

ЗБІЛЬШЕННЯ РАДІОЄМНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВОДОЙМ АЕС

Макарова О.В., Григор'єва Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, корп. № 1, 54000, м. Миколаїв
elenamakarova79@ukr.net, kafecobezpeka@ukr.net

Визначено коефіцієнти накопичення ^{137}Cs водними рослинами (*Cladophora fracta*, *Potamogeton natans*) і донними відкладеннями ставка-охолоджувача Южно-Української (ЮУ) АЕС. Визначено радіємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Встановлено зміни радіємності залежно від зміни хімічного складу ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Обґрунтовано використання вищих водних рослин в управлінні радіємністю технологічних водойм АЕС. Очищення стоків у біоставках є завершуючим етапом після первинного механічного і фізико-хімічного очищення, який остаточно формує якість води, що скидається в природні водні об'єкти або на рельєф. Роль біоставків в очищенні скидних вод АЕС є ще більш вагомим, бо саме за їхньою допомогою скидні води можна піддати повній або частковій дезактивації. Тому здатність біоти ставків-біоочищення АЕС до накопичення і утримання радіонуклідів відіграє важливу роль у підтриманні радіоекологічної безпеки прилеглої до АЕС водної системи. Радіємністю водоймища можна управляти за допомогою водних рослин, що сприяє вирішенню важливої проблеми безпеки ставків-охолоджувачів АЕС. Як відомо, радіонукліди у водоймищах перебувають переважно у вигляді розчинів солей, тому забезпечення і підтримання достатньої здатності ставків-охолоджувачів АЕС щодо утримання ними радіонуклідів виступає важливою задачею не лише радіаційної, а і технологічної безпеки АЕС. Через те, що водорості у водоймищах виконують подвійну роль: з одного боку, є активними агентами самоочищення, з іншого – беруть участь в процесах біологічного забруднення водойми. Тому у технології біоочищення ставків-охолоджувачів за допомогою макрофітів потрібно передбачити чіткий режим і умови вирощування водоростей (температура, хімічний склад води, мінералізація і т. ін.). Потрібно також шукати можливість утилізації вирощуваних водоростей для отримання біогазу. *Ключові слова:* цезій-137, водні рослини, радіємність, ставок-охолоджувач АЕС.

Radiocapacity increase of technological reservoirs of AEPS. Makarova O., Grygorieva L.

The ^{137}Cs coefficients accumulations by water plants (*Cladophora of fracta*, *Potamogeton of natans*) and ground sedimentations of pond-cooler of South Ukraine (SU) Electric power station (SU AEPS) are certain. The radiocapacity of SU AEPS pond-cooler is certain. The changes of radiocapacity are set depending on the change of chemical composition of SU AEPS pond-cooler. The use of higher aquatic plants is reasonable in the management of AEPS technological reservoirs a radiocapacity. Wastewater treatment in biological ponds is the final stage after the initial mechanical and physico-chemical treatment, which finally forms the quality of the water discharged into natural water bodies or relief. The role of biological ponds in the treatment of waste water from nuclear power plants is even more significant, since it is with their help that the waste water can be subjected to complete or partial decontamination. Therefore, the ability of biota of bioremediation ponds of nuclear power plants to accumulate and the content of radionuclides plays an important role in maintaining the radioecological safety of the water system adjacent to the nuclear power plant. The radioemicity of the reservoir can be controlled with the help of water plants, contributes to the solution of the important safety problem of nuclear cooling ponds. As you know, radionuclides in reservoirs are predominantly in the form of salt solutions, therefore, ensuring and maintaining the sufficient ability of cooling ponds of nuclear power plants to contain radionuclides is an important task not only for radiation but also for the technological safety of nuclear power plants. Since algae in reservoirs play a dual role: on the one hand, they are active agents of self-purification, on the other hand, they participate in the processes of biological pollution of a reservoir. Therefore, in the technology of biological treatment of cooling ponds using macrophytes, it is necessary to provide a clear regime and conditions for the growth of algae (temperature, chemical composition of water, salinity, etc.). It is also necessary to look for the possibility of utilizing cultivated algae to produce biogas. *Key words:* cesium-137, aquatic plants, radio ember, pond-cooler of nuclear power plants. *Key words:* caesium-137, water plants, radiocapacity, pond-cooler of AEPS.

