



ГУДКОВ

Дмитро Ігорович –
член-кореспондент НАН
України, завідувач відділу водної
радіоекології Інституту
гідробіології НАН України

ВПЛИВ ТРИВАЛОГО РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ВОДНІ ОРГАНІЗМИ

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 4 жовтня 2023 року**

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних та прикладних досліджень науковців Інституту гідробіології НАН України щодо вивчення особливостей поведінки радіонуклідів та їх фізико-хімічних форм в абіотичних і біотичних компонентах прісноводних екосистем, а також досліджень з оцінювання радіаційно-індукованих цитогенетичних і соматичних порушень у гідробіонтів внаслідок тривалої дії малих доз іонізуючого випромінювання.

Вельмишановний Анатолію Глібовичу!

Вельмишановні члени Президії!

У моїй доповіді про вплив тривалого радіонуклідного забруднення на водні організми йтиметься переважно про роботи, проведені науковцями Інституту гідробіології НАН України на водоймах Чорнобильської зони відчуження (рис. 1). Зокрема, ми досліджували водойми, розташовані на найбільш забруднених ділянках, – це території правобережної та лівобережної заплави річки Прип'ять, а також водойма-охолоджувач Чорнобильської АЕС, яка після 2014 р., коли почалися роботи зі зняття водойми-охолоджувача з експлуатації, зазнала значних змін гідрологічного режиму, насамперед через істотне зниження рівня води.

Основні напрями наших досліджень охоплюють таку наукову проблематику:

- встановлення особливостей накопичення, міграції та перерозподілу головних дозоутворювальних радіонуклідів та їх фізико-хімічних форм в абіотичних і біотичних компонентах водних екосистем за різних гідрохімічних, гідрологічних і гідробіологічних умов водного середовища;
- вивчення процесу формування потужності поглиненої дози, зумовленої зовнішніми та внутрішніми джерелами іонізуючого випромінювання, для основних груп водних організмів;

- дослідження радіаційно-індукованих цитогенетичних та соматичних порушень у гідробіонтів в умовах хронічного впливу підвищених доз радіаційного опромінення.

Слід зазначити, що, незважаючи на досить тривалий час, який уже минув після аварії на Чорнобильській АЕС, водні екосистеми Чорнобильської зони відчуження характеризуються вкрай високим рівнем радіонуклідного забруднення. Зокрема, об'ємна питома активність головних дозоутворювальних радіонуклідів, таких як ^{137}Cs і ^{90}Sr , у воді досліджуваних водойм набагато перевищує визначені українськими нормативами гранично допустимі концентрації для питної води. Особливо це стосується озер Азбучин, Вершина, Далеке, Глибоке.

Якщо порівнювати зазначені вище радіонукліди, можна констатувати, що цезій досить міцно фіксується ґрунтовими частинками та донними відкладами, і його перехід у водну товщу не такий значний, як стронцію. На рис. 2 можна бачити, що вміст ^{90}Sr у досліджуваних водоймах у сотні разів перевищує вміст ^{137}Cs .

Підвищений вміст радіонуклідів у воді як середовищі проживання риб та в об'єктах, якими вони харчуються, зумовлює високі значення питомої активності ^{137}Cs і ^{90}Sr у тілі риб, виловлених у водоймах Чорнобильської зони відчуження. Так, якщо чинні в Україні гігієнічні вимоги встановлюють гранично допустимий рівень питомої активності ^{137}Cs у рибних продуктах харчування 150 Бк/кг, а ^{90}Sr – 35 Бк/кг, то відповідні значення активності цих радіонуклідів у м'ясі риб з водойм Чорнобильської зони можуть сягати 100 000 Бк/кг і вище.

