку космічної зливи неможливо уникнути в жодній точці Землі, все ж було зафіксовано, що завдяки дії земного магнітного поля, яке відхиляє заряджені частинки, полюси отримують більше радіації, ніж екватор (широтний ефект). Для пасажира висотного авіалайнера інтенсивність космічного випромінювання зростає приблизно в 20 разів в зв'язку з послаблення захисної дії атмосфери. Проте земні джерела радіації в більшій мірі відповідальні за ту дозу опромінення, яку систематично отримують земні мешканці. До земних джерел належать різноманітні радіоактивні елементи, що

входять до складу мінералів земної кори. В середньому їх дія складає біля 5-6 річної ефективної еквівалентної дози, якої неможливо уникнути жодному жителю Землі. Основними чинниками радіації в складі гірських порід є Калій ($^{40}_{19}K$) і Рубідій ($^{87}_{37}Rb$), а також продукти розпаду Урану ($^{238}_{92}U$) та Торія ($^{232}_{90}Th$), які належать до довгоживучих ізотопів, що ввійшли до складу Землі з моменту її утворення. Слід відзначити, що 2/3 річної дози опромінення надходить до організму через радіоактивні речовини, які потрапляють в організм з їжею, водою та повітрям. Велику роль в цьому відіграє β - радіоактивний Карбон ($^{14}_6C$)- ізоотп, який утворюється в атмосфері під дією космічного випромінювання. Протони випромінювання вибивають з ядер вторинні нейтрони, які в свою чергу ініціюють нові реакції, в тому числі і ту, що приводить до утворення радіовуглецю з азоту, який складає 79% земної атмосфери.



Радіоізоотп з'єднується з киснем, утворюючи вуглекислий газ, який потім засвоюється рослинами і через ланцюг споживання засвоюється тваринами і людиною. Певну роль відіграє і засвоєння радіоактивного ізоотпу Гідрогену - тритію, який теж виникає в атмосфері в результаті бомбардування природного водню нейтронами, які породжуються космічним випромінюванням. Однак найбільшу шкоду організму завдають радіоактивні нукліди Урану і в меншій мірі Торію, та продукти їх розпаду: Плюмбум ($^{210}_{82}Pb$) і Полоній ($^{210}_{84}Po$), які концентруються в рибі та молюсках і з їжею потрапляють до організму людини. Всі, хто споживає дари моря в надмірній кількості, ризикують отримати порівняно високу додаткову дозу випромінювання.

Природний радіаційний фон в Україні оцінюють в межах 5-60 мкР/год

Ефективна еквівалентна доза при цьому становитиме 0,28 мкЗв/год, або 30 мкбер/год, що складає 2,5 мЗв за рік (8760 годин).

Радіаційна безпека

Норми радіаційної безпеки в різних країнах оцінюються по - різному, що пов'язано з імовірнісним характером враження того чи іншого органу людини. В загальному прийнято, що для осіб, робота яких пов'язана з джерелами радіації, гранично допустима доза (ГДД) повинна становити 50 мГр/рік (5 рад/рік). При цьому ГДД не повинна перевищувати 1 мГр на тиждень і 30 мГр на квартал. Для звичайного населення індивідуальна доза опромінення не повинна перевищувати ті ж самі 50 мГр, але за 30 років, що відповідає 1,7 мГр/ рік

Біологічна дія радіації. Вплив радіації на людський організм

Найбільш об'єктивні матеріали, що стосуються вивчення впливу радіації на життя, були опубліковані Науковим Комітетом по дії атомної радіації (НКДР) створеного в рамках ООН. Хоча в підсумкове видання матеріалів не ввійшли відомості пов'язані з аварією на ЧАЕС, воно багато в чому висвітлює проблеми пов'язані з цією подією.

Малі дози опромінення можуть «запустити» ще не до кінця встановлений ланцюг подій, що приводить чи до раку, чи до генетичних ушкоджень. При великих дозах радіація може руйнувати клітини, ушкоджувати тканини органів і стати причиною швидкої загибелі організму.

Ушкодження, викликані великими дозами опромінення, звичайно виявляються протягом декількох годин чи днів. Ракові захворювання, однак, виявляються через багато років, як правило, не раніше ніж через одне-два десятиліття. А уроджені вади розвитку й інші спадкові хвороби, викликані ушкодженням генетичного апарату, виявляються лише в наступному, чи через покоління. Це діти, онуки і більш віддалені нащадки індивідуума, що зазнав опромінення.

У той час як ідентифікація наслідків, що швидко виявляються («гострих»), від дії великих доз опромінення не складає труднощів, знайти віддалені наслідки від малих доз опромінення майже завжди виявляється дуже важко. Частково це пояснюється тим, що для їхнього прояву повинно пройти дуже багато часу. Але

навіть і знайшовши якісь ефекти, потрібно ще довести, що вони викликаються дією радіації, оскільки і рак, і ушкодження генетичного апарата можуть бути викликані не тільки радіацією, але і безліччю інших причин.

Щоб викликати гостре враження організму, дози опромінення повинні перевищувати визначений рівень, але немає ніяких підстав вважати, що це правило діє у випадку таких наслідків, як рак, чи ушкодження генетичного апарату. Принаймні теоретично для цього досить найменшої дози. Однак у той же самий час ніяка доза опромінення не приводить до цих наслідків у **всіх** випадках. Навіть при відносно великих дозах опромінення далеко не всі люди приречені на ці хвороби: діючі в організмі людини репараційні механізми зазвичай ліквідують всі ушкодження. Точно так само будь-яка людина, що зазнала дії радіації, зовсім не обов'язково повинна занедужати раком чи стати носієм успадкованих хвороб; однак імовірність, чи **ризик**, настання таких наслідків у нього більший, ніж у людини, що не була опроміненою. І ризик цей тим більший, чим більша доза опромінення.