Постановка проблеми

Біологічні методи очищення скидних вод атомних електростанцій від радіоактивних та хімічних речовин і сполук завдяки використанню ставків-біоочищення (біоставків) активно використовуються, бо біохімічне і фізіологічне самоочищення водоймищ у природних умовах за допомогою сукупності живих організмів, що населяють водоймище, є ефективним і економічно виправданим.

Очищення стоків у біоставках є завершуючим етапом після первинного механічного і фізико-хімічного очищення, який остаточно формує якість води, що

скидається в природні водні об'єкти або на рельєф. Роль біоставків в очищенні скидних вод АЕС є ще більш вагомим, бо саме за їхньою допомогою скидні води можна піддати повній або частковій дезактивації. Тому здатність біоти ставків-біоочищення АЕС до накопичення і утримання радіонуклідів відіграє важливу роль у підтриманні радіоекологічної безпеки прилеглої до АЕС водної системи [3; 4].

Інтегральною характеристикою здатності водойми міцно утримувати радіонукліди є її радіємність [2; 3], як максимальна кількість радіонуклідів, що може міститися у певній екосистемі, не порушуючи

її основних трофічних властивостей. *Метою роботи* є дослідження радіоємності ставку-охолоджувачу Южноукраїнської (ЮУ) АЕС, його водяних компонент задля встановлення можливості дезактивації таких водойм за допомогою біоти.

Методологічне значення

Матеріалами досліджень виступали результати багаторічних радіоекологічних і гідробіологічних досліджень у поверхневих водоймах району ЮУ АЕС, виконаних авторами [1], та матеріали інших установ, основні результати яких опубліковані у роботах [5].

Радіоємність водоймища А (Бк) за певним радіонуклідом визначали за формулою [3]:

$$A = C \cdot S \cdot (H + k \cdot h + P \cdot K \cdot H),$$

де C – об'ємна активність радіонукліду у воді, Бк/л; S – площа поверхні (днища) водоймища, м²; H – глибина водоймища, м; k – коефіцієнт накопичення радіонукліду верхнім шаром донних відкладень; h – товщина шару відкладень, м; P – активність біоти в одиниці об'єму води, кг/м³; K – середній коефіцієнт накопичення радіонуклідів.

Дослідження радіоємності ставку-охолоджувачу здійснено за ¹³⁷Cs, як хімічного аналогу мікроелементу калію, поглинання якого відображує якість мінерального живлення рослин, що є основним накопичувачем та транспортером радіонуклідів у донні відкладення – основного депо їхнього захоронення і одного з головних компонент водоймища, що відповідають за радіоємність останнього.

Викладення основного матеріалу

Схему гідрологічного зв'язку водоймищ району ЮУ АЕС наведено на рис. 1. Формування радіаційного стану ставка-охолоджувача АЕС відбувається:

через надходження радіонуклідів при підживленні водою з Південного Бугу; за рахунок радіонуклідів, які присутні у воді промислово-дощової каналізації і в рідких скидах з очисних споруд господарсько-фекальної каналізації (ГФК) АЕС; а також у воді, що повертається після охолодження конденсаторів турбін, та в дощовій і талій воді, яка надходить з прилеглої території.

