

**Міністерство освіти і науки України  
Автомобільно-дорожній інститут  
Донецького національного технічного університету**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової роботи з дисципліни  
„Радіаційна екологія”**

**Горлівка 2005**

**Міністерство освіти і науки України  
Автомобільно-дорожній інститут  
Донецького національного технічного університету**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової роботи з дисципліни  
„Радіаційна екологія”  
(для студентів спеціальності 7.070801)**

Затверджено на  
засіданні НМК  
спеціальності 8.070801.  
Протокол № \_\_\_\_\_  
від „\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2004р.

Затверджено на  
засіданні кафедри  
„Екологія та БЖД”.  
Протокол № \_\_\_\_\_  
від „\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2004р.

**Горлівка 2005**

УДК \_\_\_\_\_ (071)

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни „Радіаційна екологія”/ Укладачі: Кутовий В.О., Коновальчик М.В. – Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2005. – 40 с.

В методичних вказівках викладено методику розрахунків поширення і розсіювання радіонуклідів в атмосфері при викидах у повітряний і водний басейни, а також розрахунків доз зовнішнього опромінення, що може отримати при цьому людина.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності „Екологія та охорона навколишнього середовища”.

Укладачі: В.О. Кутовий, ст. викладач  
М.В. Коновальчик, студент

Відповідальний за випуск: Висоцький С.П., зав. кафедрою  
„Екологія та БЖД”

Рецензент: В.Т. Завадський

## ЗМІСТ

	стор.
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ</b> .....	5
<b>2 РОЗРАХУНОК РОЗРАХУНОК ПОШИРЕННЯ І РОЗСПО-</b> <b>ВАННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В АТМОСФЕРІ</b> .....	8
<b>3 РОЗРАХУНОК ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ВІД ВИКИДІВ</b> <b>РАДІОНУКЛІДІВ ДО АТМОСФЕРИ</b> .....	18
<b>4 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ РАДІОНУКЛІДІВ У ВОД-</b> <b>НОМУ СЕРЕДОВИЩІ</b> .....	32
<b>5 РОЗРАХУНОК ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ВІД ВИКИДІВ РАДІО-</b> <b>НУКЛІДІВ ДО ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА</b> .....	33
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	36
<b>ДОДАТКИ</b> .....	37
<b>Додаток А-НОМОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНИХ</b> <b>ВІДХИЛЕНЬ.СТРУМЕНЯ</b> .....	37
<b>Рисунок А.1</b> – Залежність стандартного відхилення $\sigma_y$ поперечного гори- зонтального розподілу концентрації $A_y$ від відстані $x$ до безперервного джерела радіоактивних викидів та категорії стійкості погоди.....	37
<b>Рисунок А.2</b> – Залежність стандартного відхилення $\sigma_z$ поперечного гори- зонтального розподілу концентрації $A_y$ від відстані $x$ до безперервного дже- рела радіоактивних викидів та категорії стійкості погоди.....	38
<b>Додаток Б-ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА</b> <b>РОЗСПОВАННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В АТМОСФЕРІ</b> .....	39
<b>Таблиця Б.1</b> – Початкові дані.....	39
<b>Таблиця Б.2</b> – Дані для побудови графіку $A_y = f(x)$ .....	39
<b>Рисунок Б.1</b> – Приклад графіку залежності концентрації радіонуклідів від відстані до джерела забруднення $A_y = f(x)$ .....	40

## ВСТУП

Для кожного підприємства, що є джерелом радіоактивного забруднення атмосферного повітря або водного середовища, повинні бути встановлені припустимі викиди і скиди радіонуклідів.

Значення цих викидів і скидів, розміри санітарно-захисної зони можуть бути розраховані на основі дотримання норм радіаційної безпеки та інших норм і правил з використанням даних метеорологічних умов, розташування населених пунктів, характеру сільськогосподарського виробництва, особливостей харчування населення в зоні поблизу підприємства. Безпосередні виміри рівнів  $\gamma$  - фону на місцевості, вмісту радіонуклідів у ґрунті, воді, рослинах, сільськогосподарських тваринах, молоці, продуктах харчування й організмі людини могли б дати пряме значення дози зовнішнього і внутрішнього опромінення в районі підприємства. Однак при зникаюче малих значеннях радіоактивних забруднень зовнішнього середовища, викликуваних такими підприємствами, як АЕС, подібні вимірювання утруднені через коливання природного радіаційного фону і глобальні випадання радіонуклідів, що утворилися при випробуваннях ядерної зброї. Тому розрахунок доз зовнішнього і внутрішнього опромінення осіб з обмеженої частини населення (індивідуальні дози) і груп населення (колективні дози) виконують по значенням радіоактивних викидів і скидів. З цією метою використовують методи розрахунку поширення викинутих радіоактивних продуктів в атмосфері і водному середовищі і визначення ступеня (факторів) розсіювання (або коефіцієнтів розбавлення) радіонуклідів, що викидаються.

## 1 УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

У методичних вказівках використані наступні позначення:

$\chi$  - короткочасний метеорологічний фактор розбавлення,  $c/m^3$ ;

$Q$  - потужність джерела (швидкість викиду),  $Bк/с$ ;

$\psi$  - нормований на швидкість вітру короткочасний фактор метеорологічного розбавлення для осі струменя,  $m^{-2}$

$U$  - швидкість вітру,  $m/с$ ;

$\sigma_y, \sigma_z$  - коефіцієнти дисперсії Гаусового розподілу або турбулентної дифузії в поперечних до вітру напрямках (горизонтальному  $y$  і вертикальному  $z$ ),  $m$ .

$h_{ef}$  - ефективна висота викиду,  $m$ ;

$h$  - геометрична висота викиду,  $m$ ;

$A_{y\max}$  - Максимальна приземна концентрація за Паскуїлом;

$x$  - відстань до місця викиду,  $m$ ;

$A, B, C, D, E, F$  – категорії стійкості (сталості) погоди (категорії метеорологічних умов);

$\theta$  - напрямок вітру в горизонтальній площині;

$\sigma_\theta$  - стандартне відхилення горизонтального напрямку вітру;

$A'$  - безрозмірний параметр, що залежить від категорії, метеорологічних умов  $A - F$  ;

$Q_h$  - теплова потужність джерела,  $kBm$ ;

$U_h$  - швидкість вітру на висоті  $h$ ,  $m/с$ ;

$V_s$  - швидкість викиду газів з вентиляційної труби,  $m/с$ ;

$d$  - внутрішній діаметр труби,  $m$ ;

$h_z$  - висота будівлі,  $m$ ;

$b_z$  - ширина будинку,  $m$ .

$\epsilon$  - безрозмірний параметр;

$A_G$  - модель будівлі;

$f_R$  - фактор збіднення за рахунок радіоактивного розпаду радіонуклідів;

$\lambda$  – постійна розпаду,  $c^{-1}$ ;

$\bar{U}$  – середня швидкість вітру, що розраховується за формулою;

$T_{1/2}$  - період напіврозпаду радіонуклідів;

$f_F$  - фактор збіднення за рахунок сухого осадження;

$f'_F$  - фактор збідніння для випадку, коли  $V_g = 0.01$  м/с і  $U = 1$  м/с;  
 $V_g$  - швидкість сухого осадження;  
 $\Lambda$  - постійна вимивання радіонуклідів опадами,  $c^{-1}$ ;  
 $C^r$  - параметр виведення йоду;  
 $\theta$  - інтенсивність опадів;  
 $f_\omega$  - фактор збідніння за рахунок вимивання опадами;  
 $F$  - короткочасний фактор сухого осадження;  
 $W$  - короткочасний фактор вимивання опадами;  
 $C$  - часовий інтеграл концентрації на даній відстані від джерела викиду,  $Bк \cdot c / м^3$ ;  
 $t_0$  - момент початку викиду;  
 $T$  - тривалість викиду (або опромінення), с;  
 $Q_\Sigma$  - сумарний викид радіонуклідів,  $Bк$ ;  
 $H^{xM}$  - еквівалентна доза опромінення людини від радіоактивної хмари,  $Зв$ ;  
 $H^{нов}$  - еквівалентна доза опромінення людини від забрудненої поверхні землі  $Зв$ ;;  
 $H^{inz}$  - еквівалентна доза опромінення людини за рахунок інгаляції,  $Зв$ ;  
 $H^{харч}$  - еквівалентна доза опромінення людини за рахунок споживання харчів або питної води  $Зв$ ;;  
 $R^{xM}$  - дозовий коефіцієнт, опромінення від радіоактивної хмари,  $Зв \cdot м^3 / (Bк \cdot c)$ ;  
 $E$  - енергетичний вихід фотонів на розпад;  
 $K_n$  - поправний коефіцієнт на процеси накопичення та виведення радіонуклідів з ґрунту.  
 $\lambda_{эф}$  - ефективна постійна виведення і напіврозпаду радіонуклідів;  
 $t$  - час накопичення радіонуклідів на поверхні землі;  
 $\lambda_g$  - постійна виведення радіонуклідів з ґрунту;  
 $U^{харч}$  - споживання різних овочів, молока, м'яса, м'яса, кг;  
 $k^a$  - поправочний коефіцієнт;  
 $R^{харч}$  - дозовий коефіцієнт при надходженні радіонуклідів з їжею,  $Зв/Bк$ ;  
 $k_1^П$  і  $k_2^П$  - коефіцієнти радіонуклідів у харчах ( відповідно для стеб-  
 линного кореневого шляху);  
 $C^{рiч}$ ,  $C^{вод}$  - концентрація радіонуклідів у річковій воді та воді во-  
 доймища на відстані  $x$  від місця скидання в річку,  $Bк/л$ ;

$a$  – швидкість скидання радіонуклідів,  $Bк/с$ ;

$Q_g$  – витрата води, що скидається,  $м^3/с$ ;

$f_v$  – коефіцієнт розбавлення;

$v_p$  – середня швидкість течії річки,  $м/с$ .

