

# МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ РАДІОЄМНІСТЮ У ВОДОЙМИЩІ ПО ЗНИЖЕННЮ ЙОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

За результатами багаторічних радіоекологічних досліджень водних систем в районі Південно-Української АЕС (ПУ АЕС) представлено методологію управління радіоємністю водної екосистеми з метою покращення ситуації у водній системі. Показано результати втілення окремих розділів цієї методології при виконанні робіт зі зниження радіоактивності водних об'єктів ПУ АЕС.

It had introduced a methodology of management of quantity radiation in a water ecosystem with purpose to become better a situation in water system according to results of investigation aqua systems around South-Ukrainian AEPS. It is some results of incarnation some part of this methodology and carry out some operations of lowering radiation in water objects SU AEPS.

## *Вступ*

Радіонукліди можуть знаходитись у воді в складі різних хімічних сполук, у водорозчинній формі чи у вигляді суспензій. Вода у водоймищах відіграє роль сполучної ланки в ланцюзі міграції радіонуклідів до його ґрунту і біологічних компонентів. Як відомо, донні відкладення мають високу сорбційну здатність щодо різних радіонуклідів [4]: концентраційна рівновага між водою і донними відкладеннями встановлюється з коефіцієнтом  $10^2 - 10^3$  [1, 4, 9].

Ця висока поглинальна здатність донних відкладень зумовлена високою кількістю органічних речовин, що в них містяться і перебувають у високодисперсному колоїдному стані. Концентраційна рівновага між водою і донними відкладеннями може зміщуватись. Одним з найважливіших чинників, який впливає на здатність донних відкладень до поглинання, є кислотна реакція (*pH*) води. При зниженні *pH* водоймища у кислий бік вихід абсорбованих радіонуклідів може досягати 50% і більше. Тому, щоб донні відкладення депонували і утримували радіонукліди, *pH* води повинна бути 7-9.

Основну масу живої речовини в природному водоймищі становить планктон і мікробентос. Час

розмноження цих організмів становить від десятків хвилин до десятків годин, тому продуктивність мікроорганізмів є набагато вищою, ніж інших представників біоти.

Значний обсяг біомаси водоймища складає також водна рослинність, що обумовлює велике значення в енергетичному балансі водних екосистем. Вона складає основу харчування для багатьох водних тварин і птахів, відіграє суттєву роль у створенні детрита у водоймищі [1, 5].

Активна сорбція радіонуклідів водною рослинністю веде спочатку до виведення їх з води, а після відмирання рослинності – до поповнення активності донних відкладень [7].

Завдяки швидкій зміні циклів поколінь водних організмів біомаса водоймища відіграє значну роль у транспортуванні радіонуклідів із води в донні відкладення.

Загальна радіоактивність, що переноситься біомасою за сезон з води у донні відкладення може в  $10^2 - 10^3$  разів перевищувати активність у біоті в кожний відрізок часу. Таким чином здійснюється функція очищення біотою води водоймища від радіонуклідів і функція транспортування біотою радіонуклідів із води в донні відкладення.

Важливою діяльністю біоти у водоймищі є регуляція активної реакції води (*pH*). В водоймищах

зі значно розвиненою біомасою активна реакція води нейтральна або слаболужна. Активно функціонуюча біота сприяє створенню донних відкладень і підвищує фіксацію в них сорбованих радіонуклідів.

У процесі своєї життєдіяльності риба водоймищ живає існуючі в воді радіонукліди або як ізотопи біогенних елементів, або як аналоги цих елементів. Ступінь засвоєння розчинених радіоактивних речовин залежить від виду, віку, фізіологічного стану риби, від температури і мінералізації води, концентрації в ній радіонуклідів і їх хімічних аналогів [10, 11].