Аналіз хімічного складу ставку-охолоджувачу ЮУ АЕС за середньомісячними даними досліджень у районі плотини, глибинного водозабору, відвідних каналів, зони перемішування вод ставка-охолоджувача, верхів'я водосховища свідчив, що водневий показник (pH) у середньому складав $8,65 \pm 2,46$ од. Вода ставка-охолоджувача відноситься до високо-мінералізованих жорстких вод середньої окислюваності, сульфатного класу, натрієво-калієвої групи. Загальна жорсткість води складала $8,76 \pm 2,14$ мг-екв/дм³. За роки досліджень відмічено зниження концентрацій солей натрію і калію, сульфатів, хлоридів, кальцію і, як наслідок, мінералізації за сухим залишком від 1116 мг/дм³ до 1082 мг/дм³ у 2017 р.

За результатами досліджень вмісту ¹³⁷Cs у мулах ставка-охолоджувача ЮУ АЕС до 1997 р. особливої різниці між вмістом ¹³⁷Cs у мулах на глибині 15–20 м та у прибережній частині (0,3–0,5 м) ставка-охолоджувача відмічено не було, і питома активність ¹³⁷Cs в них складала 10–15 Бк/кг. Пізніше вміст ¹³⁷Cs на глибині водоймища став у 3–4 рази вищим, ніж у прибережній частині. Однією з причин цього явища було підвищення в цей період мінералізації води у ставку (від 1300 до 2000 мг/л), отже – підвищення вмісту калію, який і став виштовхувати радіоцезій з нестійких сорбційних сполук у донних відкладен-

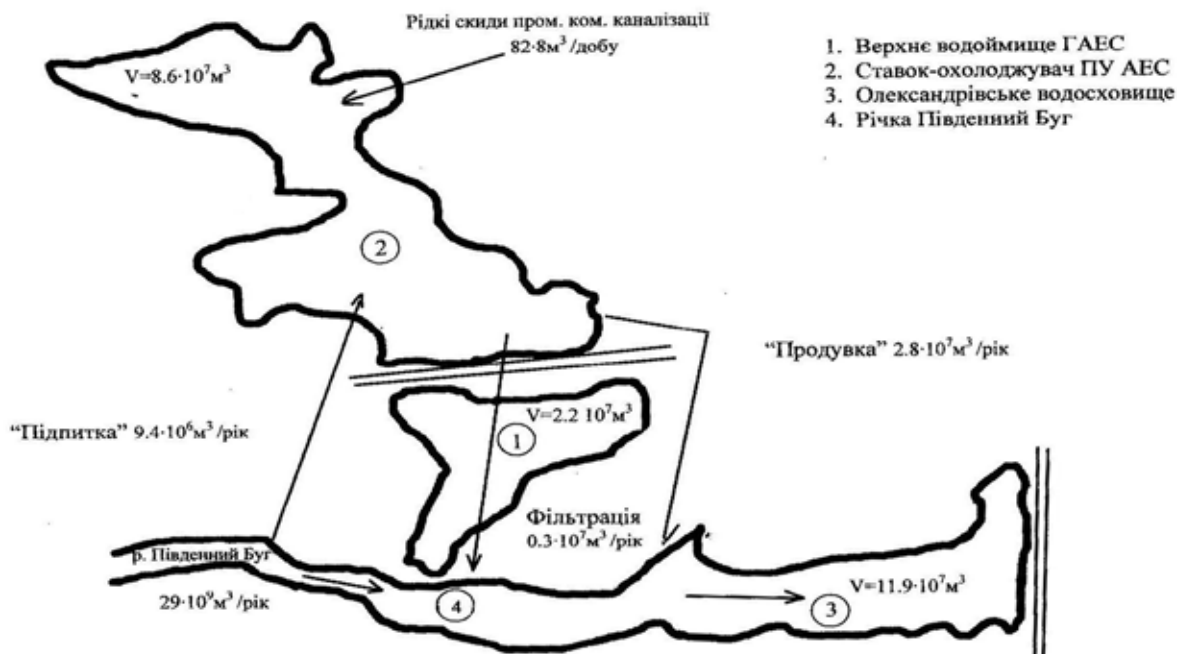


Рис. 1. Схема гідрологічного зв'язку водоймищ району ЮУ АЕС

нях. В результаті висока солоність води ставка-охолоджувача не сприяла тривалому затриманню ^{137}Cs в ньому, і призводила до винесення останнього до Південного Бугу з “продувними” водами.

