



УДК: 504.054:631.5:621.039

РОЗРАХУНОК РИЗИКУ ПЕРЕВИЩЕННЯ ДОЗОВИХ ЛІМІТІВ НА ЕЛЕМЕНТИ ЕКОСИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ERICA TOOL

О. Ю. ПАРЕНЮК, кандидат біологічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

І. В. ДАВИДОВА, кандидат сільськогосподарських наук

Житомирський державний технологічний університет

E-mail: olena.parenjuk@gmail.com

<https://doi.org/10.31548/bio2018.05.002>

Проаналізовано можливості використання пакету програм ERICA tool для розрахунку дозового навантаження на екосистеми. Визначено доцільність використання названого програмного забезпечення для оптимізації процесу відбору проб у екосистемах з різними рівнями забруднення. У рамках роботи виміряно питому активність зразків ґрунту та рослин чорниці, відібраних на територіях зони відчуження Чорнобильської АЕС з різними рівнями забруднення. Визначено, що найбільше забруднення, а, отже, найбільша поглинута доза зовнішнього і внутрішнього опромінення в екосистемі формується на території ПТЛРВ Рудий ліс.

Ключові слова: іонізуюче опромінення, радіонуклідне забруднення, розрахунок дозового навантаження

Актуальність. Згідно з Указом Президента України №174-2016 від 26 квітня 2016 року на території Іванківського і Поліського районів Київської області в межах зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВ і ЗБ(О)В ЧАЕС) було створено Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник загальною площею 226 964,7 [1] га, що ставить перед радіоекологічною спільнотою України важливе завдання щодо визначення актуальних дозових навантажень на компоненти екосистем заповідника та співставлення їх з міжнародними лімітами, встановленими для захисту навколишнього середовища. Визначення ризику перевищення дозових лімітів є важливим завданням в розрізі визначення загального

стану екосистеми, її стабільності та здоров'я. Згідно зі звітами ICRP від 2014 року [2], концепція радіологічного захисту навколишнього середовища має на меті профілактику або зменшення шкідливих впливів іонізуючого опромінення на навколишнє середовище; підтримку біологічного різноманіття; збереження видів, природних середовищ існування, популяцій, екосистем. Для цього Комісія передбачає такі принципи: зусилля мають бути співмірні з ризиками; захист має бути сумісним з іншими підходами, які використовуються для захисту навколишнього середовища; використання набору «Reference Animals and Plants» (RAP), гіпотетичних об'єктів, що використовуються для оцінки експозиції та пов'язані з ефектами, для аналізу стану еко-



систем; використання «Похідного рівня розгляду» (DCRL: діапазони дози опромінення для різних RAP, які можуть бути використані як орієнтир для оптимізації захисту залежно від цілей). Згідно з приведеною концепцією, оцінка ризику на екосистемі є необхідною для такої специфічної території, як радіаційний заповідник.

Інструмент ERICA [3, 4] – це комп'ютеризована, гнучка система програмного забезпечення, яка має структуру, що базується на інтегрованому підході ERICA для оцінки радіологічного ризику для біоти. Інструмент допомагає користувачеві здійснювати процес оцінки, записувати інформацію та рішення, а також здійснювати необхідні розрахунки для оцінки ризиків для вибраних тварин та рослин. Цей інструмент забезпечує гнучкість стратегій для проведення оцінки в залежності від необхідної точності та рівня експертизи споживача. Оцінки рівня 1 складаються з концентрацій у середовищі та використовують попередньо розраховані ліміти для оцінки факторів ризику. Рівень 2 розраховує потужність дози, але дозволяє користувачеві переглядати та редагувати більшість параметрів, що використовуються при розрахунку, включаючи концентраційні співвідношення, коефіцієнти розподілу, відсоток сухої ваги ґрунту або осаду, коефіцієнти перерахунку дози, зважені коефіцієнти випромінювання та фактори заселення. Рівень 3 забезпечує таку ж гнучкість, як і рівень 2, але дає можливість запускати оцінку з обраною ймовірністю, якщо визначені нижче функції розподілу ймовірності параметрів є ймовірнісними. Результати, отримані з ERICA, можуть бути використані в контексті, використовуючи включені дані щодо співвідношень дози-ефектів та фоновой потужності дози [5].

