

Х. Д. Ганжа, Д. І. Гудков, В. Г. Кленус, З. О. Широка

Розподіл основних фізико-хімічних форм радіонуклідів чорнобильського походження у водних рослинах оз. Глибоке

(Представлено академіком НАН України В. Д. Романенком)

Досліджено розподіл фізико-хімічних форм радіонуклідів у водних рослин оз. Глибоке, що розташоване на території поблизу Чорнобильської Зони відчуження. Проаналізовано міжвидові особливості нагромадження ^{137}Cs й ^{90}Sr та виявлено відмінності в розподілі фізико-хімічних форм радіонуклідів відповідно до типу живлення досліджуваних рослинних організмів.

Вміст радіонуклідів у водних рослинах значною мірою визначається специфікою радіоактивного забруднення водних об'єктів і прилеглих територій, а також особливостями гідрохімічного режиму водойм, що впливає на форми знаходження радіонуклідів у водоймах і, отже, на ступінь їх доступності для гідробіонтів [1–3]. Важливим об'єктом радіоекологічних досліджень є водні рослини — один із домінуючих за біомасою компонентів прісноводних екосистем, які беруть активну участь у біогеохімічному кругообігу радіонуклідів. Довгоіснуючі ^{90}Sr й ^{137}Cs , будучи хімічними аналогами біогенних елементів кальцію і калію, інтенсивно нагромаджуються водними рослинами та є на сьогодні основними дозоутворювальними радіонуклідами у водоймах, що зазнали впливу аварії на Чорнобильській АЕС. У зв'язку з цим дослідження фізико-хімічних форм знаходження радіонуклідів у водній рослинності має важливе значення для розуміння біогеохімічних процесів міграції та перерозподілу радіоактивних речовин у компонентах прісноводних екосистем.

Авторами даного повідомлення було вивчено розподіл основних фізико-хімічних форм радіонуклідів у водних рослинах оз. Глибоке, розташованого на найбільш забрудненій радіонуклідами ділянці Чорнобильської Зони відчуження (ЧЗВ).

У період 2007–2009 рр. проводили дослідження водних рослин, які є типовими представниками заплавної водойми Полісся [4]: рогіз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.) — гелофіт, багаторічна водна трав'яниста рослина, має довге повзуче кореневище; лепешняк великий (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.) — гелофіт, теж має довге повзуче кореневище, росте вздовж берегів водойм на міліні; глечики жовті (*Nuphar luteum* L.) та латаття сніжно-біле (*Nymphaea candida* L.) — укорінені плейстофіти, багаторічні водні рослини, поширені в літоральній зоні озер та річок з повільною течією. Мають довге, велике кореневище, яке кріпиться до дна водойми; водяний різак алоевидний (*Stratiotes aloides* L.) — неукорінений плейстофіт, багаторічна, занурена до половини або вище рослина з товстим та коротким кореневищем, яке випускає повзучі вкорочені паростки; сальвінія плаваюча (*Salvinia natans* L.) — неукорінений плейстофіт, плаває на поверхні стоячих та повільно текучих вод, іноді утворюючи щільні зарості, які обмежують доступ світла у водойму. Рослина має підводне коріння, що дозволяє отримувати з води поживні речовини; кушир темно-зелений

