

Д. М. Голяка^{1,*}, С. Є. Левчук¹, М. О. Гречанюк¹, В. В. Ілленко¹,
М. А. Голяка¹, В. П. Процак², В. О. Кашпаров¹

¹ *Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна*

² *Український гідрометеорологічний інститут, НАН України, Київ, Україна*

*Відповідальний автор: holiaka@nubip.edu.ua

ВИКИД ¹³⁷Cs ПІД ЧАС ЗГОРЯННЯ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЛЯХ

Ландшафтні пожежі на радіоактивно забруднених територіях північної України інтенсифікувалися за останнє десятиліття, що викликає занепокоєння щодо ресуспензії техногенних радіонуклідів, в тому числі ¹³⁷Cs. Незважаючи на численні дослідження з цього аспекту, емпіричні дані щодо викидів радіонуклідів при спалюванні горючих матеріалів в умовах, наближених до природних, залишаються фрагментативними. За результатами цього дослідження отримані нові спостереження щодо викиду ¹³⁷Cs під час згоряння моху, трав'янистої рослинності, шарів лісової підстилки та зелених (живих) гілок сосни, зібраних на шести ділянках у зоні відчуження, що представляють соснові та березові ліси, а також луки.

Використовуючи спеціально створену систему аерозольної фільтрації, було кількісно оцінено активність ¹³⁷Cs у димових аерозолях і визначено його частку викиду відносно активності у спаленому матеріалі, так і загального запасу на закладених ділянках. Вихідні розрахунки дали змогу ідентифікувати залежність величини викиду радіоізотопу від вертикального розміщення шару в профілі соснової підстилки при їх роздільному спалюванні, водночас верхні шари (мох і свіжий опад) мали більший внесок у викид активності радіонукліда, незважаючи на меншу активність ¹³⁷Cs порівняно з глибшим, гуміфікованим шаром. Збільшення вмісту вологи (з 5–13 % до 15–29 %) суттєво зменшило рівень емісії радіонукліда із соснової підстилки (приблизно на один порядок), тоді як горіння зелених соснових гілок із вмістом води понад 100 % мали несподівано високі викиди ¹³⁷Cs (до 24 %). Середньозважена частка емісії радіоізотопу зростала у послідовності: сосновий ліс – березовий ліс – луг (0,075–0,45 %) для механічно непорушених і повітряно сухих поверхневих шарів мохової/трав'яної рослинності та підстилки/детриту.

Отримані коефіцієнти викиду ¹³⁷Cs відносно загальної активності на досліджуваних ділянках переважно узгоджуються з емпіричними оцінками та змодельованими результатами лісових пожеж навесні 2020 р. в Чорнобильській зоні відчуження, де цей показник оцінювався в межах 0,01–0,4 %. Зібрані у дослідженнях матеріали свідчать, що викиди ¹³⁷Cs у чорнобильських ландшафтах навряд чи перевищать 1 % від загального запасу в екосистемах, навіть під час масштабних лісових пожеж.

Ключові слова: радіонуклід, аерозоль, емісія, лісові пожежі, горючі матеріали.

Д. М. Holiaka^{1,*}, S. E. Levchuk¹, M. O. Hrechaniuk¹, V. V. Illienko¹,
M. A. Holiaka¹, V. P. Protsak², V. O. Kashparov¹

¹ *National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Emergency Service of Ukraine and
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Corresponding author: holiaka@nubip.edu.ua

¹³⁷Cs RELEASE FROM COMBUSTIBLE MATERIALS BURNING UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Wildfires in radioactively contaminated territories in northern Ukraine have intensified over the past decade, raising concerns about the atmospheric resuspension of technogenic radionuclides, particularly ¹³⁷Cs. Despite numerous studies on this topic, empirical data on radionuclide emissions from burning combustible materials in near-natural environments remain limited. This study provides new estimates of ¹³⁷Cs release during the combustion of moss, herbaceous vegetation, forest litter layers, and green pine branches collected at six Chernobyl sites representing pine and birch forests as well as meadows.

Using a custom-built aerosol filtration system, we quantified ¹³⁷Cs activity in smoke aerosols and determined its fraction of release relative to both fuel activity and the total ecosystem inventory. The results revealed a clear dependence of the cesium radioisotope release on the vertical position within the pine litter profile during burning: the upper layers (moss and fresh litter) contributed a greater amount to the atmospheric release, despite having a lower total ¹³⁷Cs activity compared to the deeper humified layer. An increase in moisture content (from 5–13 % to 15–29 %) significantly reduced radionuclide emissions from pine litter (by approximately one order of magnitude), whereas combustion of green pine branches with moisture contents exceeding 100 % had unexpectedly high ¹³⁷Cs releases (up to 24 %). The mean proportion of cesium radioisotope release increased along the sequence: pine forest – birch forest –

meadow (0.075–0.45 %) for mechanically intact and dried above-ground layers of moss/grass vegetation and litter/detritus.