Науковий Комітет по дії атомної радіації ООН намагається встановити з усією можливою вірогідністю, якому додатковому ризику піддаються люди при різних дозах опромінення. Ймовірно, в області вивчення дії радіації на людину і навколишнє середовище було проведено більше досліджень ніж при вивченні будь-якого іншого джерела підвищеної небезпеки. Однак чим віддаленіший ефект і менша доза, тим менше корисних відомостей, якими ми володіємо на сьогоднішній день.

В зміні стану здоров'я постраждалих відмічаються 3 післяаварійних етапи:

1. В перший рік, період найбільшого радіаційного впливу на організм, характерними клінічними проявами були: респіраторний синдром, порушення діяльності шлунково-кишкового тракту, функціональні розлади серцево-судинної та вегетативної нервової системи, комплексні та якісні зміни складу периферичної крові;
2. 1987-1989 рр. відмічались функціональні розлади різних органів і систем

на фоні гормонального і імунного дисбалансу та істотних метаболічних порушень. Вже на цьому етапі кількість осіб з різними проявами гематоімунної та соматичної патології була достатньо високою порівняно з неопроміненою частиною.

3. В останні роки у більшості осіб, які мали передхворобливі відхилення в стані здоров'я, реалізовувались різні хронічні патологічні процеси з певними особливостями клінічних проявів і не завжди достовірно ефективною відповідною реакцією на лікування, що проводилося.

Найбільшу стурбованість викликає стан здоров'я дітей, які народилися від постраждалих батьків, і особливо від осіб, які брали участь у ліквідації аварії.

Гостре враження

У своїй останній доповіді НКДАР ООН уперше за 20 років опублікував детальний огляд зведень, що відносяться до гострого враження організму людини, що відбувається при великих дозах опромінення. Радіація чинить подібну дію, лише починаючи з деякої мінімальної, чи «граничної», дози опромінення. Велика кількість даних було отримано при аналізі результатів застосування променевої терапії для лікування раку. Багаторічний досвід дозволив медикам одержати велику інформацію про реакцію тканин людини на опромінення. Ця реакція для різних органів і тканин виявилася неоднаковою, причому розходження дуже великі. Величина ж дози, що визначає ураження організму, залежить від того, одержує її організм відразу чи в кілька прийомів. Більшість органів встигає в тій чи іншій мірі залікувати радіаційні ушкодження і тому краще переносить серію дрібних доз, ніж ту ж сумарну дозу опромінення, отриману за один прийом. Зрозуміло, якщо доза опромінення досить велика, людина загине. Дуже великі дози опромінення близько 100 Гр викликають настільки серйозні ураження центральної нервової системи, що смерть, як правило, настає протягом декількох годин чи днів. При опроміненні всього тіла дозою від 10 до 50 Гр ураження ЦНС може виявитися не настільки серйозним, щоб привести до летального результату, але опромінена людина

швидше за усе однак загине через один-два тижні від крововиливів у шлунково-кишковому тракті. При ще менших дозах може не відбутися серйозних ушкоджень шлунково-кишкового тракту, чи організм із ними справиться, проте смерть може наступити через один-два місяці з моменту опромінення головним чином внаслідок руйнування клітин червоного кісткового мозку - головного компоненту кровотворної системи організму: від дози в 3-5 Гр (при опроміненні всього тіла) вмирає приблизно половина всіх опромінених.

Таким чином, у діапазоні доз 100 – 3 Гр опромінення великі дози відрізняються від менших лише тим, що смерть у першому випадку настає раніше, а в другому -пізніше. Зрозуміло, найчастіше людина вмирає у результаті одночасної дії всіх зазначених наслідків опромінення.

Червоний кістковий мозок і інші елементи кровотворної системи найбільш уразливі при опроміненні та втрачають здатність нормально функціонувати вже при дозах опромінення 0,5-1 Гр. На щастя, вони мають також чудову здатність до регенерації, і якщо доза опромінення не настільки велика, щоб викликати ушкодження всіх клітин, кровотворна система може цілком відновити свої функції. Якщо ж опроміненню піддалося не все тіло, а якась його частина, то уцілілих клітин мозку буває досить для повного відновлення ушкоджених клітин.

Репродуктивні органи й очі також відрізняються підвищеною чутливістю до опромінення. Однократне опромінення сім'яників при дозі усього лише в 0,1 Гр викликає тимчасову стерильність чоловіків, а дози понад 2 Гр можуть привести до постійної стерильності й лише через багато років може відновитись здатність до продукування повноцінної сперми. Очевидно, сім'яники є єдиним виключенням із загального правила: сумарна доза опромінення, отримана в кілька прийомів, для них більш, а не менш небезпечна, чим та ж доза, отримана за один прийом. Яєчники набагато менш чутливі до дії радіації, принаймні в дорослих жінок. Але однократна доза > 3 Гр усе-таки приводить до їхньої стерильності, хоча ще більші дози при дробовому опроміненні ніяк не позначаються на здатності до дітонародження.

Найбільш уразливою для радіації частиною ока є кришталик. Клітини, що

загинули, стають непрозорими, а розростання помутнілих ділянок призводить спочатку до катаракти, а потім і до повної сліпоти. Чим більша доза, тим більша втрата зору. Помутнілі ділянки можуть утворитися при дозах опромінення 2 Гр і менше. Більш важка форма ураження ока - прогресуюча катаракта - спостерігається при дозах близько 5 Гр. Навіть професійне опромінення, пов'язане з рядом робіт, шкідливе для очей: дози від 0,5 до 2 Гр, отримані протягом 10-20 років, призводять до збільшення щільності і помутнінню кришталика.

Діти також украй чутливі до дії радіації. Відносно невеликі дози при опроміненні хрящової тканини можуть сповільнити чи зовсім зупинити у них ріст кісток, що призводить до аномалій розвитку скелету. Чим менше вік дитини, тим сильніше пригнічується ріст кісток. Сумарної дози 10 Гр, отриманої протягом декількох тижнів при щоденному опроміненні, буває досить, щоб викликати деякі аномалії розвитку скелету. Для такої дії радіації не існує ніякого граничного ефекту. Опромінення мозку дитини при променевої терапії може викликати зміни в його характері, привести до втрати пам'яті, а у дуже маленьких дітей навіть до розумової відсталості й ідіотії. Кістки і мозок дорослої людини здатні витримувати набагато більші дози.