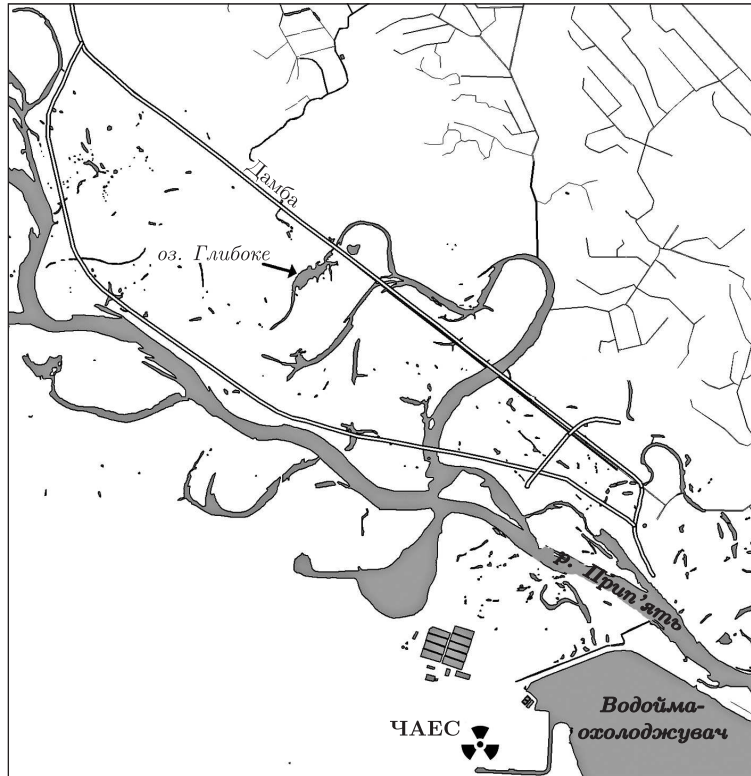


Рис. 1. Карта-схема розташування оз. Глибоке

(*Ceratophyllum demersum* L.) — неукорінений гідатофіт росте виключно в товщі води. Живлення відбувається через листя, коренева система відсутня, у випадку необхідності рослина кріпиться до ґрунту спеціалізованими стеблами; нитчаста водорість (*Cladophora glomerata* (L.) Kutz) — прісноводна водорість, роду зелених водоростей. Слань нитчаста, розгалужена, багатоклітинна, прикріплена до субстрату. У водоймах утворює великі скупчення.

Послідовну екстракцію фізико-хімічних форм радіонуклідів у рослинних препаратах проводили, згідно з методикою [7] різними реагентами за такою схемою: 1) розчинені позаклітинні катіони — дистильованою водою; 2) сорбовані позаклітинні слабкозв'язані катіони — розчином NiCl_2 ; 3) сорбовані позаклітинні катіони — розчином EDTA; 4) внутрішньоклітинні катіони — розчином HNO_3 (1 моль/л); 5) катіони, що зв'язані з органічною речовиною — розчином 35% $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3$; 6) мінеральна фракція — розкладення малорозчинного залишку розчином концентрованої HCl .

Вимірювання ^{137}Cs у пробах проводили на гамма-спектрометрі SBS-30; радіохімічне виділення ^{90}Sr — за оксалатною методикою з подальшим вимірюванням питомої активності на установці малого фону УМФ-2000 його дочірнього продукту — ^{90}Y [2].

Оз. Глибоке розташоване на території північно-західного радіоактивного сліду на відстані 7 км від Чорнобильської АЕС (рис. 1). Озеро знаходиться на території одамбованої ділянки лівобережної заплави р. Прип'ять, є сліпим відгалуженням Красненської стариці та відрізняється високим вмістом радіонуклідів у всіх компонентах екосистеми [6, 7].

Дослідженням фізико-хімічних форм ^{137}Cs у *Typha angustifolia* встановлено незначне нагромадження радіонукліда у водорозчинній, обмінній формах, а також у формі, що зв'я-

зана з органічною речовиною (рис. 2, а). ^{137}Cs переважно нагромаджується в мінеральному залишку та у вигляді катіонів, зв'язаних з органічною речовиною; ^{90}Sr здебільшого — у водорозчинній та обмінних формах.

Аналіз фізико-хімічних форм ^{137}Cs у *Glyceria maxima* показав незначне нагромадження радіонукліда у водорозчинній, обмінній та зв'язаній з органічною речовиною формах, а також у мінеральному залишку (див. рис. 2, б). ^{137}Cs переважно зустрічається у вигляді сорбованих позаклітинних катіонів та внутрішньоклітинних катіонів, ^{90}Sr здебільшого знаходиться в обмінних формах.

Вивчення розподілу фізико-хімічних форм ^{137}Cs у *Nuphar luteum* та *Nymphaea candida* показало мінімальне нагромадження радіонукліда у водорозчинній, обмінній та зв'язаній з органічною речовиною формах, а також у сорбованих позаклітинних катіонах та мінеральному залишку (див. рис. 2, в, г). Понад 50% ^{137}Cs в обох видах знаходиться у вигляді внутрішньоклітинних катіонів. Мінімальне нагромадження ^{90}Sr спостерігається у водорозчинній формі та мінеральному залишку. Переважання ^{90}Sr у глечиках жовтих відзначено у вигляді внутрішньоклітинних катіонів, для латаття сніжно-білого — у сорбованих позаклітинних катіонах.