Зрозуміло, що висока питома активність радіонуклідів спричиняє високу потужність поглиненої дози у риб з водойм Чорнобильської зони відчуження. На рис. 3 показано дві пунктирні лінії. Верхня лінія, що відповідає 40 мкГр/год, – це межа допустимої потужності поглиненої дози, встановлена у звітах Міжнародної комісії з радіологічного захисту (International Commission on Radiological Protection – ICRP) у 2008 р. та Наукового комітету ООН з впливу атомної радіації (United Nations Scientific Committee on the Effects

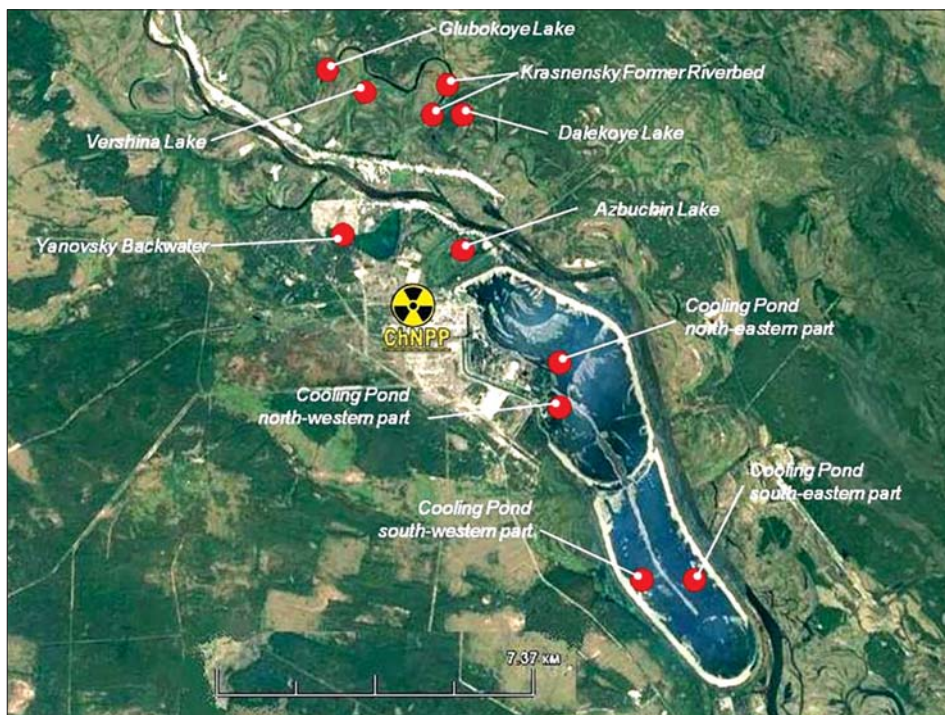


Рис. 1. Головні водні об'єкти та станції відбору проб у Чорнобильській зоні відчуження

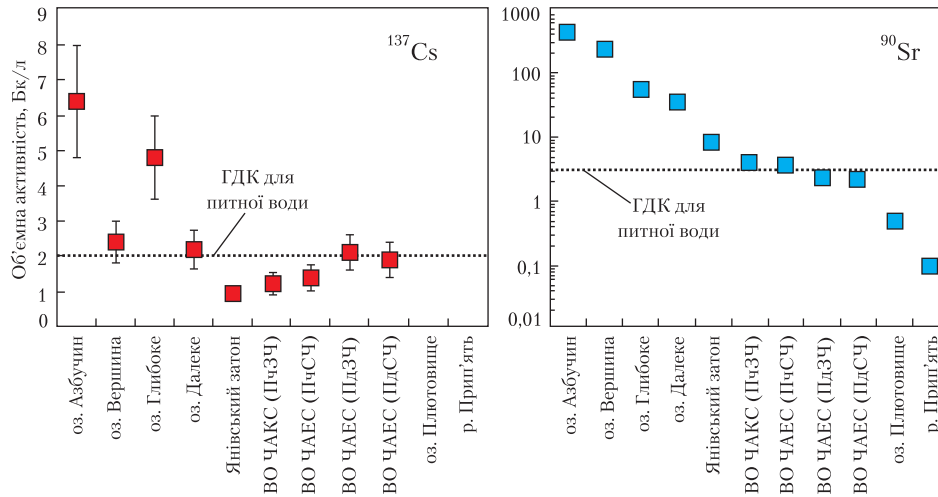
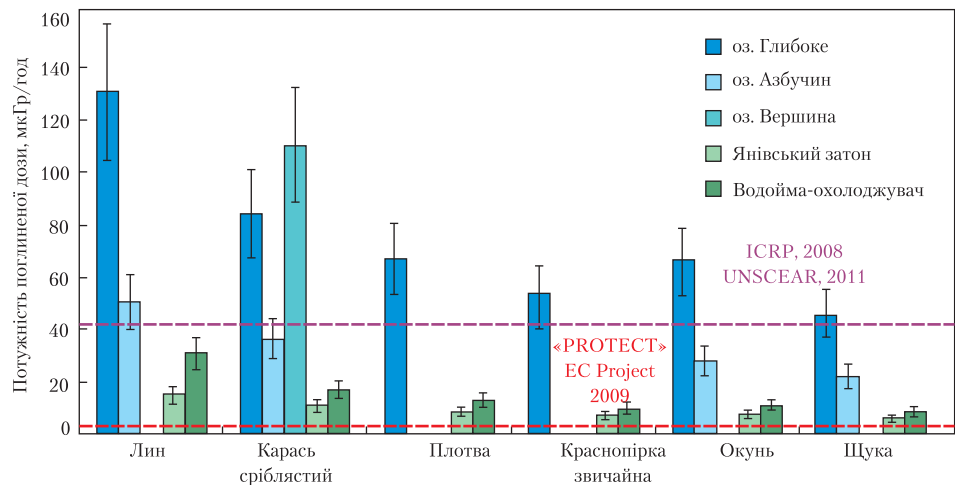