$C_0$  – концентрація радіонуклідів, що скидаються,  $Bк/л$ ;

$Q_0$  – витрата води, що скидається,  $м^3/с$ ;

$Q_2$  – стікання води з водойми,  $м^3/с$ ;

$v$  – обсяг водойми,  $м^3$ ;

$C^{дон}$  – концентрація радіонуклідів у донних відкладеннях;

$T^{дон}$  – коефіцієнт переходу радіонуклідів з води в донні відкладення,  
 $л/кг$ ;

$C^{пит}$  – концентрація радіонуклідів в питній воді,  $Bк/л$ ;

$T^{вод}$  – безрозмірний коефіцієнт переходу радіонукліда з води річки або водойми в питну воду або «фактор дезактивації»,  $(Bк/л)/(Bк/л)$ ;

$H^{куп}$  – доза зовнішнього опромінення,  $Зв$ , за рахунок купання або катання на човні;

$g_1$  – геометричний фактор опромінення при купанні або при катанні на човні;

$R_{вод}$  – дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення від води,  
 $Зв\cdot л/(Bк\cdot с)$ ;

$H^{дон}$  – доза зовнішнього опромінення, від донних відкладень і перебування на пляжі  $Зв$ ;

$g_2$  – геометричний фактор опромінення на поверхні донних відкладень або для пляжу);

$t_{дон}$  – тривалість перебування на пляжі,  $с$ ;

$H^{пит}$  – доза внутрішнього опромінення за рахунок споживання забрудненої питної води  $Зв$ ;

$U^{вод}$  – споживання води особами якої-небудь вікової групи умовно позначеної «а»,  $л$ ;

$R^{харч}$  – дозовий коефіцієнт радіонуклідів при споживання продуктів харчування;

$H^{риб}$  – доза внутрішнього опромінення, за рахунок споживання риби  
 $Зв$ ;

$C^{риб}$  – концентрація радіонуклідів у рибі,  $Bк/кг$ ;

$U^{риб}$  – споживання риби особами вікової групи «а»,  $кг$ ;

$T^{риб}$  – безрозмірний коефіцієнт біоаккумуляції радіонуклідів в м'язовій тканині риби,  $(Bк/кг)/(Bк/л)$ ;



## 2 РОЗРАХУНОК ПОШИРЕННЯ І РОЗСІЮВАННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В АТМОСФЕРІ

Ступінь розсіювання домішок в атмосфері за різних погодних умов різна і визначається, в основному, швидкістю вітру і температурним градієнтом у повітрі, що залежать від властивостей поверхні землі і теплового балансу на її поверхні. Чим сильніше нагріта земля, тим інтенсивніше вертикальне перемішування повітря. Якщо температура навколишнього повітря знижується з висотою більше, ніж на  $1^\circ$  на кожні 100 м висоти, то нагріті об'єми повітря піднімаються на велику висоту, а замість їх донизу опускаються холодні струмені повітря. Такі умови називаються конвекційними, хитливими і характеризуються інтенсивним вертикальним перемішуванням повітря, що приводить до значного розбавлення радіонуклідів, що викидаються, в атмосфері.

Якщо вертикальний градієнт температури близький до нуля або негативний (тобто температура повітря з висотою зростає, виникає інверсія температури), то об'єм повітря понад землею виявляється холодніше навколишньої маси повітря і його рух нагору майже не відбувається. Такі умови називаються стійкими, інверсійними. Вони характеризуються дуже слабким турбулентним обміном і дуже слабким розбавленням домішок в атмосфері. Концентрація в атмосфері залежить також від висоти труби, швидкості витікання струменя з труби і перегріву струменя щодо навколишнього повітря, що створюють додатковий початковий підйом струменя внаслідок сил інерції і плавучості. Концентрація залежить також від осадження домішки на поверхню землі внаслідок гравітаційного і турбулентного осідання і вимивання атмосферними опадами. У результаті цього виникає «виснаження» або «збідніння» струменя і забруднення поверхні землі.

Незалежно від застосовуваних формул розрахунку приземної концентрації потрібно знати наступні параметри: висоту викиду (висоту труби), активність і об'єм газоповітряної суміші, що викидається з труби, напрямку і швидкість вітру, частоту повторюваності напрямку і швидкості вітру, категорію стійкості погодних умов, температурний градієнт нижніх шарів атмосфери, швидкість гравітаційного осадження радіоактивних речовин, швидкість радіоактивного розпаду й ін.

У результаті турбулентності викинуті в атмосферу клуби газу (аерозолів) або струмінь, що безупинно випускається, розширюються, а концентрація радіоактивної домішки убуває.

Розподіл концентрації часток у напрямках, поперечних рухові струменя (клуба), як це встановлено численними експериментами, близький до нормального (Гаусова). У залежності від метеоумов струмінь може бути хвилеподібної (хитливі умови), конусоподібної (нейтральні умови),

віялоподібної (стійкі) форми.

Виразення для приземної ( $z=0$ ) концентрації  $A_v$ , від безупинно короткочасно діючого джерела (від 20 хв. до декількох годин, коли метеоумови залишаються практично незмінними), піднятого над рівнем землі на висоту  $h_{ef}$ , дається формулою

$$\chi = \frac{A_v}{Q} = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z \cdot U} \exp \left[ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{h_{ef}^2}{2\sigma_z^2} \right] f_R f_F f_\omega, \quad (2.1)$$

де  $A_v^*$  - концентрація (об'ємна активність),  $Bк/м^3$ ;

$\chi = A_v / Q$  - короткочасний метеорологічний фактор розбавлення,  $с/м^3$ ;

$Q$  - потужність джерела (швидкість викиду),  $Bк/с$ :

$$\psi = A_v \cdot U / Q = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{h_{ef}^2}{2\sigma_z^2} \right] f_R f_F f_\omega, \quad (2.2)$$

$\psi$  - нормований на швидкість вітру короткочасний фактор метеорологічного розбавлення для осі струменя ( $y=0$ ),  $м^2$ , (рис. 1.1 -1.2);

$U$  - швидкість вітру,  $м/с$ ;

$\sigma_y, \sigma_z$  - коефіцієнти дисперсії Гаусового розподілу або турбулентної дифузії в поперечних до вітру напрямках (горизонтальному  $y$  і вертикальному  $z$ ),  $м$ .

Шорсткість поверхні виражається параметром  $z_0$ ,  $м$  [див. формулу (2.5)].

Категорія погоди обчислюється за швидкістю вітру і візуально за денною інсоляцією (сильна, помірна, слабка), а для нічних умов - за ступенем хмарності. Значення коефіцієнтів  $\sigma_y, \sigma_z$  у формі сім'ї кривих (додаток А, Б) наведені в багатьох посібниках, у тому числі й у рекомендаціях МАГАТЕ, і широко застосовуються в різних країнах світу.

Зі співвідношення (2.1) випливає, що концентрація на рівні землі поблизу джерела, піднятого на висоту  $h$ , дорівнює нулеві, потім збільшується з віддаленням від труби, досягаючи максимуму на визначеній відстані, що залежить від категорії стійкості атмосфери, а потім знову зменшується. Максимальна приземна концентрація за Паскуїлом визначається формулою

\* - *Примітка*: умовні позначення наведені у розділі 1 (стор. 6)

$$A_{v \max} = \frac{2Q}{\left[ \left( e \pi \bar{U} h_{\text{эф}}^2 \right) \cdot \left( \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \right) \right]}, \quad (2.3)$$

і відповідає відстані  $x$ , на якій  $\sigma_z = h / \sqrt{2}$ . Значення  $\sigma_y, \sigma_z$  у вираженні (2.3) належать до цієї відстані.

Використовуючи співвідношення  $\sigma_\theta = \sigma_y / x$  (при малих значеннях  $\theta$ ), у якому  $\sigma_\theta$  є стандартним відхиленням горизонтального напрямку вітру, можна зв'язати  $\sigma_z$  з шириною струменя. Це зручно на практиці, тому що досить виміряти середню (за 30 хв.) зміну кута  $\theta$  напрямку вітру в горизонтальній площині за допомогою найпростішого румбанометра, і по ньому обчислити  $\sigma_\theta$ . Категорії стійкості погоди за Паскуілом зв'язані з  $\sigma_\theta$  (табл. 2.1).

Умови категорії **D** застосовуються при суцільній хмарності удень або уночі. Найгірші погодні умови (категорія **F**) виникають, наприклад, у нічний час при хмарності, що закриває не менш трьох восьмих небозводу і швидкості вітру близько 2 м/с.

У табл. 1.2 показаний зв'язок між категорією стійкості й умовами погоди (середня швидкість вітру і характеристика радіаційного балансу).

**Таблиця 2.1** - Стандартне відхилення  $\sigma_\theta$  у залежності від категорії стійкості погоди

Категорія стійкості	$\sigma_\theta$ , град	Категорія стійкості	$\sigma_\theta$ , град
<b>A</b> - сильна нестійкість	25.0	<b>D</b> - нейтральні умови	10.0
<b>B</b> - помірна нестійкість	20.0	<b>E</b> - слабка стійкість	5.0
<b>C</b> - слабка нестійкість	15.0	<b>F</b> - стабільність	2.5

У співвідношеннях (2.1), (2.2) важливе значення має  $h_{\text{эф}}$  - ефективна висота викиду, м;  $h_{\text{эф}} = h + \Delta h$ , де  $h$  - геометрична висота викиду, м;  $\Delta h$  - висота додаткового теплового підйому струменя, м, яку можна обчислити за емпіричною формулою (2.4), застосовної для значень теплової потужності в діапазоні від 7,5 до  $7,0 \cdot 10^4$  кВт

$$\Delta h = A' \left[ 2,6 \left( \sqrt{Q_h} / U_h \right) - 0,029 (v_s d / U_h) \right], \quad (2.4)$$

де  $A'$  - безрозмірний параметр, що залежить від категорії, метеорологічних умов **A**–**F** (табл. 2.3);

$Q_h$  - теплова потужність джерела,  $\kappa Bm$ ;

$U_h$  - швидкість вітру на висоті  $h$ ,  $m/c$ ;

$V_s$  - швидкість викиду газів з вентиляційної труби,  $m/c$ ;

$d$  - внутрішній діаметр труби,  $m$ ;

$$U_h = U \left[ (h^\varepsilon - z_0^\varepsilon) / (10^\varepsilon - z_0^\varepsilon) \right], \quad (2.5)$$

$U$  - швидкість вітру, звичайно вимірювана на висоті  $10m$  над поверхнею землі:

$z_0$  - шорсткість поверхні,  $m$  (звичайно  $z_0 = 0,1m$  для рівної незабудованої безлісної місцевості,  $z_0 = 1m$  - для міста або лісу висотою  $10m$ );

$\varepsilon$  - безрозмірний параметр.

Якщо  $h_{ef} < 2h_z$ , де  $h_z$  - висота будинку,  $m$ ; замість  $\sigma_y, \sigma_z$  використовують  $\Sigma_y = (\sigma_y^2 + A_G / \pi)^{1/2}$  і  $\Sigma_z = (\sigma_z^2 + A_G / \pi)^{1/2}$ , де  $A_G = h_z \cdot b_z$  (якщо  $b_z \leq h_z$ ) і  $A_G = h_z^2$  (якщо  $b_z > h_z$ ),  $b_z$  - ширина будинку,  $m$ .

У формулах (2.1), (2.2) наявні наступні поправочні множники:

а)  $f_R$  - фактор збіднення за рахунок радіоактивного розпаду:

$$f_R = \exp(-\lambda x / \bar{U}) \quad (2.6)$$

де  $\lambda$  - постійна розпаду,  $c^{-1}$ ;

$\bar{U}$  - середня швидкість вітру, що розраховується за формулою:

$$\bar{U} = \frac{U}{10^\varepsilon - z_0^\varepsilon} \left( \frac{h_{ef}^2}{\varepsilon + 1} - z_0^\varepsilon \right). \quad (2.7)$$

Постійна розпаду  $\lambda$  зв'язана з періодом напіврозпаду співвідношенням

$$T_{1/2} = 0.693 / \lambda.$$

Для кожного ізотопу є свої значення  $\lambda$  і  $T_{1/2}$  (див. табл. 2.5).

б)  $f_F$  - фактор збіднення за рахунок сухого осадження

$$f_F = (f'_F)^{100(V_g/U)}, \quad (2.8)$$

де  $f'_F$  - фактор збіднення для  $(V_g/U) = 0,01$ , тобто коли  $V_g = 0.01$  м/с і  $U = 1$  м/с;

$V_g$  - швидкість сухого осадження різних з'єднань (форм) йоду й аерозолів, що рекомендується в табл. 2.4.

