

УДК 613.648

**РАДІАЦІЙНИЙ РИЗИК ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ ВІД ПОЖЕЖ У ЛІСАХ,
ЗАБРУДНЕНИХ ЧОРНОБИЛЬСЬКИМИ РАДІОНУКЛІДАМИ**

*С.І. Азаров , д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
О.В. Руденко
(Інститут ядерних досліджень НАНУ);
В.Л. Сидоренко , канд. техн. наук,
С.А. Єременко, канд. техн. наук, доцент
(Інститут державного управління
у сфері цивільного захисту НУЦЗ України)*

Наведено результати дослідження радіоекологічної обстановки при пожежах у лісах різних областей України, забруднених радіонуклідами Чорнобильського походження (на прикладі ^{137}Cs). Показано, що колективний радіаційний ризик для населення, що проживає в зоні радіаційного впливу лісової пожежі, незначний порівняно з ризиком від первинного джерела надходження ^{137}Cs .

Приведены результаты исследования радиоэкологической обстановки при пожарах в лесах разных областей Украины, загрязненных радионуклидами Чернобыльского происхождения (на примере ^{137}Cs). Показано, что коллективный радиационный риск для населения, которое проживает в зоне радиационного влияния лесного пожара, незначительный сравнительно с риском от первичного источника поступления ^{137}Cs .

The results of radioecological investigations of forest fires from the different Ukrainian regions polluted by Chernobyl's radionuclides (^{137}Cs as the example) are represented. The insignificant collective radioecological risk for population located in radioactive forest fires zone comparing with primary source of ^{137}Cs entering are shown.

Після Чорнобильської катастрофи площа лісів в Україні, забруднених радіонуклідами, складає 4,0 млн. га, при цьому близько 157 тис. га було вилучено з господарського обігу. Відомо, що найбільші площі лісів України, що зазнали радіоактивного забруднення, знаходяться у Житомирській (974,3 тис. га), Київській (416,4 тис. га), Чернігівській (725,5 тис. га) та Рівненській (728,8 тис. га) областях. У Черкаській, Вінницькій, Волинській, Сумській та Хмельницькій областях площі забруднених радіонуклідами лісів складають від 10 до 20 % загальної площі лісового фонду України.

В Україні щорічно в середньому фіксується понад 3 тис. лісових пожеж, з яких

© С.І. Азаров, О.В. Руденко, В.Л. Сидоренко, С.А. Єременко, 2012

майже 90 % виникає з вини людини. Лісові площі, яких торкнулися пожежі за рік, у середньому складають понад 4 тис. га, при цьому, як правило, згоряє й ушкоджується кілька десятків тисяч кубометрів деревини. Особливо часто лісові пожежі виникали в Київській, Чернігівській, Рівненській, Житомирській та Волинській областях. Пожежотехнічні характеристики лісів та радіаційна ситуація в них для різних областей України наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Пожежотехнічні характеристики лісів та радіаційна ситуація в них у різних областях України (станом на 01.01.2009 р.) без врахування Чорнобильської зони відчуження

Область	Територія, тис. км	Загальна площа обстежених лісів, тис. га	Площа лісу за класами пожежної небезпеки, %				Площа, забруднена радіонуклідами, км (зони забруднення Cs Кі/км ²)			
			≤1	1,1–5,0	5,0–15,0	>15,0	≤1	1,1–5,0	5,0–15,0	>15,0
Вінницька	20,2	234,4	29	31	22	18	198,6	33,4	0,7	–
Волинська	26,5	353,1	31	48	18	3	295,7	57,4	–	–
Житомирська	29,9	974,3	25	50	15	10	388,3	450,0	98,0	38,0
Київська	28,1	416,4	36	38	19	7	198,1	187,6	20,1	10,6
Рівненська	20,1	728,8	30	45	22	3	331,5	391,0	6,3	–
Сумська	23,8	121,9	83	17	–	–	109,4	12,5	–	–
Чернігівська	31,9	125,5	64	28	8	–	609,9	102,2	13,0	0,4
Черкаська	20,9	241,0	39	41	20	~	190,0	49,0	2,0	–
Хмельницька	20,6	50,0	91	9	–	–	46,0	3,0	1,0	–

У процесі горіння лісової рослинності, забрудненої радіонуклідами, у навколишнє середовище у вигляді диму викидаються радіоактивні продукти згорання, які, перемішуючись в атмосфері разом з повітряними масами, завдають серйозної шкоди здоров'ю населення.

Стохастичний характер процесів виникнення, розвитку і поширення лісових пожеж та варіювання ступеня горіння рослинності на лісових масивах з малою щільністю радіоактивного забруднення залежно від пожежного навантаження, сезону року й інших пожежотехнічних і метеорологічних факторів, утруднюють оцінку радіаційної обстановки та прогноз післярадіаційних наслідків.