Рис. 2. Середні значення об'ємної активності ^{137}Cs і ^{90}Sr у воді полігонних водойм Чорнобильської зони відчуження. Дані за 2021 р.

Рис. 3. Середня потужність поглиненої дози у риб з водойм Чорнобильської зони відчуження; дані за 2014–2021 рр.



of Atomic Radiation – UNSCEAR) у 2011 р. Нижня лінія (2 мкГр/год) – межа, запропонована в рамках проекту Європейської комісії PROTECT. Як можна бачити, практично для всіх видів риб з водойм Чорнобильської зони дози опромінення вищі за обидві допустимі межі, але найбільшого дозового навантаження зазнають придонні види (лин, карась сріблястий), оскільки вони мешкають поблизу донних відкладів, у яких депоновано значну кількість радіонуклідів.

Тяжкі морфологічні порушення, спричинені радіаційним опроміненням, у риб з водойм зони відчуження трапляються досить

рідко. Протягом 20 років ми брали участь у регулярних моніторингових виловах риб разом зі співробітниками Державного спеціалізованого підприємства «Екоцентр» Державного агентства України з управління зоною відчуження (ДАЗВ України), і за цей період зафіксували лише чотири таких випадки. Зокрема, в р. Прип'ять у 2009 р. вилунали щуку з пухлиною на верхній щелепі, з оз. Азбучин у 2015 р. – лина з великою пухлиною, з водойми-охолоджувача ЧАЕС у 2012 р. і 2023 р. – відповідно, судака з роздвоєнням щелепи і окуня з новоутворенням у хвостовій ділянці. Втім, ще раз хотів би зазначити, що такі явища

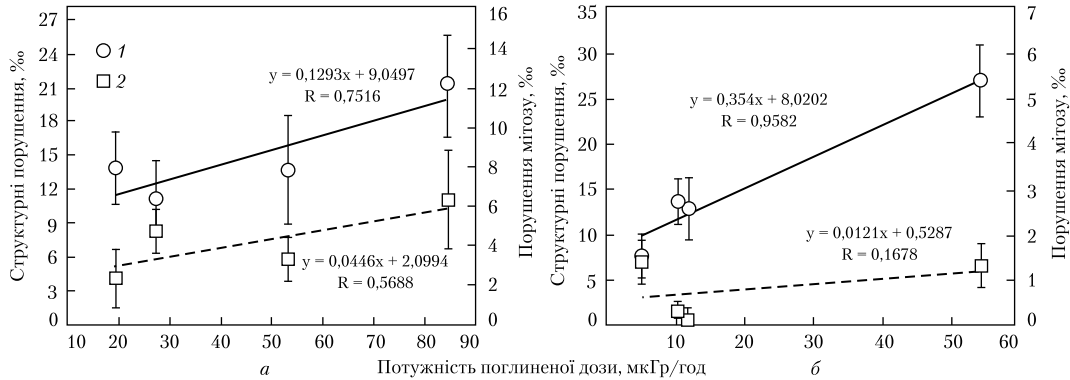
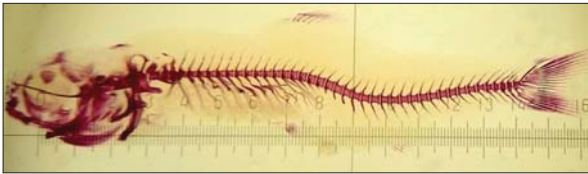
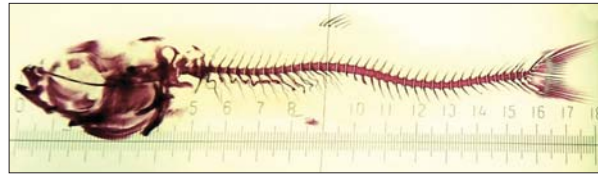