**Таблиця 2.2** – Зв'язок між категорією стійкості й умовами погоди

Швид- кість вітру V на висоті 10 м, м/с.	У денний час при інсоляції			У нічний час	
	Сильна*	Помір- на	Слабка*	Тонка суцільна хмарність 4/8 бали хмарності**	3/8 бали
$U < 2$	A	A – B	B	*4	*4
$2 \leq U < 3$	A – B	B	C	E	F
$3 \leq U < 5$	B	B – C	C	D	E
$5 \leq U < 6$	C	C – D	D	D	D
$6 < U$	C	D	D	D	D

\*Сильна інсоляція відповідає висоті Сонця більш, ніж на  $60^\circ$  над обрієм при ясному небі.

\*\*Слабка інсоляція відповідає висоті Сонця від  $15$  до  $35^\circ$  над обрієм при ясному небі.

\*\*\*Ступінь хмарності, визначена як частина неба над місцевим видимим обрієм, покрита хмарами.

\*<sup>4</sup>У деяких країнах категорія **F** поширюється на нічний час при  $U < 2$  м/с.

**Таблиця 2.3** – Параметри  $A$  і  $\epsilon$  для розрахунку підйому струменя і швидкості вітру

Категорія дифузії	A	B	C	D	E	F
Параметр A	2.65	2.13	1.6	1.03	0.88	0.68
Параметр $\epsilon$	- 0.16	- 0.09	0.04	0.11	0.14	0.19

Значення фактора  $f_F$  у залежності від категорії метеорологічних умов і розраховані для ряду висот викиду наведені в табл. 2.6 – 2.8.

**Таблиця 2.4** – Рекомендовані значення швидкості осадження  $V_g$  і параметру виведення  $C^r$

Речовина	$V_g$ , м/с	$C^r$ , год/(мм·с)
Елементарний йод	$2 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$
Органічні сполуки йоду	$1 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
Аерозолі	$8 \cdot 10^{-3}$	$2.6 \cdot 10^{-5}$

**Таблиця 2.5** - Диференціальні і повні керма - постійні і гама - постійні деяких радіонуклідів\*

Нуклід, період напів-розпаду	Енергія фотонів, МеВ	Квантовий вихід на розпад, %	Керма-постійна ** аГр·м <sup>2</sup> /(с·Бк)	Гамма-постійна** Р·см <sup>2</sup> / (год·мКи)
<sup>22</sup> <sub>11</sub> Na 2,6 року	1.27	99.95	42.71	6.518
<sup>59</sup> <sub>26</sub> Fe 45,1 діб	1.29	44.1	19.05	2.907
<sup>54</sup> <sub>25</sub> Mn 312,3 діб	0.83	99.9	30.24	4.614
<sup>58</sup> <sub>27</sub> Co 70,78 діб	0.81	99.45	29.32	4.474
<sup>60</sup> <sub>27</sub> Co 5,272 року	1.33	99.98	44.21	6.746
<sup>65</sup> <sub>30</sub> Zn 244,1 діб	1.11	50.6	19.48	2.973
<sup>91</sup> <sub>39</sub> Y 58,51 діб	1.48	0.17	0.081	24 -2
<sup>89</sup> <sub>38</sub> Sr 50,6 діб	1.489	100	-	-
<sup>90</sup> <sub>38</sub> Sr 28,6 року	0.546	100	-	-
<sup>99</sup> <sub>43</sub> Tc 66 год	1.23	80,5	-	-

Продовження таблиці 2.5

Нуклід, період напів- розпаду	Енергія фотонів, МеВ	Кванто- вий вихід на розпад, %	Керма-постійна** аГр $\cdot$ м <sup>2</sup> /((з $\cdot$ Бк)	Гама – постійна** Р $\cdot$ см <sup>2</sup> /((год $\cdot$ мКи)
<sup>95</sup> <sub>40</sub> Zr 64,05 діб	0.75	55.4	15.36	2.345
<sup>95</sup> <sub>41</sub> Nb 34,9 діб	0.99	76.43	27.97	4.269
<sup>103</sup> <sub>44</sub> Ru 39,35 діб	0.61	5.85	1.337	0.204
<sup>110m</sup> <sub>47</sub> Ag 250,4 діб	1.50	14.5	70.25	1.072
<sup>106</sup> <sub>44</sub> Ru 368 діб	1.12	0.39	0.151	2.31 – 2
<sup>131</sup> <sub>53</sub> I 8,04 діб	0.72	1.63	0.433	6.62-2
<sup>133</sup> <sub>53</sub> I 20,8 год	1.29	2.1	0.911	0.139
<sup>134</sup> <sub>55</sub> Cs 2,06 рік	1.36	3.20	1.441	0.220
<sup>137</sup> <sub>55</sub> Cs 30,17 року	0.66	85.1	20.92	3.192
<sup>140</sup> <sub>56</sub> Ba 12,78 діб	0.53	23.8	4.817	0.735
<sup>140</sup> <sub>57</sub> La 40,22 год	2.52	3.44	2.392	0.365
<sup>141</sup> <sub>58</sub> Ce 32,5 діб	0.036	16.6	0.626	9.56 – 2
<sup>144</sup> <sub>58</sub> Ce 284,3 діб	0.13	10.8	0.442	6.75 – 2
<sup>239</sup> <sub>93</sub> Np 2,355 діб	0.50 - 0.25	22.45	2.215	0.338

Для інших значень висот і відстаней фактор  $f'_F$  може бути розрахований за співвідношенням

$$f'_F = \exp\left(-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot 0.01 \int_0^x \frac{dx}{\sigma_z \exp(h_{ef}^2 / 2\sigma_z^2)}\right), \quad (2.9)$$

в)  $f_\omega$  - фактор збідніння за рахунок вимивання опадами

$$f_\omega = \exp[-\Lambda(x/U)], \quad (2.10)$$

де  $\Lambda = C^r \theta$  - постійна вимивання опадами,  $c^{-1}$ ;

$C^r$  - зазначені в табл. 2.4 значення параметра виведення йоду в різних фізико-хімічних формах і аерозолях;

$\theta$  - інтенсивність опадів, вимірювана, як це прийнято в метеорології, у мм/год.

Короткочасні фактори сухого осадження  $F$  і вимивання  $W$  опадами домішки радіонуклідів із хмари, використовувані для розрахунку опромінення від забрудненої поверхні,  $m^{-2}$

$$F = V_g \cdot \chi, \quad (2.11)$$

де  $V_g$  - наведена вище швидкість осадження,  $m/c$ ;

$$W = \frac{\Lambda}{\sqrt{2\pi}\sigma_y U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right). \quad (2.12)$$

Для осі струменя ( $y=0$ ):

$$W = \frac{\Lambda}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot U}}, \quad (2.13)$$

де  $\Lambda$  - постійна вимивання домішки опадами,  $c^{-1}$ .



**Таблиця 2.6** – Фактор збіднення хмари за рахунок сухого осадження,  $f'_F$ , при  $h = 0 м$  та  $z_0 = 0.1 м$

Відстань, м	Категорія сталості атмосфери					
	А	В	С	Д	Е	Ф
100.0	0.843	0.811	0.765	0.771	0.582	0.476
200.0	0.812	0.767	0.709	0.642	0.495	0.366
300.0	0.794	0.741	0.676	0.602	0.447	0.307
500.0	0.773	0.709	0.635	0.551	0.389	0.239
700.0	0.769	0.687	0.608	0.519	0.352	0.198
900.0	0.749	0.671	0.588	0.494	0.325	0.171
1.0+3	0.745	0.665	0.580	0.484	0.314	0.160
2.0+3	0.717	0.619	0.523	0.416	0.245	0.974-01
3.0+3	0.700	0.592	0.489	0.376	0.206	0.688-01
5.0+3	0.678	0.556	0.445	0.325	0.161	0.409-01
7.0+3	0.662	0.531	0.414	0.291	0.133	0.272-01
9.0+3	0.649	0.512	0.391	0.265	0.113	0.193-01
1.0+4	0.644	0.503	0.381	0.255	0.105	0.165-01
2.0+4	0.604	0.443	0.312	0.184	0.584-01	0.459-02
3.0+4	0.576	0.403	0.269	0.144	0.370-01	0.168-02
5.0+4	0.533	0.347	0.213	0.971 – 01	0.174-01	0.311-03
7.0+4	0.500	0.307	0.174	0.695-01	0.914-02	0.722-04
9.0+4	0.472	0.274	0.146	0.516-01	0.510-02	0.190-04
1.0+5	0.460	0.260	0.135	0.448-01	0.388-02	0.101-04

**Таблиця 2.7** – Фактор збіднення хмари за рахунок сухого осадження  $f'_F$  при  $h = 10 м$  та  $z_0 = 0,1 м$

Від- стань, м	Категорія сталості атмосфери					
	А	В	С	Д	Е	Ф
1	2	3	4	5	6	7
100	0.971	0.967	0.969	0.967	0.978	0.999
200	0.940	0.941	0.952	0.946	0.934	0.976
300	0.920	0.925	0.941	0.932	0.901	0.934
500	0.896	0.903	0.926	0.913	0.853	0.849
700	0.880	0.888	0.915	0.889	0.819	0.778
1.0+3	0.863	0.872	0.903	0.883	0.780	0.694
2.0+3	0.831	0.839	0.875	0.845	0.695	0.519
3.0+3	0.811	0.817	0.856	0.819	0.639	0.418
5.0+3	0.786	0.787	0.828	0.779	0.561	0.297
7.0+3	0.763	0.765	0.806	0.747	0.505	0.225
9.0+3	0.753	0.747	0.787	0.720	0.460	0.177

**Продовження таблиці 2.7**

1	2	3	4	5	6	7
1.0+4	0.747	0.740	0.779	0.708	0.441	0.158
2.0+4	0.700	0.680	0.711	0.613	0.307	0.062
3.0+4	0.667	0.636	0.660	0.543	0.228	0.0286
5.0+4	0.618	0.571	0.580	0.440	0.136	7.53 – 3
7.0+4	0.580	0.521	0.517	0.365	0.0868	2.29 – 3
9.0+4	0.547	0.479	0.465	0.307	0.0573	7.55 – 4
1.0+5	0.533	0.460	0.443	0.283	0.0470	4.44 – 4

**Таблиця 2.8** – Фактори збіднення хмари за рахунок сухого осадження  $f'_F$   
при  $h = 30 м$  та  $z_0 = 0,1 м$

Відстань, м	Категорія сталості атмосфери					
	А	В	С	Д	Е	Ф
100	0.999	0.996	0.991	0.993	1.00	1.00
200	0.986	0.981	0.977	0.978	0.996	1.00
300	0.971	0.967	0.967	0.966	0.984	1.00
500	0.948	0.947	0.952	0.947	0.953	0.997
700	0.932	0.932	0.942	0.933	0.924	0.985
900	0.920	0.920	0.933	0.922	0.899	0.965
1.0+3	0.915	0.915	0.929	0.916	0.887	0.953
2.0+3	0.881	0.880	0.901	0.878	0.798	0.817
3.0+3	0.860	0.858	0.882	0.851	0.737	0.699
5.0+3	0.833	0.827	0.853	0.809	0.649	0.528
7.0+3	0.814	0.804	0.830	0.776	0.585	0.413
9.0+3	0.798	0.785	0.811	0.749	0.534	0.332
1.0+4	0.792	0.777	0.802	0.736	0.512	0.299
2.0+4	0.742	0.714	0.732	0.637	0.358	0.124
3.0+4	0.708	0.668	0.679	0.565	0.266	0.0587
5.0+4	0.656	0.600	0.597	0.458	0.160	0.0160
7.0+4	0.615	0.547	0.532	0.380	0.102	5.00 – 3
9.0+4	0.580	0.503	0.479	0.319	0.0671	1.68 – 3
1.0+5	0.565	0.483	0.456	0.294	0.0551	9.99 – 4