Результатами аналізу *Stratiotes aloides* доведено, що в цій рослині ^{137}Cs переважно локалізується в мінеральному залишку. Підвищений вміст ^{137}Cs зареєстрований також у водорозчинній та зв'язаній з органічною речовиною формах. В обмінному стані ^{137}Cs нагромаджується у незначних кількостях (див. рис. 2, д). ^{90}Sr переважає в обмінних формах, високий вміст радіонукліда зареєстровано у внутрішньоклітинній формі.

Згідно досліджень фізико-хімічних форм ^{137}Cs у *Salvinia natans*, переважання радіонукліда в формі сорбованих позаклітинних катіонів становить до 32% (див. рис. 2, е). Також значний вміст радіонукліда в мінеральному залишку та у водорозчинній фракції відповідно 24 й 21%. Фізико-хімічні форми ^{90}Sr у сальвінії плаваючої розподілилися подібно до водяного різака алоевидного. Так, найбільший вміст ^{90}Sr зафіксовано в обмінній формі — 44%, а у внутрішньоклітинній формі — 30%.

За результатами аналізу для *Ceratophyllum demersum* відзначено переважне нагромадження ^{90}Sr у зв'язаній з органічною речовиною та сорбованій позаклітинній формах (див. рис. 2, ж). ^{137}Cs здебільшого нагромаджується в формі, що зв'язана з органічною речовиною, та у мінеральному залишку.

Для нитчастих водоростей роду *Cladofora* характерний значний вміст ^{137}Cs у сорбованій позаклітинній слабкозв'язаній, зв'язаній з органічною речовиною формах, а також у мінеральному залишку (див. рис. 2, з). У водорозчинній і обмінних формах вміст ^{137}Cs був мінімальним. ^{90}Sr переважно локалізується у водорозчинній та обмінних формах. Вміст ^{90}Sr у вигляді внутрішньоклітинних та вбудованих катіонів — найменший. Отримані результати свідчать, що в умовах екосистеми оз. Глибоке інтенсивність нагромадження окремих фізико-хімічних форм ^{90}Sr й ^{137}Cs є подібною для всіх досліджених видів, а на розподіл деяких інших форм радіонуклідів впливають видові особливості та переважаючий тип живлення рослинного організму.

Розподіл ^{90}Sr в обмінних та внутрішньоклітинній формах рослин дуже подібний для всіх досліджених видів рослин з відмінністю не більше 20%. ^{137}Cs однаково нагромаджується в усіх видах рослин у сорбованій позаклітинній та зв'язаній з органічною речовиною формах. Міжвидова відмінність нагромадження цього радіонукліда для вказаних форм не перевищує 30%. В усіх досліджуваних видах рослин, крім укорінених плейстофітів, ^{137}Cs переважно локалізується в мінеральному залишку. Таким чином, нами припускається, що