Рис. 4. Залежність частоти морфологічних порушень еритроцитів периферичної крові карася сріблястого (а) і краснопірки звичайної (б) від потужності поглиненої дози. 1 – структурні порушення; 2 – порушення мітозу



а



б

Рис. 5. Викривлення осевого скелета молоді плітки у водоймах Чорнобильської зони відчуження: а – кіфоз; б – лордоз

у Чорнобильській зоні відчуження трапляються дуже рідко.

Проте гематологічні дослідження риб засвідчили, що з підвищенням потужності поглиненої дози опромінення відбуваються певні зміни у лейкоцитарній формулі периферичної крові риб, зокрема зменшення кількості лейкоцитів і підвищення кількості моноцитів, а також змінення співвідношення клітин гранулоцитарного ряду, в тому числі підвищення кількості еозинофілів та нейтрофілів.

Спостерігаються також істотні порушення в еритроцитарній ланці периферичної крові риб. Оскільки еритроцити мають ядро, вони виявляють більшу чутливість до впливу іонізуючого випромінювання, і ми фіксуємо цілий спектр структурних аномалій еритроцитів, таких як деформація ядер, пікноз, коріоліз, формування без'ядерних клітин тощо.

Також спостерігається досить велика кількість еритроцитів з порушеннями проліферації. Ми зафіксували випадки утворення при

поділі еритроцитів клітин з мікроядрами, двої триядерних клітин, клітин з амітозом тощо.

У наших дослідженнях ми показали, що існує залежність частоти і різноманіття морфологічних порушень еритроцитів у периферичній крові риб з різних водойм Чорнобильської зони відчуження від величини дозового навантаження. Наприклад, на рис. 4 наведено залежності частоти структурних порушень і порушень мітозу еритроцитів периферичної крові двох видів риб від потужності поглиненої дози.

Ми зареєстрували також різноманітні аномалії осевого скелета молоді риб у забруднених радіонуклідами водоймах Чорнобильської зони відчуження. Зокрема, у молоді плітки звичайної найпоширенішими дефектами скелета були подвоєння невральних та/або гемальних дуг 2-го і 3-го преуральних хребців, злиття тіл хребців та розгалуження невральних/гемальних дуг. На рис. 5 показано найбільш типові викривлення осевого скелета молоді плітки. Найчастіше аномалії осевого



Рис. 6. Ураження очерету звичайного кліщем *Stenotaronemus phragmitidis* на оз. Далеке



Рис. 7. Супутникові знімки водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС у 2014 р., перед початком спуску води, і наприкінці 2021 р.

скелета ми фіксували у молоді риб, виловлених в озерах Азбучин та Глибоке. У менш забруднених радіонуклідами водоймах Чорнобильської зони, таких як Янівський затон та водойма-охолоджувач ЧАЕС, кількість аномалій осьового скелета молоді риб була меншою, проте водночас зростала кількість порушень на одну особину.

Окремий цикл досліджень присвячено вивченню частоти хромосомних аберацій у клітинах кореневих меристем повітряно-водних рослин, зокрема очерету звичайного. Було показано, що в рослин з Чорнобильської зони відчуження діапазони варіювання та середні значення показника частоти хромосомних аберацій у клітинах кореневих меристем очерету звичайного значно вищі (в 3–4 рази) по-

рівняно з рослинами з контрольних водойм і істотно (у 2–3 рази) перевищують показники спонтанного мутагенезу (зазвичай 2,0–2,5 %), який притаманний водним організмам.