**Таблиця 2.9** – Фактори збіднення хмари за рахунок сухого осадження  $f'_F$  при  $h = 50$  м и  $z_0 = 0.1$  м

Відстань, м	Категорія сталості атмосфери					
	А	В	С	Д	Е	Ф
100.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
200.0	0.997	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
300.0	0.989	0.996	0.999	1.00	1.00	1.00
500.0	0.970	0.980	0.990	0.997	1.00	1.00
700.0	0.956	0.861	0.973	0.988	0.999	1.00
900.0	0.944	0.944	0.955	0.973	0.955	1.00
1.0+3	0.939	0.936	0.945	0.964	0.992	1.00
2.0+3	0.905	0.879	0.871	0.878	0.923	0.994
3.0+3	0.884	0.841	0.819	0.808	0.838	0.961
5.0+3	0.856	0.791	0.748	0.709	0.699	0.838
7.0+3	0.836	0.756	0.698	0.639	0.595	0.700
9.0+3	0.821	0.729	0.660	0.585	0.517	0.577
1.0+4	0.814	0.717	0.643	0.563	0.484	0.524
2.0+4	0.763	0.631	0.528	0.410	0.280	0.209
3.0+4	0.727	0.575	0.456	0.322	0.180	0.915—01
5.0+4	0.674	0.495	0.360	0.217	0.867—01	0.212—01
7.0+4	0.632	0.437	0.295	0.156	0.461—01	0.569—02
9.0+4	0.597	0.391	0.248	0.116	0.260—01	0.167—02
1.0+5	0.581	0.371	0.228	0.101	0.198—01	0.931—03

Примітка: \*\* Написання а - в означає  $a \cdot 10^{-8}$ .

### 3 РОЗРАХУНОК ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ВІД ВИКИДІВ РАДІОНУКЛІДІВ ДО АТМОСФЕРИ

Доза опромінення на місцевості від викиду радіонуклідів в атмосферу пропорційна інтегральній концентрації, що обчислюється за формулою

$$C = \int_{t_0}^{t_0+T} A_v dt = Q_{\Sigma} \chi, \quad (3.1)$$

де  $C$  – часовий інтеграл концентрації на даній відстані від джерела викиду,  $Bк \cdot c / м^3$ ;

$t_0$  – момент початку викиду;

$T$  – тривалість викиду (або опромінення), с;

$Q_{\Sigma}$  – сумарний викид радіонуклідів,  $Bк$ ;

$\chi$  – короткочасний фактор метеорологічного розбавлення,  $с/м^3$  (рис.2.1)

Еквівалентні дози зовнішнього  $\beta, \gamma$  – опромінення від радіоактивної хмари  $H^{xM}$  або осілих на поверхню Землі радіонуклідів  $H^{noe}$ , внутрішнього опромінення від інгаляції радіонуклідів  $H^{inz}$  або споживання їжі і води  $H^{xapч}$ , що містять ці радіонукліди, обчислюють за співвідношеннями, що отримані множенням інтегральної концентрації  $C$  на дозові коефіцієнти, коефіцієнти осадження й інші коефіцієнти, що модифікують. Зовнішнє опромінення від хмари обчислюється за формулою

$$H^{xM} = Q \cdot \chi \cdot R^{xM}, \quad (3.2)$$

де  $R^{xM}$  - дозовий коефіцієнт,  $Зв_{\odot M3} / (Бк \odot c)$ , опромінення від напівнескінченної хмари, рівний потужності еквівалентної дози в тканині (органі) або тілі людини, що знаходиться на відкритій місцевості при концентрації радіонуклідів в атмосферному повітрі, рівній  $1 Бк/м^3$ .

Значення  $R^{xM}$  можна обчислити за співвідношенням

$$R^{xM} = 6,75 \cdot 10^{-14} E, \quad (3.3)$$

де  $E = \sum n_i E_i$  — енергетичний вихід усіх фотонів на розпад,  $MeB/розп.$  (див. табл. 2.5).

Зовнішнє опромінення від забрудненої поверхні землі обчислюється за формулою

$$H_{noe} = Q \cdot [F + W] \cdot K_n \cdot R^{noe}, \quad (3.4)$$

де  $R^{noe}$  - дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення від забрудненої поверхні землі на висоті  $d = 1 м$  (без обліку глибинного розподілу радіонукліда в ґрунті і виправлення на самопоглинання випромінювання в ґрунті й у повітрі (табл. 3.1);

$F$  і  $W$  - фактори осадження і вимивання,  $м^2$ . (див. формули 2.11 – 2.13).

$K_n$  - поправочний коефіцієнт на процеси накопичення і виведення радіонуклідів з ґрунту:

$$K = [1 - \exp(-\lambda_{ef} \cdot t)] / \lambda_{ef}, \quad (3.7)$$

де  $\lambda_{ef} = \lambda + \lambda_e$ ,  $\lambda_e$  - постійна виведення радіонуклідів з ґрунту;

$t$  - час накопичення радіонуклідів на поверхні землі (рекомендується

рівним 30 рокам - звичайному проектному термінові роботи ядерної технічної установки, або 1 рік у випадку аварійного викиду радіонуклідів в атмосферу).

Розрахункові значення  $R^{нов}$  наведені в таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1** – Дозовий коефіцієнт опромінення від зараженої поверхні землі для випромінювання радіонуклідів,  $3в\text{м}^2/(\text{Бк}\text{с})$

Ра-діо-нук-лід	Еф-ек-тивна екві-валентна доза	Гонади	Чер-воний кістко-вий мозок	Легені	Щито-видна залоза	Верхня частина товстої кишки	Шкіра
1	2	3	4	5	6	7	8
<sup>22</sup> Na	0.19 – 14	0.19 – 14	0.21 – 14	0.91 – 14	0.17 – 14	0.18 – 14	0.24 – 14
<sup>54</sup> Mn	0.70 – 15	0.72 – 15	0.78 – 15	0.70 – 15	-	0.66 – 15	0.95 – 15
<sup>59</sup> Fe	0.97 – 15	0.87 – 15	0.10 – 14	0.98 – 15	0.88 – 15	0.99 – 15	0.13 – 14
<sup>58</sup> Co	0.84 – 15	0.88 – 15	0.95 – 15	0.83 – 15	-	0.77 – 15	0.11 – 14
<sup>60</sup> Co	0.20 – 14	0.18 – 15	0.22 – 14	0.21 – 14	0.19 – 14	0.21 – 14	0.25 – 14
<sup>65</sup> Zn	0.48 – 15	0.44 – 15	0.51 – 15	0.48 – 15	0.40 – 15	0.47 – 15	0.64 – 15
<sup>89</sup> Sr	0.11 – 18	0.11 – 18	0.12 – 18	0.11 – 18	-	0.11 – 18	0.16 – 18
<sup>90</sup> Sr	0.33 – 21	0.68 – 21	0.47 – 21	-	-	-	0.68 – 28
<sup>91</sup> Y	0.29 – 17	0.26 – 17	0.31 – 17	0.30 – 17	0.27 – 17	0.30 – 17	0.38 – 17
<sup>95</sup> Zr	0.64 – 15	0.67 – 15	0.72 – 15	0.63 – 15	-	0.58 – 15	0.85 – 15
<sup>95</sup> Nb	0.66 – 15	0.69 – 15	0.74 – 15	0.65 - 1	-	0.60 – 15	0.88 – 15
<sup>99m</sup> Tc	0.14 – 15	0.15 – 15	0.21 – 15	0.12 – 15	0.15 – 15	0.91 – 16	0.17 – 15
<sup>103</sup> Ru	0.45 – 15	0.51 – 15	0.53 – 15	0.43 - 15	-	0.37 – 15	0.55 - 15
<sup>106</sup> Ru	0.19 – 15	0.21 – 15	0.22 – 15	0.18 – 15	-	0.16 – 15	0.24 – 15
<sup>110</sup> Ag	0.24 – 14	0.23 – 14	0.26 – 14	0.23 – 14	0.20 – 14	0.22 – 14	0.31 – 14
<sup>131</sup> I	0.38 – 15	0.45 – 15	0.47 – 15	0.35 – 15	-	0.30 – 15	0.46 – 15
<sup>133</sup> I	0.56 – 15	0.62 – 15	0.65 – 15	0.54 – 15	-	0.48 – 15	0.70 – 15
<sup>134</sup> I	0.22 – 14	0.22 – 14	0.24 – 14	0.22 + 14	0.19 – 14	0.21 – 14	0.29 – 14
<sup>134</sup> Cs	0.14 – 14	0.15 – 14	0.16 – 14	0.13 – 14	-	0.12 – 14	0.18 – 14
<sup>137</sup> Cs	0.53 – 15	0.57 – 15	0.61 – 15	0.52 – 15	-	0.47 – 15	0.69 – 15
<sup>140</sup> Ba	0.14 – 15	0.17 – 15	0.18 – 15	0.13 – 15	-	0.12 – 15	0.18 – 15
<sup>140</sup> La	0.18 – 14	0.16 – 14	0.20 – 14	0.19 – 14	0.19 – 14	0.20 – 14	0.23 – 14
<sup>141</sup> Ce	0.80 – 16	0.91 – 16	0.12 – 15	0.70 – 16	0.88 – 16	0.53 – 16	0.10 – 15
<sup>239</sup> Np	0.18 – 15	0.20 – 15	0.27 - 15	0.16 – 15	0.19 – 15	0.12 – 15	0.25 – 15

Доза внутрішнього опромінення за рахунок інгаляції обчислюється за формулою

$$H^{inz} = Q \cdot \chi \cdot k^a \cdot V^a \cdot R^{inz}, \quad (3.8)$$

де  $V^a$  – швидкість дихання для осіб вікової групи «а» (див. табл. 3.4);

$k^a$  – поправочний коефіцієнт збільшення дози при інгаляції зі зменшенням віку людини (див. табл. 3.5);

$R^{inz}$  – дозовий коефіцієнт інгаляції, Зв/Бк (див. табл. 3.8).

Внутрішнє опромінення за рахунок споживання продуктів харчування (овочі, молоко, м'ясо), що містять радіоактивні речовини унаслідок випадання з атмосфери, обчислюється за формулою

$$H^{xap^u} = Q \cdot \left[ (F + 0,2 \cdot W) k_1^u + (F + W) k_2^u \right] U^{xap^u} k^a R^{xap^u}, \quad (3.9)$$

де  $U^{xap^u}$  – споживання різних овочів, молока, м'яса, кг (див. табл. 3.4);

$k^a$  – поправочний коефіцієнт (див. табл. 3.5);

$R^{xap^u}$  – дозовий коефіцієнт при надходженні радіонуклідів з їжею, Зв/Бк (див. табл. 3.7);

$k_1^u$  і  $k_2^u$  – нормовані на продуктивність сільськогосподарських угідь (річна врожайність розглядуваного виду рослин або фуражної культури в даній місцевості, кг/м<sup>2</sup>; річний приріст ваги м'яса або удійності корів, кг) коефіцієнти переходу, м<sup>2</sup>/кг, від випадання радіонуклідів з атмосфери на стебла і листя рослин до змісту в зазначених продуктах харчування і від відкладення на ґрунті через кореневу систему рослин до змісту в цих продуктах харчування. При короткочасних випаданнях у небезпечний період (перед збором врожаю) значення  $k_1^u$  і  $k_2^u$  дані в табл. 3.2 і 3.3.