Отже, підсумовуючи усе викладене вище, **метою даної роботи** є оцінка дозових навантажень на елементи екосистеми на забруднених радіонуклідами тери-

торіях 10-км та 30-км зони відчуження ЧАЕС та оцінка ризику перевищення встановлених ICRP дозових лімітів.

Матеріали і методи дослідження. Точки відбору проб. Для аналізів відбирали проби ґрунту та кущиків чорниці (*Vaccinium myrtillus*), що росли на даній території, за стандартним методом конверту в ЗВ ЧАЕС. Відбори проб ґрунту та рослин здійснювалися у серпні 2018 року. Для забезпечення точності відбору зразків проводилася координатна прив'язка точок відбору зразків за допомогою супутникових GPS систем та приймача GarminTrexH в системі WGS84 (World). Абсолютна похибка визначення координат складала менше 6 м.

Вимірювання радіоактивності зразків. Уміст ^{137}Cs у підготовлених пробах визначали за методикою ASTM E181-10 [6] у поліетиленових циліндричних контейнерах об'єм 100 см^3 , використовуючи гамма-спектрометр, обладнаний з багатоканальним аналізатором ASPEC-927; пристрій пасивного захисту; детектор з високочистого германію GEM-30185 (EG & G Ortec, США) та програмне забезпечення GammaVision32. Час вимірювання кожного зразка складав 2 000 сек. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою пакета програм Microsoft Office Excel.

Оцінка радіологічних ризиків для біоти. Для оцінки ризику використовували об'єднану пробу з кожної точки відбору. Оцінку проводили за допомогою ERICA tool [3], на рівні 3. ^{137}Cs є основним формувачем дози на означеній території, отже оцінку ризику проводили саме за цим радіонуклідом. Для аналізу обирали вбудовану модель для наземних екосистем, з лімітом 10 мкГр/год

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами відбору проб було отримано зразки із трьох точок у межах ЗВ ЧАЕС. Точки для відбору були підібрані з урахуванням найбільшої подібності екосистем. Метою даної роботи була оцінка мож-



1. Координати та питома активність відібраних зразків

№ з/п	Точка відбору проби	Координати		Питома активність зразка	
		північ	схід	грунт, Бк/кг	чорниця, Бк, кг
1	Рудий ліс	51°23'10.11»	30° 4'26.54»	72491 ± 10	19913 ± 5
2	с. Новошепеличі	51°19'47.59»	30° 8'18.63»	10411 ± 10	33986 ± 10
3	р. Вуж	51°12'2.17»	30° 8'11.11»	1080 ± 10	976 ± 10

ливості використовувати коефіцієнти ризику системи ERICA для оцінки небезпеки, спричиненої радіонуклідним забрудненням на екосистеми, отже фактичні значення питомої активності (табл. 1) були отримані з огляду на необхідність більш точного обрахунку дози. Хоча програмне забезпечення дозволяє передбачити дози для всіх референсних елементів екосистеми, отримання даних для декількох організмів (або ґрунту і певного організму) дозволить ще більше уточнити отримані прогнози.

Згідно з отриманими даними, найбільш забрудненою очікувано були проби, відібрані з території Рудого лісу, однієї з найбільш забруднених місцевостей ЗВ, що розташована на відстані менше 3 км від зруйнованого реактора. Питома активність ^{137}Cs у пробі ґрунту тут складає 72491 ± 10 Бк/кг, чорниці – 19913 ± 5 Бк/кг.

Найменш забрудненими є проби, відібрані поза територією 10-км зони ЗВ ЧАЕС, в межах одного з сухих меандрів р. Вуж. Питома активність тут є майже на два порядки меншою – 1080 ± 10 Бк/кг для ґрунту та 976 ± 10 Бк/кг для проб чорниці.

Програмний продукт ERICA tool дає можливість обрахувати прогнозовані експозиційні дози для таких елементів екосистеми (табл. 2): амфібії, птахи, молоски, рептилії, черви, членистоногі, літаючі комахи, трави, мохи та лишайники, великі ссавці, рийні ссавці, чагарники, дерева, що відповідає необхідності обраховувати дози для Reference Animals and Plants (RAPs) з метою оцінки небезпеки для екосистеми згідно з рекомендаціям ICRP від 2014 року.