Отже, після потрапляння радіонуклідів у водоймище і у водотоки відбуваються наступні основні процеси [1, 2, 9]:

- концентрації радіонуклідів у воді швидко зменшуються, а концентрації їх у компонентах водоймища зростають;
- перехід радіонуклідів у біологічні об'єкти; причому швидкість переходу залежить від багатьох фізико-хімічних і біологічних процесів, які відбуваються як у водоймищі, так і в живому організмі;
- стабілізація через деякий час концентрації радіонуклідів в компонентах водної системи. Причому такі радіонукліди, як  $^{35}\text{S}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{71}\text{Ge}$ , залишаються в воді;  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$  – рівномірно розподіляються серед усіх компонентів;  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{90}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  – накопичуються в донних відкладеннях, а  $^{37}\text{P}$ ,  $^{115}\text{Cd}$ ,  $^{144}\text{Cs}$  – переважно накопичуються в гідробіонтах.

Але при різних обставинах, особливо при виникненні аварійних ситуацій, ці процеси можуть змінюватися. Тобто виникає необхідність здійснювати різноманітні заходи, які повинні бути спрямовані на зниження рівня радіоактивного забруднення тієї чи іншої водної екосистеми. Тому вважаємо, що сьогодні потрібно розглянути методологічні підходи щодо управління радіоємністю водоймища з метою зменшення активності радіонуклідів у водній системі.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження вмісту радіонуклідів у водних компонентах та оцінка радіаційної ситуації в водній системі району ПУ АЕС проводилися в науково-дослідній лабораторії “Ларані” та в лабораторії зовнішньої дозиметрії ПУ АЕС [6, 7, 9]. Узагальнення матеріалів досліджень проведено в науково-методичному центрі екобезпеки МДГУ ім. Петра Могили [1, 2, 3, 11, 12]. Методи дослідження: радіометричні, спектрометричні та математико-статистичні методи.

### Результати досліджень та їх обговорення

Одним з більш доступних підходів до оцінки радіаційної ситуації у водоймищі є метод, за яким в якості показників радіоекологічної ситуації у водоймищі пропонується використовувати чинники радіоємності [2, 3, 4]. Загальну активність радіонуклідів  $A$  (Бк) у водоймищі в умовах рівноваги між водою і мулом визначають за формулою

$$A = C \cdot S (H + kh),$$

де  $C$  – питома активність радіонуклідів у воді, Бк/л;  $S$  – площа поверхні (дна) водоймища, м<sup>2</sup>;  $H$  – глибина водоймища, м;  $k$  – коефіцієнт накопичення радіонуклідів верхнім шаром донних відкладень л/кг;  $h$  – товщина шару відкладень, м.

Частина активності радіонуклідів, що надійшли у водоймище і містяться, в основному, у донних відкладеннях, визначається за формулою

(1)

$$F_{\text{біоти}} = \frac{PKH}{H + kh}$$

При значному вмісті біоти в водоймищі до 90% загальної активності радіонуклідів, що надійшли до водоймища, потрапляє до біомаси біоти.

Чинник радіоємності водоймища з біотичною складовою буде визначатися за формулою

(2)

де  $P$  – кількість біоти в одиниці об'єму води, кг/м<sup>3</sup>;  $K$  – середній коефіцієнт накопичення радіонуклідів біотою, л/кг.

У ставках-охолоджувачах АЕС через наявність постійної протягом року плюсової температури води, а звідси і достатньої кількості їжі, кількість риби в цих водоймах досягає десятків тисяч тонн.

Тому при оцінці радіаційної ситуації через показники радіоємності в ставках-охолоджувачах АЕС необхідно враховувати чинник радіоємності рибної складової. Загальну активність  $A$  (Бк) радіонукліду у водоймищі можна визначити:

$$A = C \cdot S \cdot (H + kh),$$

(3)

де  $C$  – питома активність радіонуклідів у воді, Бк/л;  $S$  – площа поверхні водоймища, м<sup>2</sup>;  $H$  – глибина водоймища, м;  $k$  – коефіцієнт накопичення радіонуклідів верхнім шаром донних відкладень л/кг;  $h$  – товщина шару, м.

Звідси чинник радіємності рибної складової визначається за формулою

$$F_C = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) , \quad (4)$$

де  $P_2$  – кількість риби в одиниці об'єму води, кг/м<sup>3</sup>;  $K_2$  – коефіцієнт накопичення радіонуклідів рибою, л/кг.