Метою даної роботи є моделювання вторинного переносу одного з основних дозоутворюючих радіонуклідів після аварії на ЧАЕС – Cs, прогнозування зміни радіоекологічної обстановки в процесі лісової пожежі і розрахунок колективного радіаційного ризику для населення, що проживає в зоні впливу радіоактивних продуктів згорання (РПЗ).

Проблема моделювання викиду РПЗ при лісовій пожежі складається з ряду самостійних завдань, обумовлених поетапними фазами їхнього виникнення і

поширення. Можна виділити як мінімум кілька фаз розвитку процесу міграції РПЗ. У першій фазі відбувається перехід РПЗ у навколишнє середовище у вигляді димової хмари. У другій фазі шлейф від диму рухається переважно уздовж поверхні землі. З віддаленням від осередку пожежі в димовому шлейфі стає усе менше часток диму в результаті їх "сухого" осадження та розсіювання.

Для опису утворення і поширення шлейфа диму та випадіння летучих часток РПЗ була розроблена тривимірна модель з використанням балансових рівнянь імпульсу, маси й енергії повітряного потоку й кількості часток РПЗ у димовому шлейфі. Була чисельно вирішена система звичайних диференціальних рівнянь для швидкості повітряного потоку по осі струменя, його перегріву стосовно навколишнього повітря, радіуса струменя диму і концентрації РПЗ у димовому струмені.

Кожний шар розглядався як окреме незалежне джерело РПЗ, для якого розраховувалася концентрація РПЗ в атмосфері на різних відстанях від місця викиду.

Реальні поля вітру і температури, отримані з даних радіозондування, були використані як вхідна інформація при моделюванні.

При комп'ютерному моделюванні розглядали розігріту димову хмару РПЗ, що за рахунок архімедової сили піднімалася в атмосферу зі швидкістю не більше 10 м/с. Летучі частки РПЗ мали складний морфологічний і хімічний склад при густині $(3\div 10)$ г/см³, а їх спектр змінювався в широкому діапазоні $(0,1\div 100)$ мкм при аеродинамічному діаметрі від 30 до 50 мкм. Припускали, що після стабілізації хмари диму переміщення і розсіювання дрібнодисперсних фракцій здійснювалося в незбуреній атмосфері, а дисперсний склад летучих часток у димовій хмарі змінювався тільки за рахунок гравітаційного випадіння.

В якості рівняння утворення і переміщення димової хмари РПЗ використовували рівняння динаміки тіла зі змінною масою.

У процесі математичного моделювання виникнення і розвитку низової, перехідної і верхової лісової пожежі аналізували наступні процеси:

- перенос летучих часток РПЗ, який був спрямований атмосферним плином;
- розвиток струменя при викиді нагрітих газів в атмосфері, що характеризувався поняттям швидкості вітру, температури і тиску, а також постійним перемішуванням нагрітих газів з навколишнім повітрям;
- розсіювання дрібнодисперсних часток РПЗ, що відбувається за рахунок атмосферної турбулентної дифузії та їхньої седиментації в полі тяжіння, а також взаємодії з підстилаючою поверхнею.

Остаточна картина радіоактивного забруднення місцевості формувалася за час, який залежав від відстані до точки лісової пожежі і метеорологічних параметрів (з урахуванням рози вітрів).

У результаті проходження радіоактивної хмари диму через населені пункти жителі будуть зазнавати впливу наступних радіаційно небезпечних факторів:

- зовнішнього гамма-випромінювання від шлейфа диму;
- зовнішнього гамма-випромінювання нуклідів, що осіли зі шлейфа диму на поверхню навколишнього середовища;
- внутрішнього опромінення, обумовленому вдиханням радіоактивних часток РПЗ, що виходять із димової хмари;
- внутрішнього опромінення за рахунок вдихання радіоактивних часток золи;
- внутрішнього опромінення, обумовленого надходженням радіонуклідів в організм людини з харчовими продуктами.

Останній з факторів практично може бути усунутий шляхом забезпечення населення чистими продуктами. Головним фактором, що обумовлює подальший імовірний радіаційний вплив при лісовій пожежі, є інгаляційне надходження Cs.

Коллективний радіаційний ризик у зоні впливу радіоактивного диму від місця пожежі розраховувався за формулою:

$$R_c(L) = \int \int \int \rho(L, V) R(L) H[F(L)Q] f(Q) L dL dQ, \quad (1)$$

де $\rho(L, V)$ – густина населення, що проживає в зоні впливу РПЗ.

