

4. Оперативні дані радіологічного моніторингу ДУ «Закарпатський обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України» за 2025 – I квартал 2026 рр. (Внутрішні матеріали установи).

5. Результати спостережень Комплексної лабораторії спостережень за забрудненням природного середовища Закарпатського ЦГМ за 2025–2026 рр. (Архівні дані лабораторії).

УДК 577.34:(582.52:575.2)

**ЦИТОГЕНЕТИЧНІ МАРКЕРИ ТРИВАЛОГО
НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ІОНІЗУЮЧОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ У ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН**

Шевцова Н. Л., Гудков Д. І.

Інститут гідробіології НАН України

E-mail: shevtsovanl245@gmail.com

Іонізуюче випромінювання від штучних радіонуклідів, що потрапили у навколишнє середовище внаслідок різноманітних техногенних аварій та іншими шляхами, і завдяки яким з'явилися величезні радіаційно-забруднені території, поступово перетворюється на ще один чинник, з яким стикається біота природних екосистем [1]. Успішний захист навколишнього середовища залежить від збереження як природних популяцій, так і властивій їм динаміки, взаємодії з іншими популяціями та їх внеску у функціонування екосистеми. Для цього необхідне послідовне впровадження екосистемних підходів у практику оцінки, нормування та прогнозування радіаційних ризиків для біотичної складової водних та наземних екосистем. Враховуючи високий рівень емерджентних властивостей екосистеми, таких як стійкість, пружність та пластичність, навряд чи можна встановити універсальний стандарт, такий як поглинена доза або потужність поглиненої дози, що буде придатним для захисту будь-якої екосистеми. У кожній екосистемі є свій, притаманний саме їй, рівень стійкості, що сформувався у часі під впливом багатьох супутніх стресорів. Тому винайдення найбільш релевантних біомаркерів на різних рівнях біологічної системи саме у природних видах та популяціях є одним із пріоритетних напрямків екоцентричного напрямку радіологічного захисту.

Дослідження цитогенетичних порушень у макрофітів водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) відноситься саме до напрямку пошуку біомаркерів радіаційного впливу на водні екосистеми. Такі дослідження у ЧЗВ проводили починаючи з 2006 року і дотепер на клітинах кореневих меристем повітряно-водних рослин у видів, що визначені як референтні саме для цих водних екосистем [2]. Визначення хромосомних аберацій у меристемних клітинах макрофітів проводили за допомогою модифікованого авторами анафазо-телофазного експрес тесту.

Зразки відбирали у водоймах трьох діапазонів дозового навантаження на гелофіти: перший – це заплавні озера Вершина та Азбучин де поглинені дози майже у п'ять разів перевищують рекомендований безпечний рівень для біоти у 10 мкГр/год [3]; другий – це теж лентичні екосистеми, заплавні озера лівобережжя р. Прип'ять – Глибоке та Далеке, в яких дозове навантаження на рослини знаходиться в діапазоні 1–5 мкГр/год, та третій – до якого входять чотири залишкові водойми водойми-охолоджувача ЧАЕС, правобережне заплавне оз. Плютовище та лотичні водні екосистеми, такі як р. Прип'ять та інші, де дозове навантаження варіює від 0,14 до 0,47 мкГр/год, що майже на два порядки нижче за рекомендований пороговий рівень для біоти. Незважаючи на цю істотну різницю у поглинених дозах на рослину, тільки у лотичних системах значення частоти хромосомних аберацій та їх спектр відповідає природним фоновим водоймам. В усіх інших водоймах мутагенний рівень у макрофітів є підвищеним з різним ступенем вираження.

За період досліджень середня за річний вегетаційний період величина частоти цитогенетичних порушень в клітинах кореневих меристем п'яти референсних видів – очереті звичайному *Phragmites australis*, лепешняку великому *Glyceria maxima*, їжачій голівці прямій *Sparganium erectum*, півниках болотних *Iris pseudacorus*, стрілолисті стрілолистому *Sagittaria saggitifolia* з водойм ЧЗВ достовірно перевищує у 1,5–5,5 рази відповідні показники для рослин у водоймах з фоновим рівнем радіонуклідного забруднення. Таким чином, рівень цитогенетичних порушень у кореневих меристемах вищих водних рослин залишається неприродно високим – максимально у 5,5 рази перевищуючи рівень спонтанного мутагенезу для

гідробіонтів і маючи у своєму спектрі високий відсоток тяжких мультиаберантних та мітотичних порушень.

Індекс мультиаберантності – кількість аберацій на одну аберантну клітину, є дуже важливим у розумінні тяжкості порушень цитогенетичного матеріалу клітини. Клітини з декількома різними ушкодженнями хромосом є доволі рідкісним явищем за природного радіаційного фону [4]. Зазвичай, одна аберантна клітина має одну аберацію. Але у референсних рослин водойм ЧЗВ спостерігається дуже високі значення цього показника, що не зменшується, а залишається на стабільно високому рівні протягом тривалого часу, що минув після Чорнобильської катастрофи.

Частота хромосомних аберацій прямо логарифмічно корелює з поглиненою дозою іонізуючого опромінення, а їх спектр, що представлений здебільшого фрагментами, мостами та порушеннями розходження хромосом, лінійно залежить від поглиненої рослиною дози. Основний внесок у спектр цитогенетичних пошкоджень, досліджених видів рослин, вносять тяжкі порушення хромосом – поодинокі та подвійні мости.

На сучасному етапі спостерігається стабільне збільшення частки множинних аберацій в клітинах корневих меристем гелофітів у водоймах ЧЗВ, серед яких зустрічаються порушення, пов'язані з ушкодженням мітотичного апарату, скоріш за все веретеном поділу.

Отримані дані підтверджують стійкий характер цитогенетичної нестабільності популяцій вищих водних рослин ЧЗВ. Перевищення кількості цитогенетичних порушень межі природного мутагенного фону навіть при сучасних низьких дозах опромінення свідчить про необхідність перегляду існуючих сучасних «безпечних» порогів для біоти, що знаходиться в умовах тривалого низько-інтенсивного іонізуючого опромінення.

Роботу виконано за підтримки Національної академії наук України, а також у співробітництві з Державним спеціалізованим підприємством «Екоцентр» Державного агентства України з управління зоною відчуження.

Список літератури:

1. Mothersill Carmela, Desai, Rheaa;Alonzo, Frédéricb. et al. (2025) Development of ecocentric radiation protection: issues,

challenges and approaches, (Review). <https://doi.org/10.1080/09553002.2025.2595632>

2. Gudkov, D. et al. (2012). Aquatic Biota within the Chernobyl Accident Exclusion Zone: Consequences of the Long-Term Radiation Exposure. Radiobiology and Environmental Security (pp. 233-244). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1939-2_20/

3. Andersson P., Garnier-Laplace J., Beresford N.A. et al. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (PROTECT): proposed numerical benchmark values. *J. Environ. Radioactivity*. 2009. Vol. 100. P. 1100-1108.

4. Shevtsova, N.L., Gudkov, D.I., & Kaglyan, A.E. (2017). Peculiarities of dose formation on halophyte from the Chernobyl exclusive zone water bodies (p. 251–252). INR NAN of Ukraine.

5. Shevtsova N.L., Gudkov D.I. (2013) Cytogenetic Damages in the Common Reed *Phragmites australis* in the Water Bodies of the Chernobyl Exclusion Zone, *Hydrobiol. J*, v. 49 pp. 85-98, <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v49.i2.80>