Біота ставка-охолоджувача представлена водяними рослинами: нитчастими водоростями (*Cladophora fracta*) і рдестом плаваючим (*Potamogeton natans*). Зміни активності радіонуклідів у водоростях і рдесті відповідала змінам активності у воді. Наприкінці 1986 р. активність ^{137}Cs почала зростати; у 1988-091 роках вміст ^{137}Cs досяг рівня 18–120 Бк/кг. З 1995 року, як і в донних відкладеннях, вміст ^{137}Cs зменшився до 25–50 Бк/кг. Динаміку вмісту ^{137}Cs у цих водяних рослинах, відібраних з прибережної частини ставка поблизу греблі, за період 1985–2018 рр. наведено на рис. 2, 3.

Як видно з рисунків, за період 1985–2018 рр. відбулися певні зміни у кількості нагромадження радіоцезію водяними рослинами ставка-охолоджувача ЮУ АЕС. Так, перші відчутні зміни стосувалися періоду 1986–87 рр., пізніше також періодично спостерігали коливання у рівнях накопичення ^{137}Cs водяними рослинами. Вважаємо, що причина цього явища пов’язана з постійними змінами у хімічному складі водоймища.

Розраховані коефіцієнти накопичення радіонуклідів компонентами ставка-охолоджувача АЕС для кожного року спостережень були, в середньому, на рівні: для донних відкладень $657 \pm 84 \text{ Бк/кг} / \text{Бк/л}$, для водоростей (*Cladophora fracta*) – $260 \pm 50 \text{ Бк/кг} / \text{Бк/л}$.