Програмне забезпечення дає можливість виставити дозові ліміти, у разі перевищення яких небезпека для екосистеми вважається реальною і згадана територія потребує більш детального дослідження, а саме більш детального відбору проб. Для поточного дослідження було обрано рекомендовані ERICA tool дозові ліміти, що складають 10 мкГр/год – для забезпечення оптимальної консервативності оцінки для прийняття рішення. У той же час, згідно з публікацією [2], дозові ліміти для забруднених територій можуть бути до 40 мкГр/год.

Дозове навантаження на всі елементи екосистеми у Рудому лісі очікувано перевищувало встановлені ERICA tool ліміти. Найбільшу поглинуту дозу на території з названим вище (табл. 1) забрудненням отримують великі ссавці – вовки, лисиці, олені, лосі тощо. Так, на згаданій території [7] проживають вовки (*Canis lupus L.*), лисиці (*Vulpes vulpes, syn.*) та дикі кабани (*Sus scrofa*), отже, в разі більш детального дослідження названої екосистеми критичним буде відбір проб саме цих тварин. Щодо рослин, то найбільших коефіцієнт ризику обрахований для мохів та лишайників. Отже, для точної оцінки ризиків для екосистеми можливо обмежитись відбором лише проб ґрунту, тканин великих ссавців та мохів або лишайників. У той же час, виходячи з низького коефіцієнту ризику для дерев та трав, їх відбір не є обов'язковим.

На території відселеного села Новошепеличі поглинута доза коливалася в межах від 12,7 мкГр/год для великих ссавців до 1,4 мк Гр/год для дерев, а коефіцієнти

**2. Обраховане дозове навантаження та коефіцієнти ризику для елементів екосистеми**

Клас референтних організмів	Рудий ліс		с. Новошепеличі		р. Вуж	
	Поглинута доза, МкГр/год	Коеф. ризику	Поглинута доза, МкГр/год	Коеф. ризику	Поглинута доза, МкГр/год	Коеф. ризику
Амфібії	26,7	8,0	6,1	1,8	3,3	1,0
Птахи	15,7	4,7	2,3	0,7	0,2	0,1
Молюски	9,1	2,7	1,3	0,4	0,1	0,0
Рептилії	26,6	8,0	3,8	1,1	0,4	0,1
Черви	22,6	6,8	3,2	1,0	0,3	0,1
Членистоногі	23,4	7,0	3,4	1,0	0,3	0,1
Літаючі комахи	9,8	2,9	1,4	0,4	0,1	0,0
Трави	10,8	3,2	5,9	1,8	0,3	0,1
Мохи та лишайники	40,8	12,2	5,9	1,8	0,6	0,2
Великі ссавці	88,2	26,5	12,7	3,8	1,3	0,4
Рийні ссавці	62,4	18,7	9,0	2,7	0,9	0,3
Чагарники	27,9	8,4	4,0	1,2	0,4	0,1
Дерева	9,7	2,9	1,4	0,4	0,1	0,0

ризик перевищували 1 лише для амфібій, рептилій, великих та рийних ссавців та трав, мохів та чагарників. Решта компонентів екосистеми визнана у групі низького ризику, отже, в разі детальної оцінки небезпеки для екосистеми, відбір та аналіз таких зразків не є необхідним.

На території сухого меандру річки Вуж коефіцієнти небезпеки для екосистеми ні в одному з проаналізованих випадках не перевищували встановлених дозових лімітів, отже додатковий відбір проб не є необхідним.

Література

1. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник / 2018. URL: <http://zapovidnyk.org.ua/> (September 4, 2018).
2. ICRP Protection of the environment under different exposure situations. icrp publication. 124. ICRP. 2014.
3. Brown J. E., Alfonso B., Avila R. et al. The Erica tool. Journal of Environmental Radioactivity. 2008. Vol. 99, No. 9. P. 1371–1383.