The obtained ^{137}Cs release factors relative to its total activity in the studied sites generally align with empirical estimates and modelling results for the spring 2020 Chernobyl wildfires, where this parameter has been estimated to range between 0.01 and 0.4 %. Our materials indicate that ^{137}Cs release in the Chernobyl landscapes is unlikely to exceed 1 % of its gross inventory in ecosystems, even during large-scale wildfires.

Keywords: radionuclide, radioactive aerosol, emission, wildfires, combustible materials.

REFERENCES

1. N.A. Beresford et al. Wildfires in the Chernobyl exclusion zone – Risks and consequences. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 17 (2021) 1141.
2. T. Fedoniuk et al. Assessment of the consequences of forest fires in 2020 on the territory of the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. *Sci. Horizons* 24 (2021) 26.
3. O. Masson et al. Europe-wide atmospheric radionuclide dispersion by unprecedented wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone, April 2020. *Environ. Sci. Technol.* 55 (2021) 13834.
4. B.D. Amiro et al. Burning radionuclide question: What happens to iodine, cesium and chlorine in biomass fires? *Sci. Total Environ.* 187 (1996) 93.
5. L. (Jenny) Zhou et al. Distribution of radionuclides between atmosphere and ash during combustion of contaminated vegetation. *J. Environ. Radioact.* 165 (2016) 159.
6. W.M. Hao et al. Cesium emissions from laboratory fires. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 68 (2018) 1211.
7. V.K. Shynkarenko, A.M. Novikov. Air releases of ^{137}Cs from the burning of contaminated biomass: a review of laboratory research. *Nucl. Power Environ.* 31 (2024) 69. (Ukr)
8. A.A. Dvornik et al. Assessment of ^{137}Cs contamination of combustion products and air pollution during the forest fires in zones of radioactive contamination. *Radioprotection* 52 (2017) 29.
9. V.I. Yoschenko et al. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone: part II. Modeling the transport process. *J. Environ. Radioact.* 87 (2006) 260.
10. V.A. Kashparov et al. Evaluation of the expected doses of fire brigades at the Chernobyl Exclusion Zone in April 2015. *Nucl. Phys. At. Energy* 16 (2015) 399. (Rus)
11. V. Kashparov et al. Assessment of exposures to firefighters from wildfires in heavily contaminated areas of the Chernobyl Exclusion Zone. *J. Environ. Radioact.* 274 (2024) 107410.
12. D. Holiaka et al. ^{90}Sr and ^{137}Cs distribution in Chernobyl forests: 30 years after the nuclear accident. *J. Environ. Radioact.* 282 (2025) 107616.
13. J.W. Krzesniak, J. Porstendorfer. Experimental determination of the collection efficiency of the Petrianov type FPP 15-1.7 filter for sampling submicron atmospheric aerosols. *Nukleonika* 26 (1981) 669.
14. *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. A Guidebook.* IAEA-TRS-295. Technical Reports Series No. 295 (Vienna, IAEA, 1989) 239 p.
15. ORTEC. GammaVision-32 Software User's Manual. 6th ed. (Oak Ridge, TN, USA, 2003) 162 p.
16. A. Shvidenko et al. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests. *Ecol. Modell.* 204 (2007) 163.
17. D. Holiaka. Cs-137 activity measurements for aerosols and combustible materials: holiaka/Cs-137-release-during-combustion-of-biomass-materials: v1.1.0 (v.1.1.0). *Zenodo* (2025).
18. M. Kudzin, V. Zabrotski, D. Harbaruk. Distribution of ^{137}Cs between the components of pine forest of Chernobyl NPP Exclusion Zone. In: D. Gupta, C. Walther (Eds.). *Impact of Cesium on Plants and the Environment* (Cham, Switzerland, Springer, 2016) 149.
19. V.P. Krasnov et al. ^{137}Cs redistribution in time in wet bory and sugrudy soils in forests of Ukrainian Polissia. *Nucl. Phys. At. Energy* 17 (2016) 63.
20. D.M. Holiaka et al. ^{90}Sr and ^{137}Cs inventories in the depots and biogenic fluxes of the typical forest stands in the Chernobyl exclusion zone. *Nucl. Phys. At. Energy* 21 (2020) 256. (Ukr)
21. Y.-G. Zhu, E. Smolders. Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application. *J. Exp. Bot.* 51 (2000) 1635.
22. K. Tanaka et al. Speciation of cesium in tree tissues and its implication for uptake and translocation of radiocesium in tree bodies. *Sci. Total Environ.* 755 (2021) 142598.
23. N. Evangeliou et al. Resuspension and atmospheric transport of radionuclides due to wildfires near the Chernobyl Nuclear Power Plant in 2015: An impact assessment. *Sci. Rep.* 6 (2016) 26062.