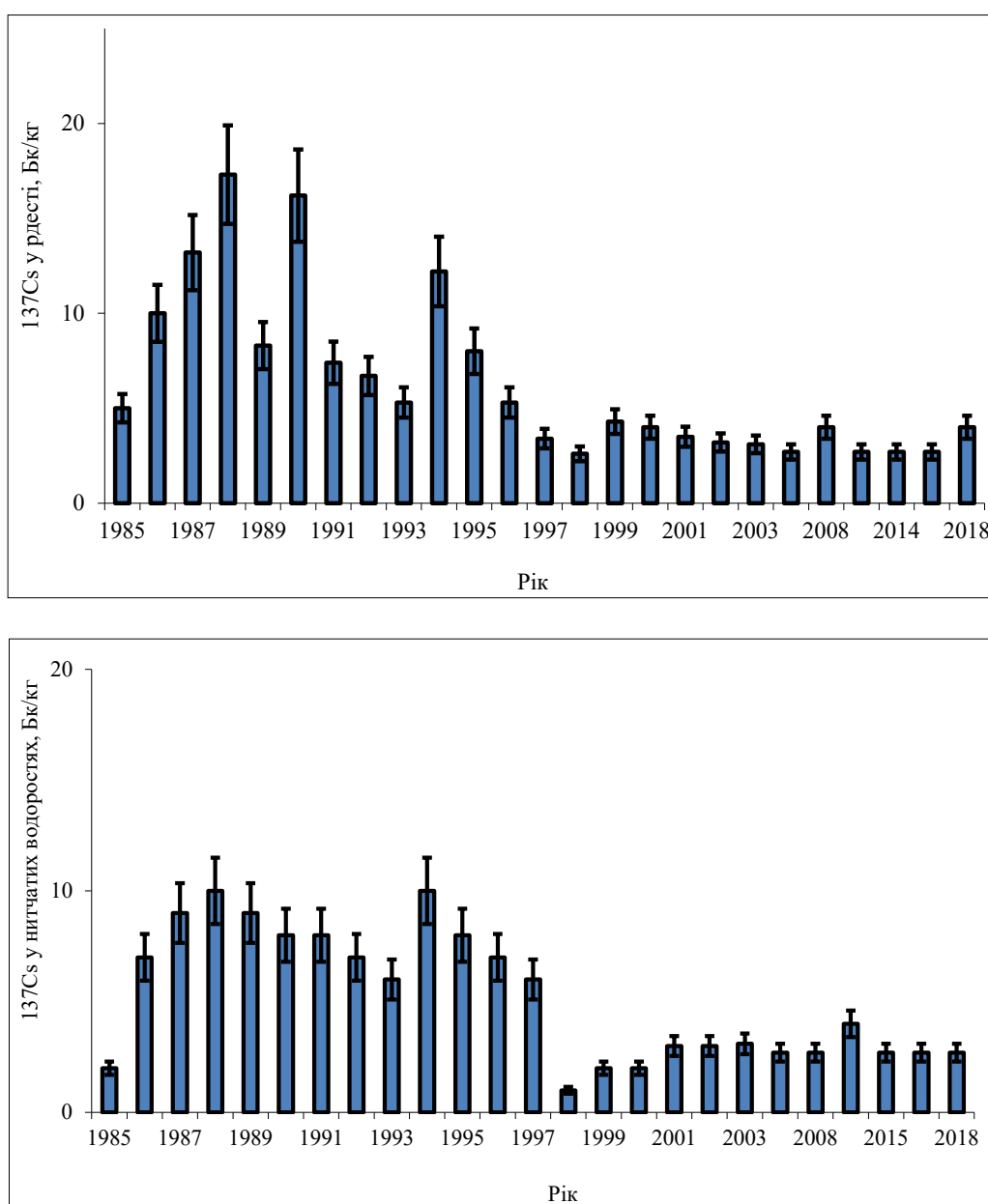


Рис. 2. Динаміка вмісту ^{137}Cs у рдесті *Potamogeton natans* (А), у нитчастих водоростях *Cladophora fracta* (Б) зі ставка-охолоджувача ЮУ АЕС

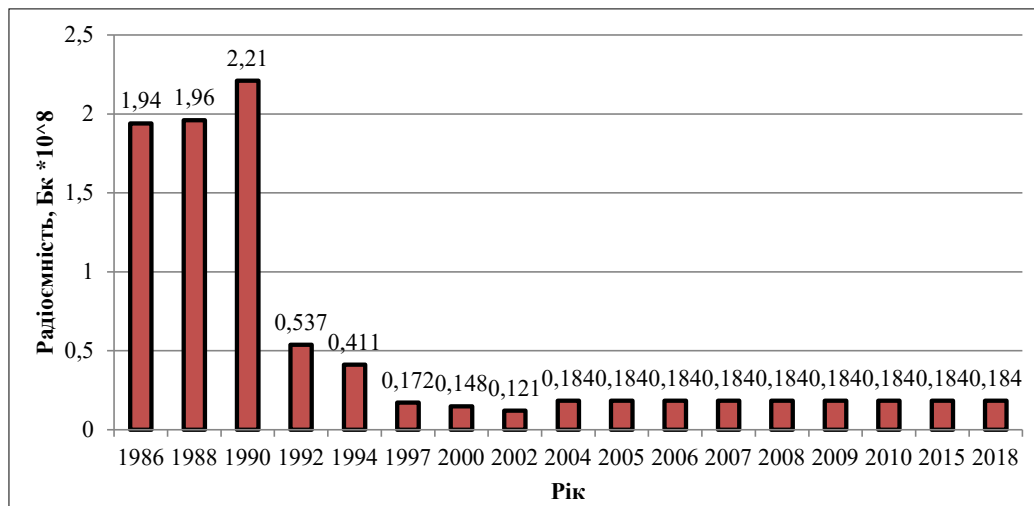


Рис. 3. Радіоємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС у динаміці (за ^{137}Cs)

Результати визначення радіоємності ставка-охолоджувача ЮУ АЕС за ^{137}Cs впродовж 1986–2018 рр. наведено на графіку (рис. 3).