Дані табл. 3.2 і 3.3 є орієнтовними, підлягаючими уточненню по конкретних умовах місцевого виробництва і споживання сільськогосподарських продуктів.

**Таблиця 3.2** - Коефіцієнт накопичення «випадання з атмосфери – вміст у продуктах харчування  $\kappa_{II}$ » для стеблинного шляху\*,  $m^2/kg$

Нуклід	М'ясо	Молоко	Пшени- ця	Огірки	Капус- та	Картоп- ля
<sup>22</sup> Na	0.62	0.82	0.82	0.026	0.035	8.7 - 3
<sup>54</sup> Mn	0.012	3.2 - 3	0.56	0.026	0.027	6.8 - 3
<sup>59</sup> Fe	0.010	3.0 - 4	0.043	0.025	6.5 - 3	1.6 - 3
<sup>58</sup> Co	0.084	5.7 - 3	0.11	0.025	0.010	2.6 - 3
<sup>60</sup> Co	0.30	0.017	0.91	0.027	0.037	9.4 - 3
<sup>65</sup> Zn	0.082	0.088	0.48	0.026	0.024	6.1 - 3
<sup>89</sup> Sr	1.8 - 5	7.4 - 5	0.056	0.025	7.4 - 3	1.8 - 3
<sup>90</sup> Sr	5.6 - 4	1.8 - 3	0.98	0.027	0.040	9.9 - 3
<sup>91</sup> Y	1.1 - 1	2.3 - 7	0.077	0.025	8.6 - 3	2.1 - 3
<sup>95</sup> Zr	0.026	3.7 - 6	0.092	0.025	9.4 - 3	2.3 - 3
<sup>95</sup> Nb	0.046	4.3 - 4	0.022	0.024	5.0 - 3	1.2 - 3
<sup>99</sup> Tc	0.92	0.37	1	0.027	0.040	0.0100
<sup>103</sup> Ru	0.058	7.4 - 6	0.031	0.024	5.6 - 3	1.4 - 3
<sup>106</sup> Ru	0.58	5.9 - 5	0.61	0.026	0.029	7.2 - 3
<sup>110</sup> Ag	0.22	0.53	0.40	0.026	0.025	6.2 - 3
<sup>131</sup> I	7.1 - 4	4.6 - 3	1.1 - 5	0.018	8.1 - 4	2.0 - 4
<sup>133</sup> I	6.5 - 10	8.2 - 5	-**	1.8 - 3	7.4 - 6	2.5 - 6
<sup>134</sup> Cs	0.092	0.22	0.78	0.026	0.034	8.4 - 3
<sup>137</sup> Cs	0.11	0.26	0.98	0.027	0.040	9.9 - 3
<sup>140</sup> Ba	1.4 - 5	4.5 - 6	3.4 - 4	0.021	1.5 - 3	3.8 - 4
<sup>140</sup> La	1.3 - 9	7.8 - 9	-**	5.3 - 3	5.0 - 5	1.2 - 5
<sup>141</sup> Ce	2.3 - 4	2.0 - 6	0.018	0.024	4.6 - 3	1.1 - 3
<sup>143</sup> Ce	-**	-	-	-	3.2 - 5	1.1 - 5
<sup>239</sup> Np	6.6 - 11	1.9 - 10	-	7.9 - 3	1.0 - 4	2.6 - 5
<sup>Pu</sup> **	1.1 - 5	2.1 - 7	1	0.027	0.040	0.0100

*Примітка:* \* При безперервних випаданнях ці значення багато менше.

\*\* Нехтуюче мале значення.

\*\*\* Наведені значення однакові для всіх ізотопів даного елемента.

**Таблиця 3.3** – Коефіцієнт накопичення «випадання з атмосфери – вміст у продуктах харчування  $k''_2$ » для стеблинного шляху,  $m^2/kg$

Нуклід	М'ясо	Молоко	Пшениця	Огірки	Капуста	Картопля
<sup>22</sup> Na	2.1 - 4*	2.8 - 4	8.2 - 4	4.0 - 5	1.5 - 4	1.5 - 4
<sup>54</sup> Mn	5.3 - 7	1.4 - 7	3.4 - 4	2.4 - 5	7.2 - 5	7.2 - 5
<sup>55</sup> Fe	1.2 - 6	2.9 - 8	8.4 - 4	4.0 - 5	1.5 - 4	1.5 - 4
<sup>59</sup> Fe	1.7 - 11	5.1 - 13	2.2 - 7	1.9 - 7	1.5 - 7	1.5 - 7
<sup>58</sup> Co	2.2 - 8	1.4 - 9	4.4 - 6	1.5 - 6	1.8 - 6	1.8 - 6
<sup>60</sup> Co	3.9 - 5	2.3 - 6	9.7 - 4	4.2 - 5	1.7 - 4	1.7 - 4
<sup>61</sup> Ni	8.8 - 5	8.8 - 5	3.6 - 4	1.4 - 5	6.2 - 5	6.2 - 5
<sup>65</sup> Zn	3.0 - 5	3.2 - 5	2.4 - 4	1.9 - 5	5.2 - 5	5.2 - 5
<sup>89</sup> Sr	6.7 - 12	2.3 - 11	5.3 - 7	3.5 - 7	3.0 - 7	3.0 - 7
<sup>90</sup> Sr	1.8 - 6	5.8 - 6	7.4 - 4	3.0 - 5	1.3 - 4	1.3 - 4
<sup>91</sup> Y	3.2 - 12	—	1.4 - 6	7.0 - 7	6.9 - 7	6.9 - 7
<sup>95</sup> Zr	7.6 - 11	—	2.5 - 6	1.0 - 6	1.1 - 6	1.1 - 6
<sup>95</sup> Nb	1.8 - 10	1.7 - 12	2.3 - 8	3.7 - 8	2.2 - 8	2.2 - 8
<sup>99</sup> Tc	0.027	0.011	2.3 - 7	9.0 - 9	3.9 - 8	3.9 - 8
<sup>103</sup> Ru	3.0 - 9	3.8 - 13	7.0 - 8	8.3 - 8	5.6 - 8	5.6 - 8
<sup>106</sup> Ru	5.3 - 5	5.4 - 9	4.2 - 4	2.7 - 5.	8.5 - 5	8.5 - 5
<sup>110</sup> Ag	7.5 - 5	2.5 - 4	2.0 - 5	5.4 - 5	5.4 - 5	-
<sup>131</sup> I	0.0**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<sup>134</sup> Cs	1.4 - 5	3.2 - 5	7.4 - 4	3.7 - 5	1.4 - 4	1.4 - 4
<sup>137</sup> Cs	1.8 - 4	4.1 - 4	7.3 - 4	2.9 - 5	1.2 - 4	1.2 - 4
<sup>141</sup> Ce	1.3 - 13	—	1.1 - 8	2.1 - 8	1.2 - 8	1.2 - 8
<sup>141</sup> Pu***	3.2 - 10	6.4 - 12	2.0 - 6	8.0 - 8	3.5 - 7	3.5 - 7

*Примітка:* \*При безперервних випаданнях ці значення багаті менше.

\*\*Нехтуючи малі значення.

\*\*\*Наведені значення однакові для всіх ізотопів даного елемента.



**Таблиця 3.4** – Дані про споживання продуктів харчування, швидкості дихання і тривалості контакту людини з різними об'єктами зовнішнього середовища

Параметр	Вікова група, роки.				
	1	2	3	4	5
	0 – 1	1 – 8	8 – 12	12 – 17	Дорослі
Молоко і молочні продукти л/рік	231	124	302	353	190
М'ясо, кг/рік	2	27	52	63	60
Риба, кг/рік	-	1.6	3	3.8	5
Рослинні продукти, кг/рік:					
- пшениця	9	54	103	123	112
- картопля	12	84	163	203	110
- капуста	-	10	12	21	21
- огірки	-	5	5.6	6.8	6.8
Питна вода, л/рік	182	260	260	260	370
Швидкість дихання, м <sup>3</sup> /с	2.33·10 <sup>-5</sup>	8·10 <sup>-5</sup>	8·10 <sup>-5</sup>	1.6·10 <sup>-4</sup>	2.2·10 <sup>-4</sup>
Купання або катання на човні, с	-	1.4·10 <sup>4</sup>	1.4·10 <sup>4</sup>	3.6·10 <sup>5</sup>	-
Час перебування на березі або зрошуваній території, с	-	3.2·10 <sup>4</sup>	3.2·10 <sup>4</sup>	7.2·10 <sup>5</sup>	-

**Таблиця 3.5** – Поправочний коефіцієнт розрахунку дози для різних вікових груп  $K^6$

Радіонуклід	Вікова група, роки.				
	1	2	3	4	5
	0 – 1	1 – 8	8 – 12	12 – 17	Дорослі
<sup>14</sup> C, <sup>90</sup> Sr, <sup>235</sup> U, <sup>238</sup> U, <sup>239</sup> Pu, <sup>238</sup> Pu	3.4	2.4	1.4	1.2	1
Інші	11.6	4.7	2.4	1.4	1

**Таблиця 3.6** – Коефіцієнт збільшення дози для молодшої людини стосовно дорослого при інгаляційному надходженні однакової активності  $K^a$

Радіонуклід	Вік, роки			
	1	2	3	4
	0 - 1	1 - 8	8 - 12	12 - 17
<sup>22</sup> Na	6.03	3.16	1.96	1.27
<sup>54</sup> Mn	4.47	2.63	1.82	1.29
<sup>55</sup> Fe	4.84	3.06	1.75	1.18
<sup>59</sup> Fe	5.81	3.12	1.92	1.30
<sup>58</sup> Co	4.35	2.59	1.67	1.21
<sup>60</sup> Co	3.84	2.55	1.64	1.17
<sup>89</sup> Sr	8.83	4.52	2.74	1.36
<sup>90</sup> Sr	3.06	2.18	1.32	1.05
<sup>91</sup> Y	8.66	4.51	2.72	1.35
<sup>95</sup> Zr	6.60	3.72	1.38	1.29
<sup>95</sup> Nb	6.25	3.41	2.24	1.29
<sup>97</sup> Tc	7.42	3.68	2.03	1.31
<sup>103</sup> Ru	6.02	3.25	1.92	1.27
<sup>106</sup> Ru	7.18	4.15	2.13	1.27
<sup>111</sup> Ag	9.82	3.92	2.29	1.55
<sup>134</sup> I	13.25	7.10	2.70	1.73
<sup>134</sup> Cs	5.15	3.13	1.85	1.23
<sup>137</sup> Cs	8.45	4.52	2.27	1.32
<sup>140</sup> Ba	9.44	4.38	2.72	1.37
<sup>140</sup> La	5.15	2.64	1.84	1.38
<sup>141</sup> Ce	8.56	3.59	2.31	1.57