Украй чутливий до дії радіації і мозок плоду, особливо якщо мати піддається опроміненню між восьмим і п'ятнадцятим тижнями вагітності. У цей період у плоду формується кора головного мозку, та існує великий ризик того, що в результаті опромінення матері (наприклад, рентгенівськими променями) народиться розумово відстала дитина. Саме в такий спосіб постраждали приблизно 30 дітей, опромінених у період внутрішньоутробного розвитку під час атомних бомбардувань Хіросіми і Нагасакі. Хоча індивідуальний ризик при цьому великий, число жінок, що знаходяться на цій стадії вагітності, у будь-який момент часу складає лише невелику частину всього населення. Після опромінення плодів і ембріонів тварин у період їхнього внутрішньоутробного розвитку було виявлено чимало інших серйозних наслідків, включаючи дефекти розвитку, недорозвиненість і летальний результат.

Більшість тканин дорослої людини відносно мало чутливі до дії радіації. Нирки витримують сумарну дозу близько 23 Гр, отриману протягом п'яти тижнів, без особливої для себе шкоди, і 40 Гр за місяць; сечовий міхур - 55 Гр за чотири тижні, а зріла хрящова тканина до 70 Гр. Легені - надзвичайно складний орган набагато більш уразливі, а в кровоносних судинах незначні, але істотні зміни можуть відбуватися вже при відносно невеликих дозах.

Звичайно, опромінення в терапевтичних дозах, як і всяке інше опромінення, може викликати захворювання раком чи у майбутньому привести до несприятливих генетичних наслідків. Опромінення в терапевтичних дозах, однак, застосовують звичайно для лікування раку, коли людина смертельно хвора, а оскільки більшість пацієнтів в досить похилому віці, імовірність того, що вони будуть мати дітей, також відносно мала. Однак далеко не так просто оцінити, наскільки великий цей ризик при набагато менших дозах опромінення, що люди одержують у своєму повсякденному житті та на роботі.

Онкозахворювання

Рак - найбільш серйозне з усіх наслідків опромінення людини при малих дозах опромінення. Справді, обстеження, що охопили близько 100 000 чоловік, що пережили атомні бомбардування Хіросіми і Нагасакі в 1945 році, показали, що поки рак є єдиною причиною підвищеної смертності в цій групі населення.

Оцінки НКДАР ООН ризику захворювання раком значною мірою спираються на результати обстеження людей, що пережили атомне бомбардування. Комітет використовує й інші матеріали, у тому числі зведення про частоту захворювання раком серед жителів островів у Тихому океані, на яких відбулося випадання радіоактивних опадів після ядерних іспитів у 1954 році, серед робітників уранових рудників і серед осіб, що пройшли курс променевої терапії. Але матеріали по Хіросіми і Нагасакі - це єдине джерело інформації, що відбиває результати ретельного обстеження протягом більш 30 років численної групи людей усіх віків, що піддалися більш-менш рівномірному опроміненню всього тіла.

Незважаючи на всі ці дослідження, оцінка ймовірності захворювання

людей раком у результаті опромінення не цілком надійна. Дані отримані при експериментах на тваринах не можуть повною мірою замінити інформацію про дію радіації на людину. Для того, щоб оцінка ризику захворювання раком для людини була досить надійна, отримані в результаті обстеження людей відомості повинні задовольняти цілому ряду умов:

відома величина поглиненої дози;

випромінювання рівномірно попадає на все тіло або принаймні на ту його частину, що вивчається в даний момент;

опромінене населення регулярно обстежується протягом десятиліть, щоб встигли проявитися усі види ракових захворювань;

якісна діагностика, що дозволяє виявити усі випадки ракових захворювань;

наявна «контрольна» група людей, що відповідає групі осіб, за якою ведеться спостереження (крім самого факту опромінення), щоб з'ясувати частоту захворювання раком під час відсутності опромінення; і обидві ці популяції повинні бути досить численні, щоб отримані дані були статистично достовірні.

Ще більш принципова невизначеність полягає в тому, що майже всі дані про частоту захворювання раком у результаті опромінення отримані при обстеженні людей, що одержала відносно великі дози опромінення - 1 Гр і більше. Є небагато даних про наслідки опромінення при дозах, зв'язаних з деякими професіями, і зовсім відсутні прямі дані про дію доз опромінення, що отримує населення Землі в повсякденному житті. Тому немає ніякої альтернативи такому способу оцінки ризику населення при малих дозах опромінення, як екстраполяція оцінок ризику при великих дозах (уже не цілком надійних) в область малих доз опромінення.

НКДАР ООН, так само як і інші установи, що займаються дослідженнями в цій області, у своїх оцінках спирається на два основних допущення, що поки що цілком погодяться з усіма наявними даними. Відповідно до першого допущення, не існує ніякої граничної дози, за якої відсутній ризик захворювання раком. Будь-яка як завгодно мала доза збільшує ймовірність захворювання

раком для людини, що отримали цю дозу, і всяка додаткова доза опромінення ще більш збільшує цю ймовірність. Друге припущення полягає в тому, що ймовірність, чи ризик, захворювання зростає прямо пропорційно дозі опромінення: при подвоєнні дози ризик подвоюється, при одержанні триразової дози - потроюється і т.д.. НКДАР вважає, що при такому допущенні можлива переоцінка ризику в області малих доз, але навряд чи можлива його недооцінка. На такий свідомо недосконалій, але зручній основі і будуються всі приблизні оцінки ризику захворювання різними видами раку при опроміненні.

Згідно з наявними даними, першими в групі ракових захворювань, що уражають населення в результаті опромінення, знаходяться лейкози. Вони викликають загибель людей у середньому через 10 років з моменту опромінення - набагато раніш, ніж інші види ракових захворювань.