І хоча з плином часу відбувається поступове зниження частоти хромосомних аберацій у кореневих меристемах рослин, у них при цьому збільшується індекс мультиаберагентності клітин, тобто зростає число хромосомних аберацій на одну клітину. Можна стверджувати, що за останні 10 років цей індекс зріс майже вдвічі практично для всіх досліджуваних нами видів вищих водних рослин у Чорнобильській зоні відчуження. При цьому в рослин з річки Прип'ять, де рівень забруднення радіонуклідами значно нижчий, підвищення індексу мультиаберагентності не спостерігалось.

Крім того, водні рослини Чорнобильської зони, які ростуть в умовах хронічного впливу іонізуючого випромінювання, скоріше за все мають знижену паразитарну стійкість. Так, у найбільш забруднених водоймах з тих, що ми досліджували, трапляються ураження очерету звичайного галоутворюючим кліщем (*Stenotaronemus phragmitidis*). Через ці гали в уражених рослин взагалі припиняється процес насіннеутворення, що звичайно має негативний вплив на стан популяції очерету та її репродуктивні показники. Слід зазначити, що в Україні появу цього кліща вперше було зареєстровано саме на найбільш забруднених радіонуклідами озерах Чорнобильської зони відчуження, зокрема на оз. Далеке, де на сьогодні практично вся популяція очерету уражена цим шкідником (рис. 6). Поки що за межами зони ЧАЕС *Stenotaronemus phragmitidis* не спостерігався.

Тепер розглянемо процеси, які відбуваються у водоймі-охолоджувачі Чорнобильської АЕС.

Як відомо, згідно із загальнодержавною програмою зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС і перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему було виконано роботи з виведення водойми-охолоджувача ЧАЕС з експлуатації. Наприкінці 2014 р. почався процес зниження рівня води (за 3–4 роки рівень знизився на 6,5–7,0 м), і на колишній акваторії водойми-охолоджувача утворилася

низка окремих «озер» (рис. 7). На сьогодні рівень води у залишкових «озерах» визначається передусім природним гідрологічним режимом річки Прип'ять.

Результатом спуску води у водоймі-охолоджувачі стала масова загибель гідробіонтів, які ведуть малорухливий спосіб життя, зокрема загинули двостулкові молюски, вищі водяні рослини та деякі інші організми. Крім того, значно підвищився рівень питомої активності ^{90}Sr як у воді водойми-охолоджувача (рис. 8а), так і у вищих водяних рослинах (рис. 8б), молюсках (рис. 8в) (ми мали можливість досліджувати молюсків до 2017 р., після чого вони зникли у водоймі-охолоджувачі) та в тілі різних видів риб (рис. 8г).

Отже, процеси самоочищення непроточних водойм Чорнобильської зони відчуження відбуваються надзвичайно повільно, у зв'язку з чим всі компоненти екосистем більшості заплавлених озер, стариць і затонів і досі характеризуються високими рівнями радіонуклідного забруднення. Це дає підстави розглядати їх як зони високої ймовірності реалізації радіаційних ефектів.

Хронічне радіаційне опромінення водної біоти в зоні відчуження зумовлює реакції, які свідчать про радіаційне ураження досліджених видів рослин і тварин на різних рівнях організації біологічних систем. Особливого значення набувають цитогенетичні та генетичні ефекти, які є наслідком порушень стабільності геному, з високою ймовірністю прояву у збільшенні частоти мутацій, зниженні репродуктивної здатності та у зникненні окремих видів.

Кумулятивні радіобіологічні процеси у водних організмів Чорнобильської зони відчуження можуть тривати впродовж багатьох поколінь, що дозволяє припускати можливість неповного прояву віддалених наслідків опромінення.

На сьогодні є нагальна потреба у вдосконаленні методологічних підходів щодо оцінювання впливів на біоту об'єктів ядерної спадщини та підприємств атомної енергетики. Крім того, необхідно сформулювати рекомендації для розроблення науково-методичної та регулюю-