Чинник радіємності водної системи знаходиться за формулою

(5)

Визначені чинники радіємності є функцією змінних показників ( $k, h, P, H, K, P_2, K_2$ ), які залежать від біологічних (вид біоти, її кількість і різноманітність, стадія розвитку і вегетаційний період, сорбційні властивості), хімічних ( $pH$  води, мінеральний склад) та фізичних (температура води, прозорість, вміст кисню та ін.), гідрологічних (коливання обсягу, переміщення водних шарів, наявність течії, розмір випаровування і поповнення води, опади) та екологічних (надходження шкідливих речовин, використання водоймища для господарських потреб, т.ін.) факторів.

Так, проведена наприкінці 90-х років оцінка радіаційної ситуації водної екосистеми р. Південний Буг, від м. Первомайська до м. Миколаєва [1, 3, 8], показала, що через різницю коефіцієнтів накопичення <sup>137</sup>Cs біотою, донними відкладеннями

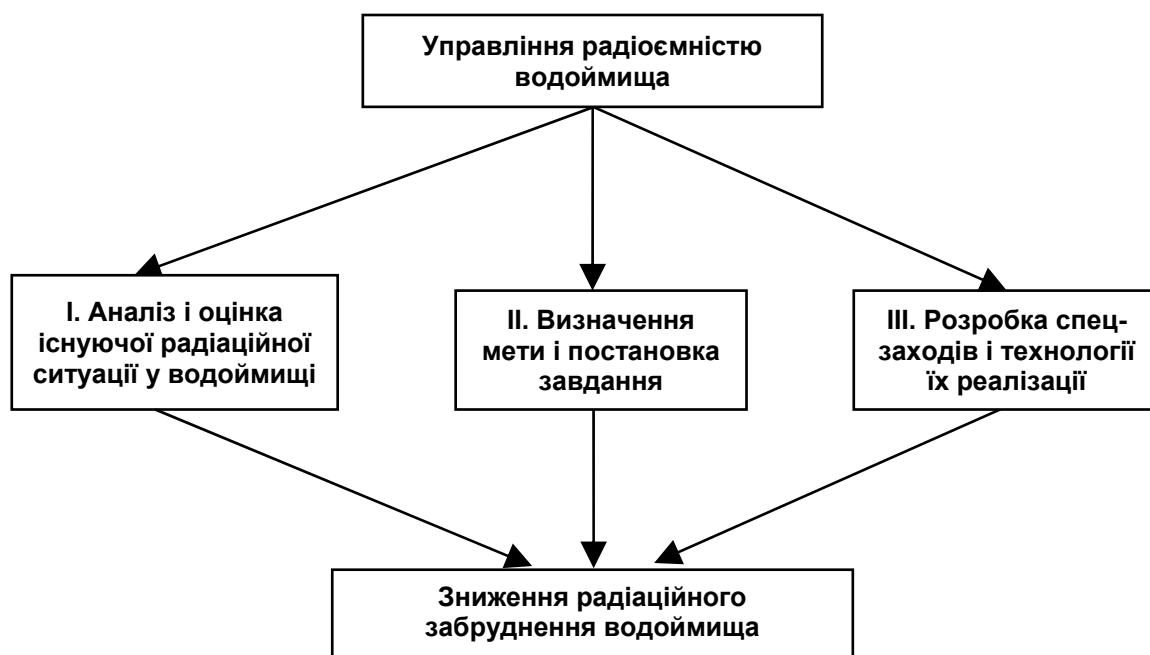
та рибними організмами на ділянках річки, через вплив вищенаведених факторів виникла розбіжність у значеннях чинників радіємності водної екосистеми  $F_C$  для <sup>137</sup>Cs: в районі м. Первомайська – 0,89; в районі м. Миколаєва – 0,94. Ще більшою виявилася різниця без врахування біотичної складової, тобто для зимового періоду: в районі м. Первомайська – 0,73; в районі м. Миколаєва – 0,81 [2, 11].