Смертність від лейкозів серед тих, хто пережив атомні бомбардування Хіросіми і Нагасакі, стала різко знижуватися після 1970 року; очевидно, данина лейкозам у цьому випадку сплачена майже цілком. Таким чином, оцінка ймовірності умерти від лейкозу в результаті опромінення більш надійна, ніж аналогічні оцінки для інших видів ракових захворювань. Відповідно до оцінок НКДАР ООН, від кожної дози опромінення в 1 Гр у середньому два чоловіки з тисячі помруть від лейкозів. Інакше кажучи, якщо хто-небудь одержить дозу 1 Гр при опроміненні всього тіла, при якому страждають клітини червоного кісткового мозку, то існує один шанс із 500, що ця людина загине надалі від лейкозу.

Найпоширенішими видами раку, викликаними дією радіації, виявилися рак молочної залози і рак щитовидної залози. По оцінках НКДАР, приблизно в десяти чоловік з тисячі опромінених діагностується рак щитовидної залози, а в десяти жінок з тисячі - рак молочної залози (у розрахунку на кожен грей індивідуальної поглиненої дози).

Однак обидва різновиди раку в принципі виліковні, а смертність від раку щитовидної залози особливо низька. Тому лише п'ять жінок з тисячі, очевидно, загинуть від раку молочної залози на кожен грей опромінення і лише одна людина з тисячі опромінених - від раку щитовидної залози.

Рак легень, навпроти, нещадний убивця. Він теж належить до розповсюджених різновидів ракових захворювань серед опромінених груп населення. На додаток до даних обстеження осіб, що пережили атомні бомбардування Хіросіми і Нагасакі, були отримані відомості про частоту захворювання раком легень серед шахтарів уранових рудників у Канаді, Чехословаччині і США. Цікаво, однак, що оцінки, отримані в обох випадках, значно розходяться: навіть приймаючи до уваги різний характер опромінення, імовірність занедужати раком легень на кожну одиницю дози опромінення для шахтарів уранових рудників виявилася в 4-7 разів вище, ніж для людей, що пережили атомне бомбардування. НКДАР розглянув кілька можливих причин такої розбіжності, серед яких не останню роль відіграє той факт, що шахтарі в середньому старші за віком, ніж населення японських міст у момент опромінення. Відповідно до поточних оцінок комітету, із групи людей у тисячу чоловік, вік яких у момент опромінення перевищує 35 років, очевидно, п'ять чоловік помре від раку легень у розрахунку на кожен грей середньої індивідуальної дози опромінення, і лише половина - з різновікової групи. Цифра «п'ять» - це нижня оцінка смертності від раку легень серед шахтарів уранових рудників.

Рак інших органів і тканин, як виявилось, зустрічається серед опромінених груп населення рідше. Відповідно до оцінок НКДАР, імовірність умерти від раку шлунку, печінки, товстої кишки складає приблизно усього лише 1/1000 на кожен грей середньої індивідуальної дози опромінення, а ризик виникнення рака кісткових тканин, стравоходу, тонкої кишки, сечового міхура, підшлункової залози, прямої кишки і лімфатичних тканин ще менше і складає приблизно від 0,2 до 0,5 на кожну тисячу і на кожен грей середньої індивідуальної дози опромінення.

Діти більш чутливі до опромінення, ніж дорослі, а при опроміненні плоду ризик захворювання раком, очевидно, ще більше. У деяких роботах дійсно повідомлялося, що дитяча смертність від раку більше серед тих дітей, матері яких у період вагітності піддалися впливу рентгенівських променів, однак НКДАР

поки не переконано, що причина установлена вірно.

Серед дітей, опромінених у період внутрішньоутробного розвитку в Хіросімі і Нагасакі, також поки не виявлено підвищеної схильності до захворювання раком.

Узагалі є ще ряд розбіжностей між даними по Японії й інших джерелах. Крім зазначених вище протиріч в оцінці ризику захворювання раком легень маються значні розбіжності як по раку молочної залози, так і по раку щитовидної залози. І в тому і в іншому випадку дані по Японії дають значно більш низьку частоту захворювання раком, ніж інші джерела; в обох випадках НКДАР прийняв як оцінки великі значення. Зазначені протиріччя зайвий раз підкреслюють труднощі одержання оцінок в області малих доз на підставі відомостей, що відносяться до великих доз і отриманих з дуже обмеженого числа джерел. Труднощі одержання більш-менш надійних оцінок ризику ще більше зростає через невизначеність в оцінці доз, що були отримані людьми, що пережили атомне бомбардування. Нові дані з інших джерел фактично поставили під сумнів правильність колишніх розрахунків поглинених доз у Японії, і усі вони в даний момент перевіряються заново.

Оскільки одержання оцінок зв'язане з такими труднощами, то не дивно, що немає єдиної думки про те, наскільки великий ризик захворювання раком при малих дозах опромінення. У цій області необхідні подальші дослідження. Особливо корисно було б провести обстеження людей, що одержують дози, характерні для ряду професій і умов навколишнього середовища. На жаль, чим менше доза, тим складніше одержати статистично достовірний результат. Підраховано, наприклад, що якщо оцінки НКДАР більш-менш вірні, то при визначенні частот захворювання по усіх видах раку серед персоналу підприємств ядерного паливного циклу, що одержують середню індивідуальну дозу близько 0,01 Гр у рік, для одержання значимого результату буде потрібно кілька мільйонів людино-літ. А одержати значимий результат при обстеженні людей, на яких діє лише радіаційний фон від навколишнього середовища, було б набагато важче.

Є ряд питань що необхідно дослідити. Радіація, наприклад, діє на різні хімічні і

біологічні агенти, що може приводити в якихось випадках до додаткового збільшення частоти захворювання раком. Очевидно, що це питання надзвичайно важливе, тому що радіація присутня усюди, а в сучасному житті існує багато різноманітних агентів, що можуть з нею взаємодіяти. НКДАР ООН провів попередній аналіз даних, що охоплює велике число таких агентів. Щодо деяких з них виникли підозри, але серйозні докази були отримані тільки для одного з них: тютюнового диму. Виявилося, що шахтарі уранових рудників, що палять, хворіють на рак набагато раніше. В інших випадках даних явно недостатньо, і необхідні подальші дослідження.