**Таблиця 3.7** – Дозовий коефіцієнт радіонуклідів при вживанні продуктів харчування,  $R^{харч}$ , Зв/Бк

Радіонуклід	Коефіцієнт всмоктування у кров	Ефективна еквівалентна доза	Гонади	Червоний кістковий мозок	Легені	Щитовидна залоза	Верхня частина товстої кишки
1	2	3	4	5	6	7	8
<sup>22</sup> Na	1.0	0.32 - 0.9	0.28 - 08	0.43 - 08	0.25 - 08	0.25 - 08	-
<sup>54</sup> Mn	0.1	0.73 - 09	0.95 - 09	0.49 - 09	0.23 - 09	-	0.14 - 08
<sup>56</sup> Mn	0.1	0.25 - 09	0.85 - 10	-	-	-	0.14 - 08
<sup>55</sup> Fe	0.1	0.16 - 09	0.11 - 09	0.11 - 09	0.10 - 09	-	0.17 - 09
<sup>59</sup> Fe	0.1	0.18 - 08	0.17 - 08	0.85 - 09	0.64 - 09	-	0.36 - 08
<sup>58</sup> Co	0.05	0.78 - 09	0.10 - 08	0.26 - 09	-	-	0.19 - 08
<sup>60</sup> Co	0.05	0.27 - 08	0.32 - 08	0.13 - 08	0.87 - 09	-	0.57 - 08
<sup>65</sup> Zn	0.5	0.39 - 08	0.35 - 08	0.45 - 08	0.32 - 08	0.32 - 08	0.42 - 08
<sup>88</sup> Rb	1.0	0.44 - 10	-	-	-	-	-
<sup>89</sup> Sr	0.3	0.22 - 08	-	0.32 - 08	-	-	0.73 - 08
<sup>90</sup> Sr	0.3	0.36 - 07	-	0.19 - 06	-	-	-
<sup>91</sup> Y	0.0001	0.24 - 08	-	-	-	-	0.10 - 07
<sup>95</sup> Zr	0.002	0.92 - 09	0.81 - 09	-	-	-	0.30 - 08
<sup>95</sup> Nb	0.01	0.61 - 09	0.80 - 09	-	-	-	0.18 - 08
<sup>99</sup> Tc	0.8	0.34 - 09	-	-	-	0.16 - 08	0.41 - 09

**Продовження таблиці 3.7**

1	2	3	4	5	6	7	8
<sup>103</sup> Ru	0.05	0.73 - 09	0.57 - 09	-	-	-	0.25 - 08
<sup>106</sup> Ru	0.05	0.58 - 08	-	-	-	-	0.25 - 07
<sup>110</sup> Ag	0.05	0.29 - 08	0.30 - 08	0.94 - 09	0.83 - 09	-	0.59 - 08
<sup>129</sup> I	1.0	0.74 - 07	-	-	-	0.25 - 05	-
<sup>131</sup> I	1.0	0.14 - 07	-	-	-	0.48 - 06	-
<sup>133</sup> I	1.0	0.27 - 08	-	-	-	0.91 - 07	-
<sup>134</sup> Cs	1.0	0.19 - 07	0.21 - 07	0.19 - 07	0.18 - 07	0.18 - 07	-
<sup>136</sup> Cs	1.0	0.31 - 08	0.30 - 08	0.30 - 08	0.26 - 08	0.27 - 08	-
<sup>137</sup> Cs	1.0	0.14 - 07	0.14 - 07	0.13 - 07	0.13 - 07	0.13 - 07	0.14 - 07
<sup>140</sup> Ba	0.1	0.23 - 09	0.10 - 08	-	-	-	0.77 - 08
<sup>140</sup> La	0.001	0.21 - 08	0.13 - 08	-	-	-	0.91 - 08
<sup>141</sup> Ce	0.0003	0.70 - 09	-	-	-	-	0.30 - 08
<sup>236</sup> Np	0.01	0.80 - 09	-	-	-	-	0.38 - 08
<sup>235</sup> U	0.002	0.68 - 08	-	0.28 - 08	-	-	0.17 - 07
<sup>238</sup> U	0.002	0.61 - 08	-	0.27 - 08	-	-	0.15 - 07
<sup>238</sup> Pu	0.0001	0.10 - 06	0.23 - 07	0.15 - 06	-	-	-
<sup>239</sup> Pu	0.0001	0.12 - 06	0.26 - 07	0.16 - 06	-	-	-

*Примітка:* Коефіцієнт всмоктування радіонуклідів зі шлунково-кишкового тракту приймається згідно з Публікацією 30 МКРЗ.

Таблиця 3.8 – Дозовий коефіцієнт радіонуклідів при інгаляції,  $R^{inz}$ , Зв/Бк

Радіо- нуклід	Ефективна екві- валентна доза	Гонади	Червоний кістко- вий мозок	Легені	Щитовидна залоза	Верхня частина товстої кишки
1	3	4	5	6	7	8
<sup>3</sup> H	0.17 - 10	-	-	-	-	-
<sup>14</sup> C	0.64 - 11	0.61 - 11	0.64 - 11	0.64 - 11	0.64 - 11	0.64 - 11
<sup>22</sup> Na	0.22 - 08	0.18 - 08	0.27 - 08	0.25 - 08	0.16 - 08	-
<sup>24</sup> Na	0.26 - 09	0.18 - 09	0.21 - 09	0.12 - 08	-	-
<sup>32</sup> P	-	0.48 - 09	0.60 - 10	0.25 - 10	-	-
<sup>32</sup> K	0.29 - 09	0.11 - 09	-	0.22 - 08	-	-
<sup>51</sup> Cr	0.71 - 10	-	-	0.53 - 09	-	-
<sup>54</sup> Mn	0.17 - 08	0.71 - 09	0.11 - 08	0.67 - 08	-	0.20 - 09
<sup>56</sup> Mn	0.64 - 10	-	-	0.54 - 09	-	-
<sup>55</sup> Fe	0.33 - 09	0.18 - 09	0.18 - 09	0.11 - 08	-	-
<sup>59</sup> Fe	0.27 - 0.8	0.14 - 08	-	0.14 - 07	-	-
<sup>58</sup> Co	0.12 - 08	0.65 - 09	-	0.79 - 08	-	-
<sup>60</sup> Co	0.80 - 08	0.40 - 08	0.42 - 08	0.36 - 07	-	-
<sup>63</sup> Ni	0.81 - 09	0.82 - 09	0.82 - 09	0.87 - 09	0.82 - 09	0.87 - 09
<sup>64</sup> Cu	0.62 - 10	-	-	0.35 - 09	-	0.15 - 09
<sup>65</sup> Zn	0.50 - 08	0.20 - 08	0.36 - 08	0.21 - 07	-	-
<sup>88</sup> Rb	0.22 - 10	-	-	0.15 - 09	-	-
<sup>89</sup> Rb	0.10 - 10	-	-	0.68 - 10	-	-
<sup>89</sup> Sr	0.16 - 08	0.42 - 09	0.56 - 08	0.22 - 08	-	0.15 - 08
<sup>90</sup> Sr	0.62 - 07	0.64 - 10	0.33 - 06	-	-	-
<sup>91</sup> Sr	0.23 - 09	-	0.12 - 09	0.92 - 09	-	0.59 - 09
<sup>92</sup> Sr	0.14 - 09	-	-	0.71 - 09	-	0.47 - 09
<sup>90</sup> Y	0.22 - 08	-	-	0.93 - 08	-	0.53 - 08
<sup>91</sup> Y	0.12 - 07	-	-	0.99 - 07	-	-

**Продовження таблиці 3.8**

<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<sup>95</sup> Zr	0.35 - 0.8	-	0.32 - 08	0.19 - 07	-	-
<sup>97</sup> Zr	0.96 - 09	-	-	0.40 - 08	-	0.29 - 08
<sup>95</sup> Nb	0.12 - 08	0.43 - 09	-	0.83 - 08	-	-
<sup>97</sup> Nb	0.19 - 10	-	-	0.16 - 09	-	-
<sup>99</sup> Mo	0.99 - 09	-	-	0.43 - 08	-	0.23 - 08
<sup>99</sup> Tc	0.23 - 09	-	-	0.35 - 09	0,12-08	-
<sup>103</sup> Ru	0.21 - 08	-	-	0.16 - 7	-	-
<sup>105</sup> Ru	0.11 - 09	-	-	0.57 - 09	-	0.28 - 09
<sup>106</sup> Ru	0.12 - 06	-	-	0.10 - 05	-	-
<sup>105</sup> Rh	0.23 - 09	-	-	0.96 - 09	-	0.67 - 09
<sup>110</sup> Ag	0.14 - 07	-	-	0.12 - 06	-	-
<sup>129</sup> Te	0.18 - 10	-	-	0.15 - 09	-	-
<sup>131</sup> Te	0.12 - 09	-	-	0.30 - 09	0,27-08	-
<sup>132</sup> Te	0.21 - 08	-	-	0.17 - 08	0,63-07	-
<sup>129</sup> I	0.47 - 07	-	-	-	0,16-05	-
<sup>131</sup> I	0.88 - 09	-	-	-	0,29-06	-
<sup>132</sup> I	0.91 - 10	-	-	0.27 - 09	0,17-08	-
<sup>133</sup> I	0.15 - 08	-	-	-	0,49-07	-
<sup>134</sup> I	0.30 - 10	-	-	0.14 - 09	0,29-09	-
<sup>134</sup> Cs	0.13 - 07	0.13 - 07	0,19-08	0.12 - 07	0,11-07	-
<sup>136</sup> Cs	0.20 - 08	0.19 - 08	0,83-08	0.23 - 08	0,17-08	-
<sup>137</sup> Cs	0.87 - 08	0.88 - 08	0,13-08	0.88 - 08	0,79-08	0.90 - 08
<sup>140</sup> Ba	0.97 - 09	0.43 - 09	-	0.17 - 08	-	0.15 - 08
<sup>140</sup> La	0.12 - 08	0.45 - 09	-	0.42 - 08	-	0.29 - 08
<sup>141</sup> Ce	0.23 - 09	-	-	0.17 - 07	-	-
<sup>144</sup> Ce	0.95 - 07	-	-	0.79 - 06	-	-

**Продовження таблиці 3.8**

<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<sup>143</sup> Pr	0. 20 - 08	-	-	0.13 - 07	-	-
<sup>144</sup> Pr	0. 11 - 10	-	-	0.94 - 10	-	-
<sup>147</sup> Mo	0. 16 - 08	-	-	0.11 - 07	-	-
<sup>147</sup> Pm	0. 93 - 08	-	-	0.77 - 07	-	-
<sup>153</sup> Sm	0. 48 - 09	-	-	0.20 - 08	-	0.12 - 08
<sup>187</sup> W	0. 14 - 11	0.29 - 10	-	0.60 - 09	-	0.39 - 09
<sup>210</sup> Po	-	-	-	0.13 - 04	-	-
<sup>239</sup> Np	0. 57 - 09	-	-	0.24 - 08	-	0.13 - 08
<sup>235</sup> U	0. 33 - 04	-	-	0.28 - 03	-	-
<sup>238</sup> U	0. 32 - 04	-	-	0.27 - 03	-	-
<sup>238</sup> Pu	0. 12 - 03	0.28 - 04	0,18-03	-	-	-
<sup>239</sup> Pu	0. 14 - 03	0.32 - 04	0,20-03	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	0.32 - 04	0,20-03	-	-	-

*Примітка:* Клас розчинності для різних хімічних форм радіонукліда приймається згідно з Публікацією 30 МКРЗ