Таким чином, при оцінці радіаційної ситуації в водоймищах через чинники радіємності потрібно враховувати усі зазначені фактори і, при можливості, підтримувати основні біоекологічні характеристики водоймища на своєму початковому рівні. А використовуючи міграційні особливості радіонуклідів у водному середовищі та знаючи математичні параметри розподілу радіоактивних речовин у водних компонентах, на практиці можна задіяти водоймище у дезактиваційних заходах (контрзаходах), які спрямовані на покращення радіаційної ситуації в водній системі регіону.

З цією метою розроблено методологію управління радіємністю водоймища (водної системи), яка дає змогу регулювати загальну кількість радіонуклідів і їх розподіл у водоймищі, а також депонування радіонуклідів у водоймищі в залежності від кількості їх надходження до останнього.

Управління радіємністю водоймища включає три розділи (блоки) (рисунок).

Перший розділ: аналіз і оцінка існуючої радіаційної ситуації у водоймищі. Цей розділ включає заходи, виконання яких дозволить мати достатньо повну характеристику існуючої



Блок-схема управління радіємністю водоймища

радіаційно-хімічно-біологічної і гідрологічної ситуації у водоймищі (водній системі), а також визначити шляхи надходження до водоймища радіоактивних і інших шкідливих речовин.

Основні заходи за першим розділом передбачають визначення:

- радіонуклідного і хімічного складу води і водних компонентів;
- обсягів і видів водних компонентів (в т.ч. рибних організмів) та їх співвідношення;
- гідрологічних умов і гідродинамічних процесів (течії, випаровування води і поповнення водоймища);
- природно-кліматичних і метеоумов (опадів, температура, тиск, тривалість періодів року);
- шляхів надходження шкідливих речовин (природний стік, промислові скиди);
- розмірів господарського використання водоймища (водної системи).

Другий розділ: визначення мети і постановка завдання щодо покращення радіаційної обстановки. Після проведення аналізу та враховуючи всі отримані за першим етапом дані, а також існуючі можливості, встановлюється перелік завдань для здійснення визначеної мети:

- зменшення ступеня радіонуклідного забруднення води;
- тимчасове затримання радіонуклідів у водоймищі;
- тривале захоронення радіоактивних речовин у водоймищі;
- виведення радіонуклідів з водоймища (водної системи);
- виведення радіонуклідів (чи одного радіонукліду) з одного з компонентів водоймища;
- перенесення радіонуклідів (чи одного радіонукліду) з однієї водойми до іншої;
- здійснення завдань разом (одночасно) чи послідовно.

Третій розділ: розробка спецзаходів і технологій їх реалізації. Розробка спецзаходів і технологія їх реалізації включають детальне обґрунтування і підготовку як в науково-технічній частині, так і в економічному напрямку. Спецзаходи можуть реалізовуватися як окремо, так і в комплексі. Нижче пропонуються деякі основні спецзаходи:

- збільшення обсягу біомаси водоймища при перенесенні до нього радіоактивності з прилеглої забрудненої території;
- підвищення ступеня депонування радіонуклідів мулами через зміни гідрологічного режиму у водоймищі;
- збільшення розміру депонування радіонуклідів макрофітами шляхом вирощування у водоймищі їх нових видів;
- виведення радіонуклідів з водоймища

шляхом його “продувки”;

- виведення радіонуклідів з водоймища з мулами за допомогою “мулочерпавки”;
- виведення радіонуклідів з водоймища з водоростями з подальшою переробкою і утилізацією останніх;
- виведення деяких радіонуклідів з водоймища з рибою, яка харчується водною рослинністю;
- зменшення радіаційного забруднення водоймища шляхом багаторазового його промивання талою чи дощовою водою;
- виведення радіонуклідів з водоймища (або з його частини) з водою, з гідробіонтами або з мулом, тимчасове його осушення;
- зменшення ступеня радіаційного забруднення водної системи шляхом припинення його гідрозв'язку з високозабрудненим водоймищем.

Деякі з вищевказаних спецзаходів були реалізовані або реалізуються сьогодні в районі Південно-Української АЕС. Так, з 1994 р. йде “продувка” ставка-охолоджувача АЕС: постійно зі ш в и д к і с т ю 2 м<sup>3</sup>/сек вода з Ташлицького водоймища скидається в р. Південний Буг і одночасно здійснюється поповнення ставка-охолоджувача АЕС водою р. Південний Буг. За рахунок цього процесу рівні мінералізації і радіоактивності води Ташлицького водоймища значно зменшуються [1-3].