Давно висловлювалися припущення, що опромінення, можливо, прискорює процес старіння й у такий спосіб зменшує тривалість життя. НКДАР ООН розглянув недавно всі дані на користь такої гіпотези, але не знайшов досить переконливих доказів, що підтверджують її, як для людини, так і для тварин, принаймні при помірних і малих дозах, одержуваних при хронічному опроміненні. Опромінені групи людей дійсно мають меншу тривалість життя, але у всіх відомих випадках це цілком пояснюється більшою частотою ракових захворювань.

Генетичні наслідки опромінення

Вивчення генетичних наслідків опромінення зв'язано з ще більшими труднощами, ніж у випадку раку. По-перше, дуже мало відомо про те, які ушкодження виникають у генетичному апараті людини при опроміненні; по-друге, повне виявлення всіх спадкоємних дефектів відбувається лише протягом багатьох поколінь; і, по-третє, як і у випадку раку, ці дефекти неможливо відрізнити від тих, котрі виникли зовсім з інших причин.

Близько 10% усіх живих немовлят мають ті чи інші генетичні дефекти, починаючи від необтяжливих фізичних недоліків, типу дальтонізму і закінчуючи такими важкими станами, як синдром Дауна, хорея Гентингтона і різні вади розвитку. Значна кількість ембріонів і плодів з важкими спадковими вадами не

доживають до народження: згідно з наявними даними, близько половини усіх випадків спонтанного абортів зв'язані з аномаліями в генетичному матеріалі. Але навіть якщо діти зі спадковими дефектами народжуються живими, ймовірність для них дожити до свого першого дня народження в п'ять разів менше, ніж для нормальних дітей.

Генетичні порушення можна віднести до двох основних типів: хромосомні аберації, що включають зміни числа структури хромосом, і мутації в самих генах. Генні мутації підрозділяються далі на домінуючі (які виявляються відразу в першому поколінні) і рецесивні (які можуть проявитися лише в тому випадку, якщо в обох батьків мутантним є той самий ген: такі мутації можуть не проявлятися протягом багатьох поколінь, чи не виявитися взагалі). Обидва типи аномалій можуть привести до спадкових захворювань у наступних поколіннях, а можуть і не проявитися взагалі. Оцінки НКДАР ООН стосуються лише випадків важкої спадкової патології.

Серед більш ніж 27 000 дітей, батьки яких одержали відносно великі дози під час атомних бомбардувань Хіросіми і Нагасакі, були виявлені лише дві ймовірні мутації, а серед приблизно такого ж числа дітей, батьки яких одержали менші дози, не відзначено жодного такого випадку. Серед дітей, батьки яких були опромінені в результаті вибуху атомної бомби, не було також виявлено статистично достовірного приросту частоти хромосомних аномалій. І хоча в матеріалах деяких обстежень міститься висновок про те, що в опроміненіх батьків більше шансів народити дитину із синдромом Дауна, інші дослідження цього не підтверджують.

Насторожує повідомлення про те, що в людей, що одержують малі надлишкові дози опромінення, дійсно спостерігається підвищений вміст клітин крові з хромосомними порушеннями. Цей феномен при надзвичайно низькому рівні опромінення був відзначений у жителів курортного містечка Бадгастайн в Австрії, серед медичного персоналу, що обслуговує радонові джерела з цілющими, як думають, властивостями. Серед персоналу АЕС у ФРН, Великобританії і США, що одержує дози, що не перевищують гранично

припустимого, відповідно до міжнародних стандартів, рівня, також виявлені хромосомні аномалії. Але біологічне значення таких ушкоджень і їхній вплив на здоров'я людини поки не з'ясовані.

Оскільки немає ніяких інших відомостей, приходиться оцінювати ризик появи спадкоємних дефектів у людини, ґрунтуючись на результатах, отриманих у численних експериментах на тваринах. При оцінці ризику появи спадкоємних дефектів у людини НКДАР використовує два підходи. При одному підході намагаються визначити безпосередній ефект даної дози опромінення, при іншому намагаються визначити дозу, при якій подвоюється частота появи нащадків з тим чи іншим різновидом спадкоємних дефектів у порівнянні з нормальними радіаційними умовами.

Відповідно до оцінок, отриманих при першому підході, доза в 1 Гр, отримана при низькому рівні радіації тільки особами чоловічої статі, індукує появу від 1000 до 2000 мутацій, що призводять до серйозних наслідків, і від 30 до 1000 хромосомних аберацій на кожен мільйон живих немовлят.

Оцінки, отримані для осіб жіночої статі, набагато менш певні, але явно нижчі; це пояснюється тим, що жіночі статеві клітини менш чутливі до дії радіації. Відповідно до орієнтовних оцінок, частота мутацій складає від 0 до 900, а частота хромосомних аберацій від 0 до 300 випадків на мільйон живих немовлят.

Відповідно до оцінок, отриманих іншим методом, хронічне опромінення при потужності дози в 1 Гр на покоління (для людини 30 років) приведе до появи близько 2000 серйозних випадків генетичних захворювань на кожен мільйон живих немовлят серед дітей тих, хто піддавався такому опроміненню. Цим методом користуються також для оцінки сумарної частоти появи серйозних спадкових дефектів у кожному поколінні за умови, що той же рівень радіації буде діяти увесь час. Згідно з цими оцінками, приблизно 15 000 живих немовлят з кожного мільйона будуть народжуватися із серйозними спадковими дефектами через такий радіаційний фон.

Цей метод намагається врахувати вплив рецесивних мутацій. Про них відомо небагато, і ще немає єдиної думки, але вважається, що їхній внесок у сумарну

частоту появи спадкових захворювань незначний, оскільки мала ймовірність шлюбного союзу між партнерами з мутацією в тому самому гені. Небагато відомо також про вплив опромінення на такі ознаки, як ріст і плідність, що визначаються не одним, а багатьма генами, що функціонують у тісній взаємодії один з одним. Оцінки НКДАР ООН відносяться переважно до дії радіації на одиничні гени, оскільки оцінити внесок таких полігенних факторів надзвичайно важко.