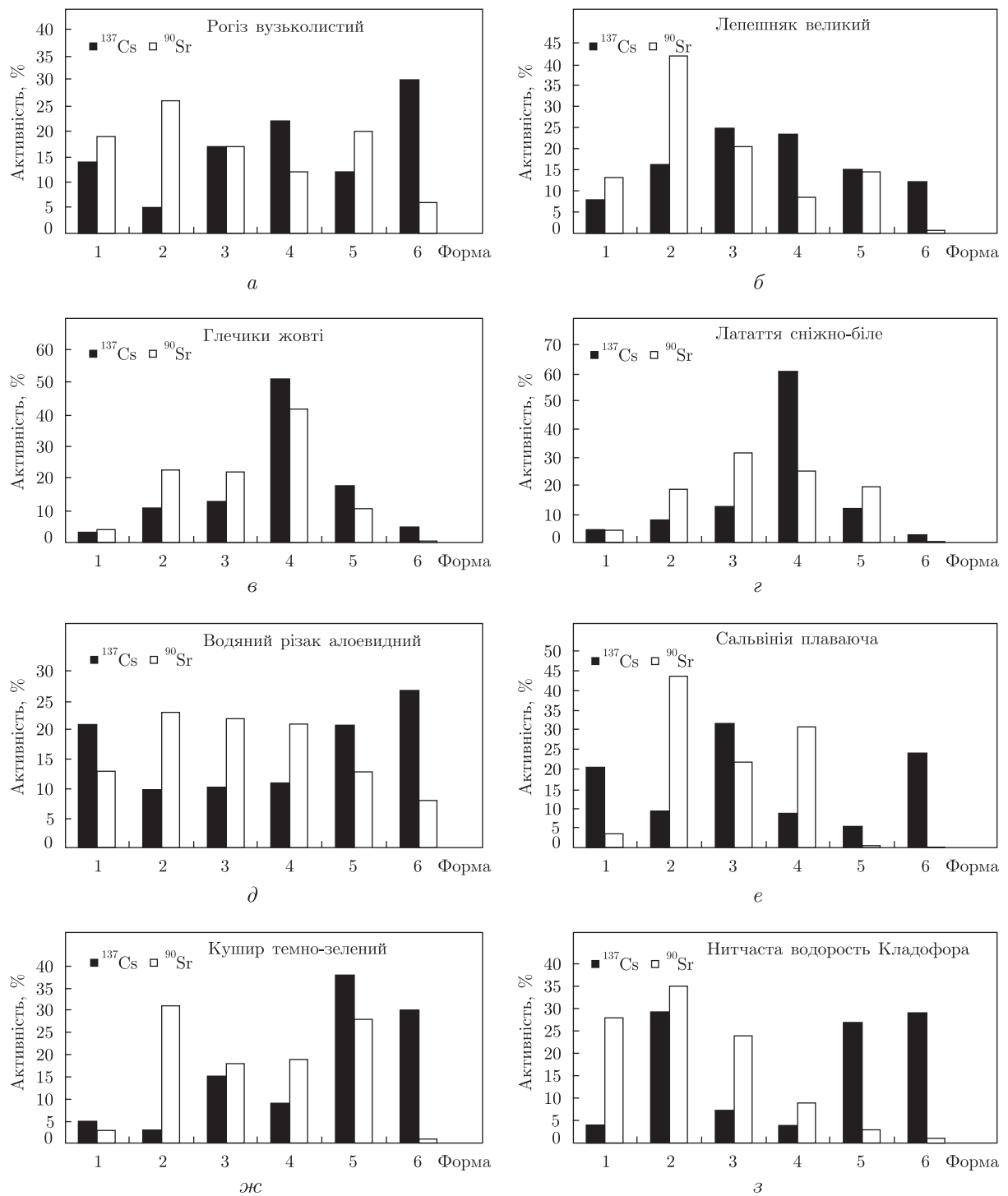


Рис. 2. Розподіл фізико-хімічних форм радіонуклідів у біомасі водних рослин: гелофіти (а, б); плейстофіти: укорінені (в, г), неукорінені (д, е); рослини з некореневим живленням (ж, з). Фізико-хімічні форми: 1 — розчинені позаклітинні катіони; 2 — сорбовані позаклітинні слабкозв'язані катіони; 3 — сорбовані позаклітинні катіони; 4 — внутрішньоклітинні катіони; 5 — катіони, що зв'язані з органічною речовиною; 6 — мінеральний залишок

після відмирання рослин значна частка нагромадженого ^{137}Cs може переходити у донні відклади.

Нами зареєстровано міжвидові відмінності у розподілі фізико-хімічних форм ^{90}Sr й ^{137}Cs . За вірогідну відмінність брали різницю в нагромадженні в 1,5 і більше разів. Видоспецифічність розподілу ^{90}Sr проявляється у водорозчинних та зв'язаних з органічною речовиною формах. В усіх видах рослин ^{137}Cs відрізняється сорбованою позаклітинною, слабкозв'язаною та внутрішньоклітинною формами. Порівняння розподілу радіонуклідів у тканинах *Ceratophyllum demersum* і *Cladofora glomerata* показало, що кушир темно-зелений нагромаджує ^{90}Sr на порядок менше щодо нитчастої водорості. Остання, навпаки на порядок менше нагромаджує ^{90}Sr у формі, що зв'язана з органічною речовиною відносно *Ceratophyllum demersum*. Нагромадження ^{137}Cs *Cladofora glomerata* в обмінній формах істотно більше, ніж у *Ceratophyllum demersum*. Такий розподіл ^{137}Cs може бути пов'язаний із включенням цього нукліда у склад мінеральних зависей. Оз. Глибоке розташоване в частині заплави р. Прип'яті, на території якої в період межені можуть відбуватися денудаційні процеси, а в повінь — змив пилуватої фракції ґрунту з сорбованим ^{137}Cs [8]. У воді озера ці пилуваті частинки з необмінно-сорбованим ^{137}Cs перетворюються на зависі, що є однією з форм міграції радіонукліда у водних екосистемах [9]. Оскільки *Cladofora glomerata* належить до класу нитчастих водоростей і немає покривних тканин, біогенні елементи, включаючи радіонукліди, можуть легко проникати в міжклітинні простори, що не властиве вищим водним рослинам.