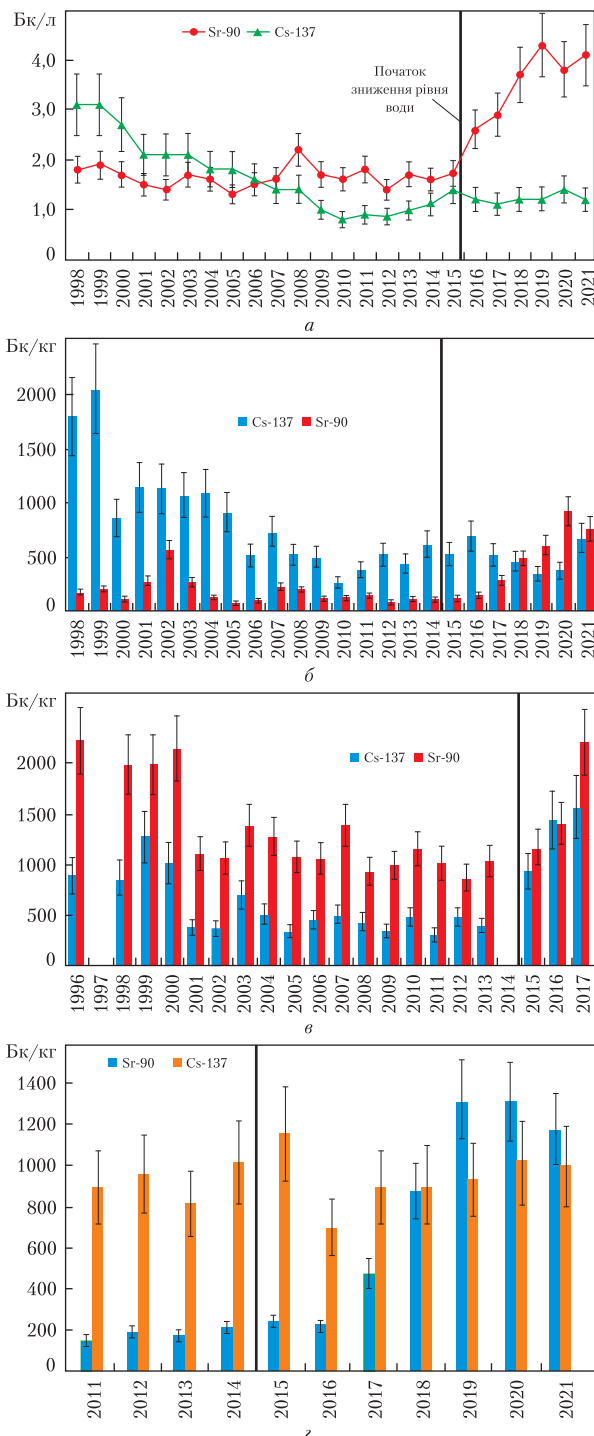


Рис. 8. Динаміка питомої активності радіонуклідів у різних об'єктах екосистеми водойми-охолоджувача ЧАЕС: а – вода; б – водопериця колосиста; в – дрейссена річкова; г – карпопірка

чої документації в галузі радіаційної безпеки довкілля відповідно до вимог законодавства України та основних міжнародних норм безпеки (ОНБ-2011, МАГАТЕ), а також результатів досліджень, проведених у рамках виконання проєктів Євросоюзу.

Зазначені у доповіді дослідження було виконано за підтримки Агенції з охорони довкілля та управління радіоактивними відходами (Велика Британія) (грант № NE/L000393/1), Японського агентства з міжнародного співробітництва (JICA) і Японського науково-техніч-

ного агентства (JST) (грант № JPMJSA1603), Національного фонду досліджень України (проєкт № 2020.02/0264), Національної академії наук України, а також у співробітництві з Державним спеціалізованим підприємством «Екоцентр» і Державним спеціалізованим підприємством «Чорнобильська АЕС» ДАЗВ України та Чорнобильським радіаційно-екологічним біосферним заповідником.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Dmitri I. Gudkov

Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5304-7414>

IMPACT OF LONG-TERM RADIONUCLIDE CONTAMINATION ON AQUATIC ORGANISMS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, October 4, 2023

The report presents the most important results of fundamental and applied research by scientists of the Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine on the peculiarities of the behavior of radionuclides and their physicochemical forms in abiotic and biotic components of freshwater ecosystems, as well as findings from assessment of radiation-induced cytogenetic and somatic disorders in hydrobionts due to long-term exposure to small doses of ionizing radiation.

Cite this article: Gudkov D.I. Impact of long-term radionuclide contamination on aquatic organisms. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (12): 80–86. <https://doi.org/10.15407/visn2023.12.080>