Ще більшим недоліком оцінок є той факт, що обидва методи здатні реєструвати лише серйозні генетичні наслідки опромінення. Є вагомі підстави вважати, що число не дуже істотних дефектів значно перевищує число серйозних аномалій, так що спричинена ними шкода у сумі може бути навіть більша, ніж від серйозних дефектів.

В останній доповіді НКДАР уперше була зроблена спроба оцінити шкоду, яку приносять суспільству серйозні генетичні дефекти, усі разом і кожний окремо. Наприклад, і синдром Дауна, і хорея Гентингтона - це серйозні генетичні захворювання, але соціальний збиток від них неоднаковий. Хорея Гентингтона уражає організм людини у віці 30-50 років і викликає дуже важку, але поступову дегенерацію центральної нервової системи; синдром Дауна виявляється в дуже важкому ураженні організму із самого народження. Якщо намагатися якось диференціювати ці хвороби, то очевидно, що синдром Дауна варто розцінювати як хворобу, що завдає суспільству більше збитку, ніж хорея Гентингтона.

У такий спосіб НКДАР ООН спробував виразити генетичні наслідки опромінення через такі параметри, як скорочення тривалості життя і періоду працездатності. Ці параметри, звичайно, не можуть дати адекватного уявлення про страждання жертв спадкових недуг, чи такі речі, як розпач батьків хворої дитини, але до них і неможливо підходити з кількісними мірками. НКДАР приводить у своїй останній доповіді наступні цифри: хронічне опромінення населення з потужністю дози 1 Гр на покоління скорочує період працездатності на 50 000 років, а тривалість також на 50 000 років на кожен мільйон живих немовлят серед дітей першого опроміненого покоління; ті ж параметри при постійному опроміненні багатьох поколінь виходять на стаціонарний рівень: скорочення періоду

працездатності складе 340 000 років, а скорочення тривалості життя - 286 000 років на кожен мільйон живих немовлят.

Незважаючи на свою приблизність, ці оцінки все-таки необхідні, оскільки вони являють собою спробу взяти до уваги соціально значимі цінності при оцінці радіаційного ризику. А ці цінності у значній мірі впливають на рішення питання про прийнятність ризику в тому чи іншому чи випадку.

Проблеми Чорнобильської аварії

Щоб з'ясувати умови, які виникли на території радіаційного забруднення, нагадаємо, що при роботі реактора в процесі поділу ядер Урану чи Плутонію під впливом нейтронів у його активній зоні накопичуються продукти ядерного поділу (ПЯД), що представляють близько 200 осколкових радіонуклідів більш 30 хімічних елементів, що займають середину таблиці Менделєєва — від Германія з атомним номером 32 до Європія з номером 63, а також ізотопи наведеної активності — Цезій-134 і Нептуній-239. Вони мають періоди напіврозпаду від 30 секунд (Родій-106) до 30 років (Цезій-137) і є, як правило, β - γ -випромінювачами.

При опроміненні повільними нейтронами Урану-238 утворюються також трансуранові α -активні елементи — Плутоній, Америцій і Кюрій.

Кількість і радіонуклідний склад ПЯД залежать від роботи реактора, і чим вона триваліша, тим більше поділиться ядер Урану, і тим більше нагромадиться ПЯД. Вихід же їх в атмосферу при перегріві і розплавленні активної зони, порушенні герметичності реактора визначається ступенем їхньої летючості. На тлі тугоплавкості більшості радіонуклідів, Телур, Йод і Цезій мають високу летючість, тому аварійні викиди, як говорять фахівці, збагачуються цими радіонуклідами, з яких Йод і Цезій мають найбільш важливе радіобіологічне значення.

Так, частка активності, викинутої реактором 4-го енергоблоку ЧАЕС складала: Йоду-131 — 20 %, Цезію-137 — 13 %, Цезію-134 — 10 %, тоді як більшість інших — від 2 до 5 %, у тому числі Стронцію-90 — 4 %. Крім того, серед ПЯД присутні так звані радіоактивні шляхетні гази (РШГ) — Ксенон і Криптон. При нормально

працюючому реакторі вони постійно видаляються через фільтро-вентиляційну систему, а при аварії — вільно виходять в атмосферу.

Склад аварійного викиду продуктів ядерного поділу трохи відрізняється від складу продуктів ядерного вибуху (ПЯВ), що дозволяє при вимірюванні опадів визначити джерело забруднення.

Чорнобильська катастрофа, власне кажучи, є великомасштабною радіаційною аварією, у результаті якої в атмосферу було викинуто з ушкодженого реактора велика кількість продуктів ядерного поділу і наведеної активності.

Сумарна активність аварійних викидів оцінюється в $5 - 10^7$ Кі, чи близько 3-4% загальної активності продуктів ядерного поділу в реакторі. У результаті склалася радіаційний стан, своєрідність якого була обумовлена тривалістю (10 діб), дисперсним (газо-аерозольним) складом і висотою (сотні метрів, до 1-1,5 і більше км) радіоактивного викиду, з одного боку, і складним метеорологічним станом, з іншого.

Метеостан характеризувався слабким і змінним напрямком вітру у приземних шарах атмосфери, а на висотах 700 і 1500 метрів — південно-східним вітром і переносом повітряних мас у північно-західному напрямку зі швидкістю 5-10 м/с.

У зв'язку з цим процес розвитку наземного сліду радіоактивної хмари істотно відрізнявся від уявлень про його формування при ядерному вибуху чи навіть при одночасному, залповому викиді з реактора.