Таким чином, у результаті проведених досліджень виявлено відмінності у розподілі фізико-хімічних форм радіонуклідів для рослини з переважаючим кореневим (*Typha angustifolia*, *Glyceria maxima*, *Nuphar luteum*, *Nymphaea candida*, *Stratiotes aloides*, *Salvinia natans*) та некореневим (*Ceratophyllum demersum*, *Cladofora glomerata*) типом живлення. У рослинах з некореневим типом живлення зареєстровано в середньому дев'ятиразове переважання ^{90}Sr у водорозчинній та зв'язаній з органічною речовиною формах. Для інших досліджуваних форм відмінності в розподілі ^{90}Sr не є значними. Кількість ^{137}Cs у сорбованій позаклітинній слабкозв'язаній формі для рослин з некореневим живленням була також майже в 10 разів більше. Для цієї ж групи рослин спостерігається незначне переважання ^{137}Cs у сорбованій позаклітинній, внутрішньоклітинній та зв'язаній з органічною речовиною формах. У водорозчинній формі та мінеральному залишку розподіл ^{137}Cs відрізняється неістотно.

1. Собонович Е. В., Бондаренко Г. М., Кононенко Л. В. та ін. Геохімія техногенних радіонуклідів. — Київ: Наук. думка, 2002. — 333 с.
2. Кузьменко М. І., Романенко В. Д., Деревець В. В., Волкова О. М., Гудков Д. І. та ін. Радіонукліди у водних екосистемах України. Вплив радіонуклідного забруднення на гідробіоти зони відчуження. — Київ: Чорнобильінтерінформ, 2001. — 318 с.
3. Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов. — Свердловск: Ин-т биологии АН СССР, 1963. — 79 с. — (Тр. / АН СССР. Ин-т биологии. Урал. фил.; Вып. 30).
4. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Определитель высших растений Украины. — Киев: Фитосоцицентр, 1999. — 548 с.
5. Vazquez M. D., Lopez J., Carballeira A. Uptake of Heavy Metals to the Extracellular and Intracellular Compartments in Three Species of Aquatic Bryophyte // Ecotoxicology and Environmental Safety. — 1999. — 44, No 1. — P. 12–24.
6. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. — Київ: Атіка, 2006. — 224 с.
7. Гудков Д. И., Деревець В. В., Зуб Л. Н. та ін. Распределение радионуклидов по основным компонентам озерных экосистем зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2005. — 45, № 3. — С. 271–280.

8. *Карта геоморфологического районирования по предрасположенности к радиальной (вертикальной) миграции вещества 10-ти км зоны ЧАЭС* / Б. А. Николаенко, Н. В. Пазинич, Л. А. Мурланова. – Сост. Гос. ком. Украины по геологии и использованию недр. 1 : 25 000. – Киев: Геопрогноз, 1995. – 50 л.
9. *Соботович Э. В., Бондаренко Г. Н., Долин В. В.* Соотношение форм нахождения и миграции радионуклидов аварийных выпадений в речной воде // Чернобыль'88. Докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. – Чернобыль: Глав. науч.-техн. упр-ние ПО “Комбинат”, 1989. – Т. 5, ч. 2. – С. 119–129.

Институт гідробіології НАН України, Київ

Надійшло до редакції 16.07.2010

Ch. D. Ganzha, D. I. Gudkov, V. G. Klenus, Z. O. Shyroka

Distribution of the main physicochemical forms of the Chernobyl origin radionuclides in aquatic plants of the Glyboke lake

The distribution of the physicochemical forms of radionuclides in the aquatic vegetation of the Glyboke lake located on the territory of the inner Chernobyl exclusion zone is studied. The interspecific features of ^{137}Cs and ^{90}Sr accumulation are analyzed, and the differences in the distributions of radionuclide physicochemical forms in accordance with the nutrition type of the studied plant species are determined.