Тут
$$R_c(L) = K(L) \int H[F(L)Q] f(Q) L dL dQ, \quad (2)$$

де $K(L)$ – фактор, що враховує рівну імовірність напрямку вітру при лісовій пожежі;

$H[F(L)Q]$ – умовна густина імовірності лісової пожежі, що призводить до дози зовнішнього і внутрішнього опромінення при активності викиду;

$f(Q)dQ$ – частота лісових пожеж, що активізує викид в інтервалі $(Q \div Q+dQ)$.

Дозу зовнішнього опромінення, обумовлену впливом i -го радіонукліда, що перебуває в продуктах згоряння, розраховували за формулою:

$$H[F(L)_{ef}] = \sum \xi \sigma / V_h \theta_i \int_0^\tau Q_i(\tau) / h_{ef}(\tau) d\tau, \quad (3)$$

де ξ – частка i -го радіонукліда в продуктах згоряння, значимого для зовнішнього опромінення;

θ_i – ширина сектора забруднення i -м радіонуклідом;

V_h – середня швидкість вітру на висоті шару перемішування;

$Q_i(\tau)$ – сумарна активність i -го радіонукліда в хмарі диму;

h_{ef} – ефективна висота підйому димової хмари. Тут

$$\theta_i = \theta_w + \theta_f; \quad (4)$$

$$\theta_w = 1,1\tau^{0,67} L^{-0,125}; \quad (5)$$

$$Q_f = 1,1\tau^{0,5} L^{-0,16}; \quad (6)$$

$$h_{ef}t = K_h q(\tau)^{0,25} / V_0; \quad (7)$$

де t – час викиду РПЗ в атмосферу;

K_h – коефіцієнт, що дорівнює 530;

$q(\tau)$ – потужність теплового потоку над місцем пожежі;

V_0 – швидкість вітру в районі пожежі.

Розподіл імовірностей вихідних подій – частоти лісових пожеж визначався за формулою:

$$f[E(Q)] = \int_0^{\tau} f[Q(\tau)] dq d\tau, \quad (8)$$

де $f[Q(\tau)]$ – частота лісових пожеж, що призводять до викиду РПЗ в інтервалі $Q(\tau) - Q(\tau) + dQ\tau$.

Значення $f[Q(\tau)]$ можна представити у вигляді

$$f[Q(\tau)] = \mu \left[1 + a \ln(Q(\tau)/\bar{Q}_0) \right] (Q(\tau) \cdot \Delta\tau). \quad (9)$$

$$\text{Тут} \quad \mu = \left[(2\tau/\lambda)^{1/2} - 1 \right] \left[\ln Q(\tau)/\bar{Q}_0 \right]^{-1}, \quad (10)$$

де \bar{Q}_0 – вміст радіонуклідів у горючих матеріалах;

$Q(\tau)$ – сумарна активність викинутих в атмосферу радіонуклідів;

$\Delta\tau$ – очікуваний період часу між двома пожежами;

λ – частота лісових пожеж.

Еквівалентну дозу внутрішнього опромінення $H(L)_{int}$, Зв, обумовлену надходженням в організм людини з повітрям радіоактивних часток РПЗ від лісової пожежі, розраховували за формулою [9]:

$$H(L)_{int} = \int_0^{\tau} q_f(t, L) \cdot \delta_n \cdot B \cdot W_m(t) dt, \quad (11)$$

де $q_f(t, L)$ – концентрація ^{137}Cs у згорілій речовині (зола в летучому РПЗ), Бк/м³;

δ_n – вміст згорілої речовини у приземному шарі повітря на висоті 1,7 м;

B – перехідний дозовий коефіцієнт, що пов'язує активність ^{137}Cs , що потрапила в організм, з дозою на критичний орган, Зв/Бк;

$W_m(t)$ – швидкість дихання стандартної людини, м/с;

t – час знаходження людей у зоні впливу лісової пожежі.

При розрахунку виносу радіонуклідів із зони лісової пожежі використовувалася Гауссова модель. Оскільки лісові масиви України розташовані в європейській частині, то найбільш імовірно є нейтральна стратифікація атмосфери (категорія Б за класифікацією Пасквіла). Аналіз сценаріїв минулих

лісових пожеж показав, що умови надходження радіонуклідів в атмосферу залежно від типу лісової пожежі (верхова, низова, перехідна та ін.) можуть істотно (порядку у 10 разів) відрізнятись: за висотою викиду димової хмари – в 5 разів, за тривалістю – в 4 рази, за радіонуклідним складом викиду – на 10–30 %, а розрахований розкид у дозі опромінення не перевищує 30 %. Числові розрахунки показали, що одержані оцінки радіаційного ризику для населення є консервативними, оскільки не враховувалося зовнішнє опромінення від радіонуклідів, що потрапили на ґрунтово-рослинний покрив, внутрішнє опромінення від інкорпорованих в організмі людини радіонуклідів при диханні і за рахунок міграції по харчових ланцюжках.