Початковий склад радіонуклідного забруднення оцінювався так:

Радіонуклід	Забруднення	Період напіврозпаду ($T_{1/2}$)	Тип випромінювання
Іод-131	15,0	8,05 доби	β - γ -випромінювач
Церій-144	13,5	284 доби	-
Цезій-137	5,0	30,2 роки	-
Цезій-134	3,5	2,06 роки	-
Стронцій-90	До 1,0	28,6 роки	β -випромінювач

Вміст Іоду-131 у пробах повітря і ґрунту коливався від 8 до 40% радіонуклідного складу, а Цезію-137 — від 1 до 20%, але мали місце випадки аномально високої питомої ваги (до 50%) радіонуклідів Цезію в сумарній активності. Їх називали «цезієвими плямами». Для того, щоб усі їх виявити і скласти «цезієву» карту, були використані численні установи, що володіли гамма-спектрометрами. Усе це вимагало величезної організаторської роботи і високої компетенції вчених.

У «йодному періоді», крім зовнішнього опромінення (формувалося до 45% дози за перший рік) основні проблеми були зв'язані з молоком — головним «постачальником» радіойоду усередину організму, і листовими овочами. Відзначимо, що корова щодоби з'їдає на пасовищі корм із площі близько 150 м² і є ідеальним концентратором радіоактивності в молоці.

Серед радіоізоотопів Іоду особливе місце займає Іод-131, що має найбільший період напіврозпаду — 8,05 доби, а ізотопи Іоду-132 ($T_{1/2} = 2,3$ години) і 134 ($T_{1/2} = 52,6$ хвилини) практичного значення не мають, тому що відповідно через 20 і 10 годин їхня активність знижується в 1000 разів. Співвідношення інших ізоотопів — Іоду-133 ($T_{1/2} = 20,8$ години) і Іоду-135 ($T_{1/2} = 6,6$ години) постійно змінюються в часі. Те ж саме відбувається і при одноразовому чи тривалому надходженні Іоду в організм, тому, вимірюючи кількість цього ізоотопу в щитовидній залозі, необхідно враховувати динаміку його поведінки, а також дозові коефіцієнти для переходу від активності Іоду до дози опромінення залози. Відзначимо, що ці коефіцієнти різні в дорослих і дітей, причому вони залежать від віку.

Відомо, що по проходженні 10 періодів напіврозпаду Іоду його активність знижується на 3 порядки (у 1000 разів). Тому до кінця червня 1986 року період «йодної небезпеки» практично закінчився і на перший план вийшла «цезієва» проблема.

«Цезієвий період» буде продовжуватися довгі роки, і це є однією з причин тривоги значної частини населення. Але радіонукліди цезію не є новим чинником, породженим Чорнобилем. У результаті глобальних опадів ПЯВ при іспитах ядерної зброї щільність випадань довгоживучих радіонуклідів Цезію і Стронцію оцінюється в середньому в 0,1—0,03 Ки/км² і 0,003—0,0004 Ки/км² відповідно, тобто

кількість Цезію в 15-30 разів більше, ніж Стронцію.

Особливості ґрунтів українсько-білоруського Полісся, бідних гумусом, сприяють більш високій доступності Цезію. Основними «постачальниками» Цезію в організм людини є молоко, хліб, овочі.

При вмісті 6,6 мкКі Цезія-137 в організмі протягом року формується доза в 1 бер. На щастя, цим джерелом внутрішнього опромінення можна керувати.

По-перше, при переробці молока Цезій переходить в олію в кількостях 1-2%, у сметану і сири — до 10%, у сир — до 20%.

По-друге, ефективним засобом захисту є вилучення з особистих господарств молочної худоби, завезення чистих продуктів замість місцевих й інші заходи.

По-третє, завдяки агрохімічним заходам вдається зменшити перехід Цезію з ґрунту в рослини через кореневі системи.

Як показали дослідження, дози тільки від молочної продукції з так званих культурних пасовищ були в два рази нижче, ніж на неопрацьованих.

Усі ці заходи дозволяють в десять і більш разів знизити дози внутрішнього опромінення населення в контрольованих зонах.

За даними кількарізних прямих інструментальних вимірів змісту Цезію в організмі 160 тис. жителів, у 98% доза була нижче 1 бера, складаючи в середньому за перший рік після аварії 0,2-0,9 бери, за другий — до 0,2 бери. Тільки в тридцяти жителів, що ігнорувала рекомендації з захисту, загальні дози опромінення досягли 25 бер, а в окремих осіб і більше. Відзначимо далі, що на момент аварії внесок основних дозоутворюючих радіонуклідів у дозу внутрішнього опромінення був наступним: Іод — 2,5%, Цезій — 79%, Стронцій — 3,5% (85% сумарної дози). На наступні 50 років було прогнозовано 60% і 40% (а не 15 і 85%).

Радіологічна ситуація Черкащини

Основними забруднюючими ізотопами на Черкащині є Цезій-137 та Стронцій-90.

Державними актами ухвалено, що забрудненими вважаються території з радіоактивністю один і більше кюрі на квадратний кілометр. До районів забруднення належать Канівський, Катеринопільський, Корсунь-Шевченківський, Звенигородський,

Лисянський, Тальнівський, Шполянський, Черкаський, Городищенський райони. Причому площа та характер забруднення в цих районах різна.

Радіоактивна хмара, яка йшла з північного напрямку була затримана підвищенням рельєфу місцевості, пасмом пагорбів та кряжів правобережжя Дніпра. Не постраждала територія Ірдино-Тясминської низовини, межиріччя Вільшанки та Росі. Мошногірський кряж сприяв забрудненню Кумейок в Черкаському районі. Зниження небезпечної хмари було викликане охолодженням повітряної маси водним простором Кременчуцького водосховища.

Особливістю радіологічної ситуації є її постійний розвиток. В зв'язку з періодом напіврозпаду основних радіонуклідів біля 30 років слід чекати зниження рівня радіоактивності. Але відбувається проникнення радіонуклідів з поверхні ґрунту на глибину. Це означає, що в забруднених районах слід звертати увагу на чистоту продукції коренеплідного характеру (буряки, морква, картопля). Зменшується небезпека в молочному виробництві.

Паводкові води, змиви та мул Чорнобильської зони переносяться течією Дніпра і осідають на дні Кременчуцького водосховища, що призводить до підвищення радіоактивності донних відкладень, і тим самим до зростання небезпеки забруднення риби. Потрібний контроль за можливим розповзанням меж забруднених зон.