Таблиця 3.9 – Дозовий коефіцієнт опромінення від води для радіонуклідів,  $R^{bod}$ , Зв<sub>ол</sub> / (Бк<sub>с</sub>)

Радіо- нуклід	Ефективна еквіва- лентна доза	Гонади	Червоний кіст- ковий мозок	Легені	Щитовидна залоза	Верхня частина товстої кишки	Шкіра
<sup>22</sup> Na	0.22 – 12	0.21 – 12	0.24 – 12	0.22 – 12	0.20 – 12	0.21 – 12	0.31 – 12
<sup>24</sup> Na	0.46 – 12	0.45 – 12	0.43 – 12	0.44 – 12	0.53 – 12	0.51 – 12	0.60 – 12
<sup>54</sup> Mn	0.78 – 13	0.80 – 13	0.88 – 13	0.78 – 13	-	0.73 – 13	0.12 – 12
<sup>59</sup> Fe	0.12 – 12	0.10 – 12	0.13 – 12	0.12 – 12	0.11 – 12	0.12 – 12	0.17 – 12
<sup>58</sup> Co	0.92 – 13	0.96 – 13	0.10 – 12	0.91 – 13	-	0.84 – 13	0.16 – 12
<sup>60</sup> Co	0.25 – 12	0.22 – 12	0.27 – 12	0.25 – 12	0.23 – 12	0.26 – 12	0.36 – 12
<sup>65</sup> Zn	0.56 – 13	0.52 – 13	0.60 – 13	0.56 – 13	0.48 – 13	0.56 – 13	0.79 – 13
<sup>88</sup> Rb	0.69 – 13	0.67 – 13	0.68 – 13	0.68 – 13	0.70 – 13	0.79 – 13	0.29 – 12
<sup>89</sup> Rb	0.21 – 12	0.18 – 12	0.22 – 12	0.21 – 12	0.21 – 12	0.23 – 12	0.37 – 12
<sup>95</sup> Zr	0.70 – 13	0.73 – 13	0.79 – 13	0.69 – 13	-	0.63 – 13	0.11 – 12
<sup>95</sup> Nb	0.72 – 13	0.75 – 13	0.81 – 13	0.72 – 13	-	0.66 – 13	0.11 – 12
<sup>99</sup> Mo	0.15 – 13	0.16 – 13	0.18 – 13	0.15 – 13	-	0.13 – 13	0.41 – 13
<sup>103</sup> Ru	0.47 – 13	0.53 – 13	0.55 – 13	0.44 – 13	-	0.38 – 13	0.56 – 13
<sup>106</sup> Ru	0.20 – 13	0.62 – 13	0.23 – 13	0.19 – 13	-	0.17 – 13	0.99 – 13
<sup>110m</sup> Ag	0.27 – 12	0.26 – 12	0.29 – 12	0.27 – 12	0.23 – 12	0.25 – 12	0.39 – 12
<sup>124</sup> Sb	0.18 – 12	0.16 – 12	0.20 – 12	0.19 – 12	0.18 – 12	0.20 – 12	0.24 – 12
<sup>125</sup> Sb	0.42 – 13	0.47 – 13	0.50 – 13	0.39 – 13	-	0.34 – 13	0.54 – 13
<sup>131</sup> I	0.39 – 13	0.45 – 13	0.48 – 13	0.36 – 13	-	0.31 – 13	0.64 – 13
<sup>133</sup> I	0.60 – 13	0.66 – 13	0.69 – 13	0.58 – 13	-	0.52 – 13	0.11 – 12
<sup>135</sup> I	0.16 – 12	0.13 – 12	0.17 – 12	0.16 – 12	0.15 – 12	0.17 – 12	0.21 – 12
<sup>134</sup> Cs	0.15 – 12	0.16 – 12	0.17 – 12	0.15 – 12	-	0.13 – 12	0.22 – 12
<sup>137</sup> Cs	0.57 – 13	0.62 – 13	0.65 – 13	0.56 – 13	-	0.50 – 13	0.91 – 13
<sup>138</sup> Cs	0.24 – 12	0.22 – 12	0.25 – 12	0.24 – 12	0.25 – 12	0.26 – 12	0.31 – 12
<sup>140</sup> Ba	0.15 – 13	0.17 – 13	0.18 – 13	0.14 – 13	-	0.12 – 13	0.41 – 13
<sup>140</sup> La	0.23 – 12	0.21 – 12	0.25 – 12	0.23 – 12	0.23 – 12	0.25 – 12	0.37 – 12
<sup>154</sup> Eu	0.12 – 12	0.11 – 12	0.13 – 12	0.12 – 12	0.11 – 12	0.12 – 12	0.18 – 12



#### 4 РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЙ РАДІОНУКЛІДІВ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Вміст радіонуклідів у воді річок, водойм і в донних відкладеннях визначає можливі дози зовнішнього і внутрішнього опромінення населення, що користується цими водоймами.

Концентрація радіонуклідів у річковій воді визначається за формулою

$$C^{pч} = (a / 10^3 \cdot Q_e) \cdot f_v \cdot \exp[-\lambda \cdot x / v], \quad (4.1)$$

де  $C$  – концентрація радіонуклідів у річковій воді на відстані  $x$  від місця скидання в річку,  $Бк/л$ ;

$a$  – швидкість скидання радіонуклідів,  $Бк/с$ ;

$Q_e$  – витрата води, що скидається,  $м^3/с$ ;

$f_v$  – коефіцієнт розбавлення ( $f_v = 1$  для місця скидання,  $f_v = Q_0/Q$ ,

де  $Q$  – витрата води в ріці  $м^3/с$ ;

$v_p$  – середня швидкість течії річки,  $м/с$ .

Концентрація радіонуклідів у воді водоймища  $C^{вод}$ ,  $Бк/л$ , у випадку прямого скидання у водоймище, визначається за формулою

$$C^{вод} = [C_0 \cdot Q_0 / (Q_c + \lambda \cdot V_{вод})] \cdot [1 - \exp(-[\lambda + (Q_c / V_{вод})] \cdot t_{вод})], \quad (4.2)$$

де  $C_0$  – концентрація радіонуклідів, що скидаються,  $Бк/л$ ;

$Q_0$  – витрата води, що скидається,  $м^3/с$ ;

$Q_2$  – стік води з водойми,  $м^3/с$ ;

$v$  – обсяг водойми,  $м^3$ ;

$t_{вод}$  – тривалість скидання,  $с$ .

Концентрація радіонуклідів у донних відкладеннях  $C^{дон}$ ,  $Бк/м^2$ , обчислюється за формулою

$$C^{дон} = \frac{T^{дон} \cdot S_F \cdot [1 - \exp(-\lambda \cdot t)] \cdot C}{\lambda}, \quad (4.3)$$

де  $T^{дон}$  – коефіцієнт переходу радіонуклідів з води в донні відкладення,  $л/кг \cdot с$ , дорівнює:

а)  $T^{дон} = 5 \cdot 10^{-5}$  для Mn, Co, Zr, Ru, Cs, Eu, Ce, Pu, Am, Cr, Cm, Np; Fe;

б)  $T^{дон} = 3 \cdot 10^{-6}$  для C, Zn, Sr, Y;

в)  $T^{дон} = 4 \cdot 10^{-7}$  для H, Nb, Tc, Ag, Sb, Te, Y; Na.

$S_F$  – поверхнева щільність відкладень,  $кг/м^2$  (якщо інших даних немає, то  $S_F = 40 кг/м^2$ );

$C$  – концентрація радіонуклідів у воді ріки або водойми,  $Бк/л$  ( $C^{річ}$ ,  $C^{вод}$ );

$t$  – тривалість скидання,  $с$ .

Концентрація радіонуклідів в питній воді  $C^{пит}$ ,  $Бк/л$ , визначається за формулою

$$C^{пит} = T^{вод} \cdot C, \quad (4.4)$$

де  $T^{вод}$  – безрозмірний коефіцієнт переходу радіонукліда з води річки або водойми в питну воду або «фактор дезактивації»,  $(Бк/л)/(Бк/л)$ , наведений у табл. 4.1.

$C$  – концентрація радіонуклідів у воді ріки або водойми,  $Бк/л$  ( $C^{річ}$ ,  $C^{вод}$ );

**Таблиця 4.1** – Коефіцієнт переходу радіонуклідів з води в питну воду

Елемент	$T^{вод}$	Елемент	$T^{вод}$	Елемент	$T^{вод}$
Cr	1	Ru	0.1	Nb	0.1
Mn	0.9	Ag	0.6	Na	0.6
Co	0.5	I	0.8	La	0.2
Zn	0.4	Cs	0.2		
Sr	0.5	Ce	0.1		
Zr	0.1	Fe	0.9		

## 5 РОЗРАХУНОК ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ВІД ВИКИДІВ РАДІОНУКЛІДІВ У ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Доза зовнішнього опромінення,  $Зв$ , за рахунок купання або катання на човні обчислюється за формулою

$$H^{куп} = C \cdot g_1 \cdot R_{вод} \cdot t_{куп}, \quad (5.1)$$

де  $C$  – концентрація радіонуклідів у воді, що розраховується за формулами (4.1), (4.2),  $Бк/л$ ;

$g_1$  – геометричний фактор опромінення ( $g_1=1$  при купанні,  $g_1=0.5$  –при катанні на човні);

$t_{куп}$  – тривалість купання або катання,  $c$  (див. табл. 3.4);

$R_{вод}$  – дозовий коефіцієнт зовнішнього опромінення від води,  $Зв_{\odot л} / (Бк \odot c)$ , (табл. 3.9).

Доза зовнішнього опромінення,  $Зв$ , від донних відкладень і перебування на пляжі обчислюється за формулою

$$H^{дон} = C^{дон} \cdot g_2 \cdot R^{нов} \cdot t_{дон}, \quad (5.2)$$

де  $C^{дон}$  – розраховується за формулою (4.3);

$g_2$  – геометричний фактор опромінення ( $g_2 = 1$  – на поверхні донних відкладень,  $g_2 = 0,2$  – для пляжу);

$t_{дон}$  – тривалість перебування на пляжі,  $c$  (див. табл. 3.1).

Доза внутрішнього опромінення за рахунок споживання забрудненої питної води обчислюється за формулою

$$H^{пит} = C^{вод} \cdot U^{вод} \cdot R^{харч} \cdot k, \quad (5.3)$$

де  $C^{вод}$  – розраховується за формулою (4.4);

$U^{вод}$  – споживання води особами якої-небудь вікової групи умовно позначеної «а»,  $л$  (див. табл. 3.4);

$R^{харч}$  – дозовий коефіцієнт, наведений у табл. 3.7;

$k$  – поправочний коефіцієнт (див. табл. 3.5).

Доза внутрішнього опромінення,  $H^{риб}$ ,  $Зв$ , за рахунок споживання риби обчислюється за формулою

$$H^{риб} = C^{риб} \cdot U^{риб} \cdot R^{харч} \cdot k^a, \quad (5.4)$$

де  $C^{риб}$  – концентрація радіонуклідів у риби,  $Бк/кг$ ;

$U^{риб}$  – споживання риби особами вікової групи «а»,  $кг$  (див. табл. 3.4);

$k^a$  – поправочний коефіцієнт (див. табл. 3.5).