У табл. 2 представлені результати розрахунків, відповідно до наведеної вище методики, колективних доз опромінення критичної групи населення та шкоди різних радіоактивно забруднених лісовими пожежами областей України.

Таблиця 2

Колективні дози опромінення критичної групи населення, люд.·Зв

Область	Населення, тис. чол.	Роки					Разом
		2005	2006	2007	2008	2009	
Вінницька	1071,8	0,1	0,3	0,4	1,1	0,8	2,7
Волинська	1862,2	0,9	0,5	0,9	1,0	1,3	4,6
Житомирська	1467,9	3,1	1,9	4,5	4,2	5,0	18,7
Київська	1880,4	3,9	2,5	3,8	5,1	5,3	20,6
Рівненська	1192,5	1,8	1,4	1,9	2,1	2,5	9,7
Сумська	1384,3	0,7	0,3	0,8	1,2	1,2	4,2
Чернігівська	1333,4	2,5	1,6	2,7	3,9	4,2	14,9
Черкаська	1491,1	0,6	0,1	0,8	0,9	1,0	3,4
Хмельницька	1498,4	0,1	0,1	0,4	0,7	0,8	2,1

Відомо, що ризики радіаційно-індукованих захворювань, що мають стохастичну природу, для злоякісних пухлин становлять $1,3 \cdot 10^{-2}$ та $1,7 \cdot 10^{-2}$ – для генетичних мутацій на 1 люд.·Зв колективної дози. З даних, наведених у табл. 2, видно, що найбільший ризик одержання вищевказаних захворювань за рахунок опромінення при лісових пожежах має контингент, що проживає на забруднених територіях Київської, Житомирської та Чернігівської областей. Ця група населення, починаючи з 1986 року, щорічно зазнає також опромінення за рахунок первинного впливу радіонуклідів чорнобильського походження, внесок від якого в даній роботі не враховувався. У зв'язку з актуальністю оцінки комплексного ризику для населення радіаційно-забруднених територій України від впливу двох факторів опромінення передбачається і надалі проводити дослідження в цьому напрямку.

* * *

1. Азаров С.И. Оценка пожарной опасности территорий, загрязненных

радионуклидами / С.И. Азаров, А.А. Однолько // Лесное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 15–16.

2. Азаров С.І. Оцінка радіаційних наслідків лісових пожеж в Україні / С.І. Азаров // Український географічний журнал. – 2001. – № 2. – С. 52–54.

3. Азаров С.И. Методика расчета переноса радионуклидов в результате пожаров в Чернобыльской зоне / С.И. Азаров / Радиационная биология. Радиоэкология. – 1997. – Вып. 1. – С. 102–109.

4. Азаров С.И. Загрязнение атмосферы ^{137}Cs при лесных пожарах в Чернобыльской зоне / С.И. Азаров // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. — Вып. 4. – С. 474–483.

5. Азаров С. И. Радиоэкологические последствия лесных пожаров в Украине /С.И. Азаров // Гигиена населенных мест. – 2000. – Вып. 37. – С. 341–344.

6. Азаров С.И. Методика анализа радиационного риска при тушении пожара на территориях, загрязненных радионуклидами / С.И. Азаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – Т. 10. – № 1. – С. 40–43.

7. Азаров С.И. Прогноз радиационной обстановки и ущерба при лесном пожаре на постчернобыльской территорий / С.И. Азаров // Тез. докл. II симп. по радиоэкологии. – Обнинск, 1996. – С. 173–174.

8. Азаров С.И. Разработка аналитических методов расчета частоты пожаров в постчернобыльской зоне / С.И. Азаров // Матер. XV науч.-практ. конф. «Проблеми горения и тушения пожаров на рубеже веков». – ВНИИПО МВД». – 1999. – С. 25–26.

9. Азаров С.І. Характеристика інгаляційного надходження радіонуклідів при лісових пожежах в зоні відчуження ЧАЕС / С.І. Азаров, О.І. Прикащиков // Тез. доп. II з'їзду радіобіологів України. – Дніпропетровськ, 1995. – Т. 1. – С. 141–142.

10. Radiation Protection. ICRP Publication 60. – Oxford: Pergamus Press, 1990. – 197 p.

11. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Затверджені наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208. Введені в дію Постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62. – К., 1997. – 135 с.

Отримано: 24.09.2011 р.