Висновки. Програмний продукт ERICA tool дозволяє істотно економити час лабораторних досліджень під час планування експериментів із визначення рівня небезпеки перевищення дозового ліміту для екосистем. Так, спираючись на дані моделювання поглинутої дози на помірно-забруднених ділянках, можливо сконцентруватись лише на найбільш вразливих елементах екосистеми, не витрачаючи час та витратні матеріали для підготовки проб із меншим коефіцієнтом ризику.



4. Beresford N. A., Barnett C. L., Howard B. J. et al. Derivation of transfer parameters for use within the erica tool and the default concentration ratios for terrestrial biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2008. Vol. 99, No. 9. P. 1393–1407.
5. Brown J. E., Alfonso B., Avila R. et al. A new version of the erica tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals. *Journal of environmental radioactivity*. 2016. Vol. 153. P. 141–8.
6. ASTM International ASTM e181-98, standard test methods for detector calibration and analysis of radionuclides. ASTM International. West Conshohocken, PA : 1998.
7. Kryshev I. I., Sazykina T. G., Beresford N. A. Effects on wildlife. *Chernobyl – Catastrophe and Consequences*. Springer Berlin Heidelberg. P. 267–287.

References

1. Чорнобильський Радіаційно-Екологічний Біосферний Заповідник. (2017, September 29). Retrieved September 4, 2018, from <http://zapovidnyk.org.ua/>
2. ICRP. 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication. 124. [http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP Publication 124](http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20124) (September 4, 2018).
3. Brown, J.E. et al. 2008. “The ERICA Tool.” *Journal of Environmental Radioactivity* 99(9): 1371–83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X08000118> (September 4, 2018).
4. Beresford, N.A. et al. 2008. “Derivation of Transfer Parameters for Use within the ERICA Tool and the Default Concentration Ratios for Terrestrial Biota.” *Journal of Environmental Radioactivity* 99(9): 1393–1407. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X08000301> (September 4, 2018).
5. Brown, J E et al. 2016. “A New Version of the ERICA Tool to Facilitate Impact Assessments of Radioactivity on Wild Plants and Animals.” *Journal of environmental radioactivity* 153: 141–48. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X15301715> (March 2, 2016).
6. ASTM International. 1998. ASTM E181-98, Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides. West Conshohocken, PA. www.astm.org.
7. Kryshev, Ivan I., Tatiana G. Sazykina, and Nick A. Beresford. “Effects on Wildlife.” In *Chernobyl – Catastrophe and Consequences*, Springer Berlin Heidelberg, 267–87. http://link.springer.com/10.1007/3-540-28079-0_8 (October 17, 2018).

SUMMARY

O. Pareniuk, I. Davudova. *The risk of dose limits excess on the ecosystem elements calculation using the erica tool // Biological Resources and Nature Management. 2018. 10, № 5–6. P.11–15. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.002>*

The possibilities of using the ERICA tool software to calculate the dose load on the ecosystem were analyzed. The expediency of using the software to optimize the sampling process in ecosystems with different levels of pollution has been determined. Within the framework of the work, the specific activity of samples of soil and blueberry plants, which were collected on the territory of the Chernobyl exclusion zone with different levels of contamination, was measured. It is determined that the highest contamination, and, consequently, the highest dose of external and internal irradiation in the ecosystem is formed on the territory of the TPRAW Red Forest.

Keywords: ionizing radiation, radionuclide contamination, calculation of dose rate

АННОТАЦІЯ

Е. Ю. Паренюк, І. В. Давидова. *Риски перевищення дозових лімітів на елементи екосистеми з допомогою erica tool // Біоресурси і природокористування. 2018. 10, № 5–6. С. 11–15. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.002>*

Проаналізовані можливості використання пакета програм ERICA tool для розрахунку дозової навантаження на екосистеми. Визначено цілесобразність використання названого програмного забезпечення для оптимізації процесу отбору проб в екосистемах з різними рівнями забруднення. В рамках роботи виміряна удільна активність образців ґрунту і рослин чорники, отриманих на територіях зони відчуження Чорнобильської АЕС з різними рівнями забруднення. Визначено, що найбільше забруднення, а, відповідно, найбільша доза зовнішнього і внутрішнього облучення в екосистемі формується на території ПЛВРО Рижий ліс.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, радіонуклідне забруднення, розрахунок дозової навантаження.