Значення  $C^{риб}$  розраховується за формулою

$$C^{риб} = T^{риб} \cdot C^{вод}, \quad (5.5)$$

де  $T^{риб}$  – безрозмірний коефіцієнт біоаккумуляції радіонуклідів в м'язовій тканині риби,  $(Bк/кг)/(Bк/л)$ , (табл. 5.1).

**Таблиця 5.1** – Коефіцієнт біоаккумуляції радіонуклідів з річної води у м'язову тканину риби

Елемент	$T^{риб}$	Елемент	$T^{риб}$	Елемент	$T^{риб}$
H	9.0 – 1	Zr	3.3+0	Cs	2.0+3
Na	1.0+2	Nb	3.0+4	Ba	4.0+0
Mn	4.0+2	Mo	1.0+1	La	2.5+1
Fe	1.0+2	Tc	1.5+1	Ce	1.0+1
Co	5.0+1	Ru	1.0+1	U	1.0+1
Cu	5.0+1	Rh	1.0+1	Np	1.0+1
Rb	2.0+3	Ag	2.3+0	Pu	3.5+0
Sr	3.0+1	Te	4.0+2		
Y	2.5+1	I	1.5+1		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егер Р. Дозиметрия и защита от излучений. – М.: Госатомиздат, 1967
2. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991 – 352 с.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні технічні нормативи. – К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепідемнагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.
4. Основы безопасной перевозки радиоактивных веществ/ Э.С. Фрейман, В.Д. Шупановский, В.М. Калошин – 2-е изд.; перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –186 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

НОМОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНИХ ВІДХИЛЕНЬ  
СТРУМЕНЯ

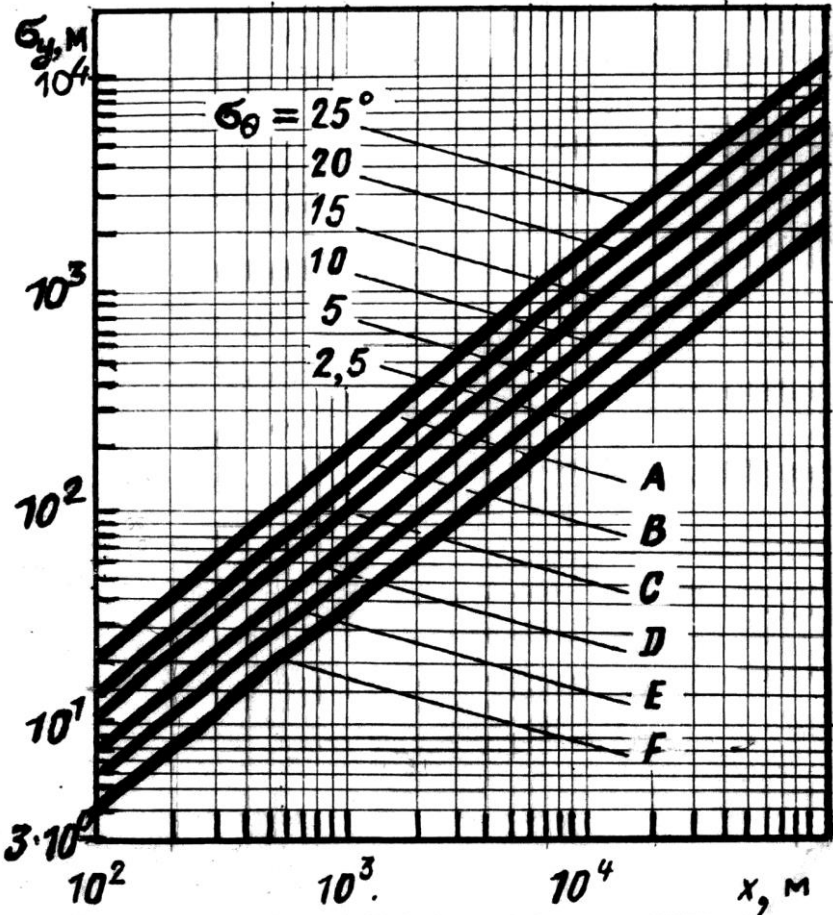


Рисунок А.1 – Залежність стандартного відхилення  $\sigma_y$  поперечного горизонтального розподілу концентрації  $A$ , від відстані  $x$  до безперервного джерела радіоактивних викидів та категорії стійкості погоди.

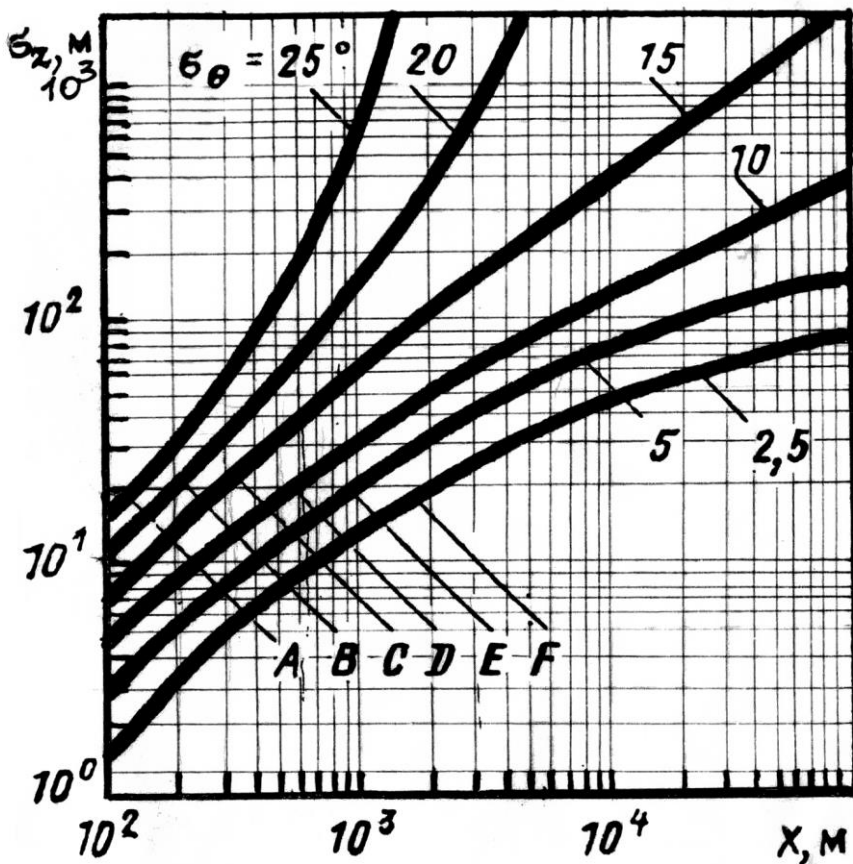


Рисунок А.2— Залежність стандартного відхилення  $\sigma_z$  поперечного вертикального розподілу концентрації  $A_i$  від відстані  $x$  до безперервного джерела радіоактивних викидів та категорії стійкості погоди

**Додаток Б**  
**ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА РОЗСПОВАННЯ**  
**РАДІОНУКЛІДІВ В АТМОСФЕРІ**

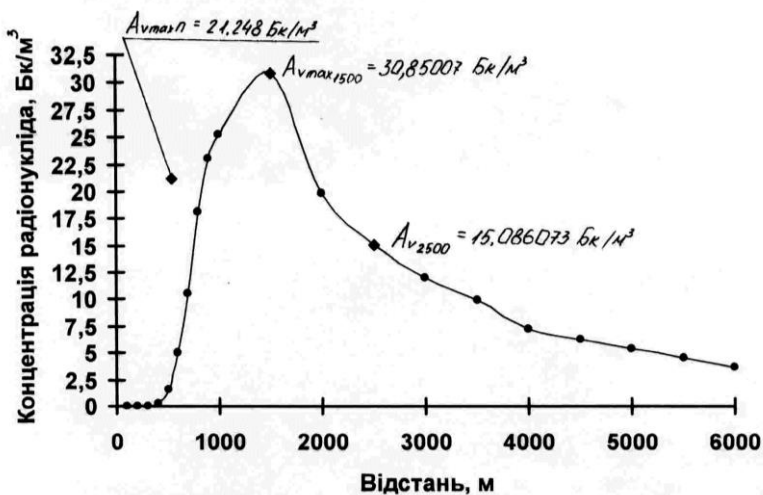
**Таблиця Б.1** – Початкові дані

Параметр	Значення
Ефективна висота викиду $h_{ef}$ , м	107,656
Потужність викиду $Q$ , Бк/с	$5 \cdot 10^6$
Швидкість вітру $V$ , м/с	2
<b>Фактори збіднення (виправні множники):</b>	
- за рахунок радіоактивного розпаду $f_R$	0,999779
- за рахунок сухого опадання $f_F$	0,957376
- за рахунок вимивання опадами $f_w$	0,907102

**Таблиця Б.2** – Дані для побудови графіку  $A_V = f(x)$

Відстань $x$ , м	Коефіцієнти дисперсії		Короткочасний фактор $\Psi$ , м <sup>-2</sup>	Концентрація $A_V$ , Бк/м <sup>3</sup>
	$\sigma_z$ , м	$\sigma_y$ , м		
1	2	3	4	5
100	7	9	$2,19 \cdot 10^{-54}$	$5,477 \cdot 10^{-48}$
200	13	20	$1,56 \cdot 10^{-18}$	$3,896 \cdot 10^{-12}$
300	20	34	$2,36 \cdot 10^{-10}$	0,0005907
400	27	45	$9,1 \cdot 10^{-8}$	0,2275631
500	32	55	$6,18 \cdot 10^{-7}$	1,5450643
600	37	60	$2,03 \cdot 10^{-6}$	5,0760136
700	43	74	$4,23 \cdot 10^{-6}$	10,569538
800	50	83	$7,28 \cdot 10^{-6}$	18,207178
900	56	93	$9,22 \cdot 10^{-6}$	23,054541
1000	60	100	$1,01 \cdot 10^{-5}$	25,229308
1500	80	120	$1,23 \cdot 10^{-5}$	30,85007
2000	100	200	$7,95 \cdot 10^{-6}$	19,886269
2500	130	250	$6,03 \cdot 10^{-6}$	15,086073
3000	160	280	$4,8 \cdot 10^{-6}$	12,008684
3500	170	320	$3,96 \cdot 10^{-6}$	9,8920079
4000	190	400	$2,88 \cdot 10^{-6}$	7,2019334
4500	200	430	$2,52 \cdot 10^{-6}$	6,3087865
5000	220	460	$2,15 \cdot 10^{-6}$	5,3793389
5500	240	500	$1,81 \cdot 10^{-6}$	4,5265618
6000	270	540	$1,49 \cdot 10^{-6}$	3,7337937





**Примітка:** Максимальна приземна концентрація радіонукліда за Паскуїлем:  $A_{Vmax} = 21,248 \text{ Бк/м}^3$ .

**Рисунок Б.1** – Приклад графіку залежності концентрації радіонуклідів від відстані до джерела забруднення  $A_V = f(x)$

**Навчальний посібник  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової роботи з дисципліни  
„Радіаційна екологія”  
(для студентів спеціальності 7.070801)**

Кутовий Віталій Олександрович

Коновальчик Максим Володимирович

Підписано до друку 10.02.05.

Замовлення 16 – 05

Тираж 40

Формат 70\*90/16

Умов. др. арк. 2,92

АДІ Дон НТУ  
84646, м. Горлівка, вул. Кірова, 51