Як видно з рисунку, за період 1986–2018 рр. відбулися чималі зміни у величинах максимальної активності ^{137}Cs , яку спроможний утримувати ставок-охолоджувач без шкоди для себе. Якщо у 1986–90 рр. радіоємність за ^{137}Cs дорівнювала $(2,04 \pm 0,1) \cdot 10^8$ Бк, то у 1991–92 рр. відбулося різке зниження цього показника до $0,54 \cdot 10^8$ Бк; далі відбувалося продовження зниження радіоємності до $0,17 \cdot 10^8$ Бк; і цей рівень продовжував підтримуватися до останніх років дослідження. Початок зниження радіоємності співпадає у часі з перенесенням скиду каналізаційних вод АЕС у ставок-охолоджувач, що призвело до зміни фізико-хімічних умов водоймища, сприяло зниженню накопичувальної здатності водяних рослин і відповідним чином відобразилося на радіоємності водоймища. Це є показовим прикладом того, що радіоємність водоймища є надзвичай чутливим фактором до різного роду агентів, які потрапляють у водоймище.

Також це є підтвердженням того, що можна управляти радіоємністю водоймища за допомогою водяних рослин, що сприяє вирішенню важливої проблеми безпеки ставок-охолоджувачів АЕС. Як відомо, радіонукліди у водоймищах перебувають переважно у вигляді розчинів солей, тому забезпечення і підтримання достатньої здатності став-

ків-охолоджувачів АЕС щодо утримання ними радіонуклідів виступає важливою задачею не лише радіаційної, а і технологічної безпеки АЕС.

Через те, що водорості у водоймищах виконують подвійну роль: з одного боку, є активними агентами самоочищення, з іншого – беруть участь в процесах біологічного забруднення водойми. Тому у технології біоочищення ставок-охолоджувачів за допомогою макрофітів потрібно передбачити чіткий режим і умови вирощування водоростей (температура, хімічний склад води, мінералізація і т. ін.). Потрібно також шукати можливість утилізації вирощуваних водоростей для отримання біогазу.

Головні висновки:

1. Радіоємність водоймища є чутливим фактором до зміни хімічного складу водоймища. Через зміни у хімічному складі радіоємність ставка-охолоджувача ЮУ АЕС за період з початку 90-х років зменшилася у 10 разів: від $2 \cdot 10^8$ Бк до $0,2 \cdot 10^8$ Бк.

2. Поширені у ставку-охолоджувачі ЮУ АЕС водяні рослини: нитчасті водорості (*Cladophora fracta*) і рдест плаваючий (*Potamogeton natans*) характеризуються високими коефіцієнтами накопичення ^{137}Cs : від 100 до $1400 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} / \frac{\text{Бк}}{\text{л}}$.

3. Управління радіоємністю водоймища за допомогою водяних рослин сприяє вирішенню важливої проблеми радіаційної та технологічної безпеки АЕС.

Література

1. Использование водорослей для очистки пруда-охладителя Южноукраинской АЭС от радиоактивных веществ. Отчет по НИР Института биофизики МЗ СССР. 1991. № 08-7348. М., 1991. С. 92.
2. Кутлахмедов Ю.А., Поликарпов Г.Г., Кутлахмедова-Вишнякова В.Ю. Оценка параметров радиоемкости, как показатель устойчивости и надежности экосистем. Парадигмы сучасної радіобіології: Матеріали наук. конференції (вересень 2004.). К., 2004. С. 98–100.
3. Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.У., Кольтовер В.К. Основи радіоекології: Навч. посіб. К.: Вища школа, 2003. 344 с.
4. Лазоренко Г.Е., Егоров В.Н. Роль донных отложений в извлечении радиоцезия из водной среды. Радиоэкология: успехи и перспективы: Материалы науч. семинара (июнь 1994). Севастополь, 1994. С. 117.
5. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи: Монографія / Ю. Томілін, Л. Григор'єва. Миколаїв, 2008. 270 с.