Взагалі кажучи, дуже важливе значення має накопичення та аналіз санітарно-медичної та екологічної інформації, що має допомогти вирішенню проблем сьогодення і майбутнього.

Проблеми пов'язані з розвитком радіологічної ситуації

Унаслідок аварії на ЧАЕС - найбільшої техногенної катастрофи в атомній енергетиці - постраждали мільйони мешканців України. Вплив аварії на здоров'я населення, її соціальні та економічні наслідки визначають умови життя населення на забруднених територіях нині і визначатимуть їх протягом наступних десятиріч.

Починаючи з перших днів ліквідації аварії, значні зусилля були

спрямовані на вивчення рівнів радіоактивного забруднення навколишнього середовища. Була сформована система радіаційного моніторингу, що налічує сотні лабораторій та постів радіологічного контролю, яка до сьогодні здійснює регулярну оцінку поточного радіаційного стану забруднених територій та контроль забруднення продукції, що отримується тут. Проведено сотні тисяч вимірювань вмісту радіонуклідів у пробах води, атмосферних аерозолів та випадів, ґрунту, сільськогосподарської та лісгосподарської продукції. З різною детальністю вся територія України була обстежена з використанням аерогаммаспектрометричних методів. В населених пунктах, що віднесено до зон посиленого радіоекологічного контролю та гарантованого добровільного відселення, а також в тих селах зони безумовного (обов'язкового) відселення, де продовжують мешкати місцеві жителі, проводиться щорічна дозиметрична паспортизація, результати якої є основою для планування і здійснення протирадіаційних заходів, а також - підготовки пропозицій щодо перегляду меж зон радіоактивного забруднення.

За результатами проведених моніторингових досліджень було побудовано карти радіоактивного забруднення території України. Ці карти надруковано в ряді видань, серед яких - спеціальні атласи забруднення Європи цезієм, радіоактивного забруднення Європейської частини Росії, Білорусі та України, атлас Чорнобильської зони відчуження. Головна увага у цих виданнях приділяється забрудненню території цезієм-137, який є основним дозоутворювальним радіонуклідом у пізню фазу Чорнобильської аварії. Карти забруднення території іншими радіонуклідами, що мають важливе радіологічне значення, - стронцієм-90, ізотопами плутонію, америцієм-241 для території України мають оглядовий характер.

Після виходу вищезазначених видань було виконано значну роботу щодо аналізу та впорядкування даних радіологічного моніторингу. Крім цього, частину території додатково обстежено переважно за допомогою аерогаммаспектрометричної зйомки, меншою мірою за матеріалами наземного пробовідбору. Нові результати обстежень дозволили побудувати більш точні

карти забруднення України Цезієм-137 та створити карти забруднення Стронцієм-90, ізотопами Плутонію, Америцієм-241 (<http://www.chernobyl.info/Default.aspx?tabid=254>).

Проте самі лише карти радіоактивного забруднення не дають повного уявлення про рівень його впливу на здоров'я населення.

Головним чинником, що зумовлює масштабність радіаційної аварії, є іонізувальне випромінювання. Доза опромінення, яку отримала людина внаслідок Чорнобильської катастрофи та яку отримає у майбутньому за час проживання на забрудненій території є інтегральним показником - мірою впливу всіх радіонуклідів. Істотним є також те, що впродовж останнього десятиріччя основний внесок у сумарну дозу опромінення належить (та й у найближчому майбутньому належатиме) внутрішньому опроміненню за рахунок споживання продуктів харчування, які виробляються на території зон радіоактивного забруднення, головним чином, у північних районах Українського Полісся. Довідкова інформація вміщує дані про забруднення молока, отримані за результатами багаторічних спостережень на забруднених територіях.

Дуже велике значення має розв'язання проблем, пов'язаних з соціально-економічними наслідками катастрофи. Серед інших карт у довідковому розділі вміщено принципово важливу карту - зон радіоактивного забруднення згідно з чинним законодавством України. Крім цього, довідкова інформація вміщує результати дозиметричної паспортизації населених пунктів за останні роки.

Істотну допомогу у подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи надавали і надають міжнародні організації та іноземні країни.

За підтримки МАГАТЕ реалізується цілий ряд національних та регіональних проектів технічної допомоги, зокрема Проект RER3004 Радіологічна підтримка реабілітації територій, що постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

З 2009 року успішно діє регіональний проект організацій системи ООН "Міжнародна науково-інформаційна мережа з питань Чорнобиля" (International

Chornobyl Research and Information Network, ICRIN), який фінансується Довірчим фондом ООН з людської безпеки та впроваджується на території України, Білорусії та Росії. Мета Проекту - інформування населення про безпечне проживання на територіях, постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи, а також адаптація найновішої наукової інформації щодо наслідків аварії до потреб населення, представлення її у вигляді практичних порад. Проект здійснюється зусиллями Всесвітньої організації здоров'я (ВОЗ), Дитячого фонду ООН (ЮНІСЕФ), Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ), та Програми розвитку ООН (ПРООН)

Джерела інформації

1. Антонов и др. Биопфизика. - М., 2000. - 288 с.
2. Антонов В.П. Уроки Чернобыля: Радиация, жизнь, здоровье. Рад - К., 1989. -112 с.
3. Дзвинс Д. Энергия /Пер. с англ. - М., 1985. - 360 с
4. Кириллов В.Ф., Книжников В.А., Керенков И.П. Радиационная гигиена. —М., 1988.—330 с.
5. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности.— М., 1987.— 190 с.
6. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене, —М., 1984.—293 с.
7. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87.—М., 1988.—150 с.
8. Радиация, дозы, эффекты, риск / Пер. с англ.— М., 1988.—77 с.
9. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции //Метеорология и гидрология.-1987.-№2.-С. 5-18.
10. Тигранян Р.А. Стресс и его значение для организма. — М., 1988 - 172 с.

Видання підготовлено до друку та віддруковано
редакційно-видавничим відділом ЧОПООП
Зам. № 1132 Тираж 100 пр.
18003, Черкаси, вул. Бидгощська, 38/1