Крім цього, при необхідності періодично один з трьох ставків біоочищення промислово-побутових скидів ПУ АЕС повністю осушується для проведення робіт по виведенню з нього з мулом радіоактивних і мінеральних речовин, а також для оновлення його проектних гідрологічних характеристик [9].

У 1989-91 рр. проведена науково-практична робота за програмою “Виведення мінеральних і радіоактивних речовин зі ставка-охолоджувача АЕС з використанням водоростей (*Cladophora fracta* і *Potamogeton natans*)”. Результати досліджень показали, що місцева водна рослинність накопичує присутні у воді ставка-охолоджувача станційні радіонукліди (<sup>3</sup>H, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr) і при застосуванні існуючих технологій вирощування, переробки і утилізації водоростей можна проводити очищення водоймища від радіоактивних і мінеральних речовин [5, 9, 10].

Отже, розроблена методологія управління радіоємністю водоймища з метою покращення радіаційної ситуації у водній екосистемі на практиці показала свою дієздатність.

Таким чином, запропоновані методологічні підходи до засобів і технологій з покращення радіаційної ситуації в тій чи іншій водній системі показують, що практично для будь-яких ситуацій можна оцінити чинники радіоємності окремих водоймищ і водних екосистем, розрахувати їх стаціонарні і динамічні параметри, а також активність радіонуклідів у воді і в водних

## Література

1. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Принципи екологічного нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище // Зб. наук. праць МДУ "IV Регіональні біологічні читання". – Миколаїв: МДУ ім. Сухомлинського. – Вип. 4. – 2004. – С. 111-115.
2. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Радіємність водоймищ, пов'язаних з роботою ПУ АЕС // Матеріали ІХ наук.-мет. конф. "Людина та навколишнє середовище". – Одеса: Видавн. ОДАХ, 2004. – С. 131.
3. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Радіємність Південного Бугу в світі проблеми екологічного нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище // Матеріали міжвуз. конференції "Екологічні проблеми природокористування та охорони довкілля", МДГУ, Миколаїв, 2005.
4. Кутлахмедов Ю.О. та ін. Основи радіоекології: Навч. посіб. / Ю.О. Кутлахмедов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер; За ред. В.П. Зотова. – К.: Вища шк., 2003. – 319 с.
5. Томилині Ю.А. Использование водорослей для очистки пруда-охладителя ЮУ АЭС от радиоактивных веществ // Зб. наукових праць Інституту біофізики МОЗ СРСР, 1991.
6. Томілін Ю.А. Основні напрямки радіоекологічних досліджень на півдні України // Матеріали наук. семінару м/н союзу радіоекологів (IUR) "Радіоекологія: успіхи і перспективи", 1994, Севастополь. – С. 39-40.
7. Томілін Ю.А. Радиоэкологическая ситуация в водной системе района ЮУ АЭС // Матеріали ІІ з'їзду радіобіологів України. – К., 1995.
8. Томілін Ю.А. Радіоекологічні аспекти півдня України // Матеріали ІІІ з'їзду з радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія). – К., 2003.
9. Томілін Ю.А., Винцукевич Н.В. Математические модели распределения стронция-90, марганца-54 и рутения-106 в илах пруда-охладителя АЭС // Журнал "Атомная энергия". – 1987. – № 63 – С. 114-118.
10. Томілін Ю.А., Винцукевич Н.В. Накопление радионуклидов рыбой в начальный период радиоактивного загрязнения речной системы // Журнал "Экология". – М.: Наука, 1990. – № 5.
11. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Динаміка накопичення радіоактивних речовин різними видами риб Південно-Бузького басейну // Природничий альманах. Біологічні науки, вип. 4: Зб. наукових праць. – Херсон: ХДУ, Інститут природознавства – "Персей". 2004. – С. 131-138.
12. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н.Марья, А.С.Зыковой. – М., 1980.