

ФІТОДЕЗАКТИВАЦІЯ СТАВКА-ОХОЛОДЖУВАЧА АЕС

Макарова О.В., Григор'єва Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54000, м. Миколаїв
elenamakarova79@ukr.net, kafecobezpeka@ukr.net

У статті викладено результати натурних досліджень з дезактивації води ставка-охолоджувача Південноукраїнської АЕС з використанням водоростей. Наведено рекомендації при застосуванні фітодезактиваційних заходів.

В умовах ставків-охолоджувачів АЕС південного регіону вегетують різні види водяних рослин: надводні (очерет звичайний та озерний, роголистник вузьколистий і широколистий, малик великий, айр болотний), заглиблені (рдесник гребенчатий, пронзенolistий, уруть колоскова, роголистник темнозелений, елодея канадська), повільно плавучі з плавучим листям (жовта кубижка, ряска мала, спіроделла), зелені нитчасті водорості (клатофора, спірогира, зігнема).

Як відомо, гідрофіти є однією з основних компонент прісноводної екосистеми, у які під час вегетативного періоду переходить значна кількість радіоактивності, яка присутня у воді й у донних відкладеннях. Макрофіти є потужним фактором зниження радіонуклідного забруднення прісноводних водойм.

Перспективи використання макрофітів для очищення водоймищ від мінеральних і радіоактивних речовин відображені в багатьох роботах, але здебільшого матеріали досліджень із цієї проблеми отримані експериментально в лабораторних умовах. Метою роботи став аналіз результатів натурних досліджень з дезактивації й розсолоння води ставка-охолоджувача Південноукраїнської (ПУ) АЕС із використанням водоростей, які проведено за участю авторів.

Матеріалами досліджень є результати багаторічних радіоекологічних і гідробіологічних досліджень у поверхневих водоймах району ПУ АЕС, виконаних авторами та матеріали інших установ, основні результати яких опубліковані в роботах.

Дослідження радіоемності ставку-охолоджувачу здійснено за ^{137}Cs як хімічного аналогу мікроелементу калію, поглинання якого відображає якість мінерального живлення рослин і який є транспортером радіонуклідів у донні відкладення – основного депо захоронення й одного з головних компонент водоймища, що відповідають за радіоемність останнього.

Дослідження з вивчення зменшення радіонуклідного забруднення ставка-охолоджувача ПУ АЕС з використанням макрофітів починали з оцінки радіаційної ситуації у водоймищі, для чого визначали рівні концентрації радіонуклідів і хімічних речовин у воді й водоростях. *Ключові слова:* водорості, дезактивація, ставок-охолоджувач.

Phytodesactivation of NPP cooler rate. Makarova O., Grigorieva L.

The results of field research on decontamination of water of the cooling pond of the South-Ukrainian NPP with the use of algae are presented. Recommendations for the use of phytodesactivation measures are given.

In the conditions of cooling ponds of NPPs of the southern region, different species of aquatic plants grow: surface (common and lake reeds, narrow-leaved and broad-leaved hornbeam, large mallow, marsh marigold), deepened slowly floating with floating leaves (yellow cube, duckweed, spirodella), green filamentous algae (cladophora, spirogyra, bend).

It is known that hydrophytes are one of the main components of the freshwater ecosystem, into which during the vegetative period passes a significant amount of radioactivity, which is present in water and bottom sediments. Macrophytes are a powerful factor in reducing radionuclide contamination of freshwater bodies.

Prospects for the use of macrophytes for the purification of water bodies from mineral and radioactive substances are reflected in many works, but most of the research materials on this problem were obtained experimentally in the laboratory. The aim of the work was to analyze the results of field research on decontamination and salinization of water of the cooling pond of the South Ukrainian (SU) NPP with the use of algae, which was conducted with the participation of the authors.

The research materials were the results of long-term radioecological and hydrobiological studies in the surface reservoirs of the YuU NPP area, performed by the authors, and materials of other institutions, the main results of which were published in the works.

The study of the radiocapacity of the cooling pond was performed at ^{137}Cs , as a chemical analogue of the microelement potassium, the absorption of which reflects the quality of mineral nutrition of plants and which is a transporter of radionuclides in bottom sediments – the main landfill and one of the main components

Studies to reduce the reduction of radionuclide contamination of the cooling pond of the NPP using macrophytes began with an assessment of the radiation situation in the reservoir, which determined the levels of concentrations of radionuclides and chemicals in water and algae. *Key words:* algae, decontamination, cooling pond.

Постановка проблеми. В умовах ставків-охолоджувачів АЕС південного регіону вегетують різні види водяних рослин: надводні (очерет звичайний та озерний, роголистник вузьколистий і широколистий, малик великий, айр болотний), заглиблені (рдесник гребенчатий, пронзенolistий, уруть колоскова, роголистник темнозелений, елодея канадська), повільно плавучі з плавучим листям (жовта

кубижка, ряска мала, спіроделла), зелені нитчасті водорості (клатофора, спірогира, зігнема).

Як відомо, гідрофіти є однією з основних компонент прісноводної екосистеми, у які під час вегетативного періоду переходить значна кількість радіоактивності, яка присутня у воді й у донних відкладеннях. Макрофіти є потужним фактором зниження радіонуклідного забруднення прісноводних водойм [1; 4].

Перспективи використання макрофітів для очищення водоймищ від мінеральних і радіоактивних речовин відображені в багатьох роботах [4; 11], але здебільшого матеріали досліджень із цієї проблеми отримані експериментально в лабораторних умовах. Метою роботи став аналіз результатів натурних досліджень з дезактивації й розсолоння води ставка-охолоджувача Південноукраїнської (далі – ПУ) АЕС із використанням водоростей, які проведено за участю авторів [10].

Матеріали та методи дослідження. Матеріалами досліджень є результати багаторічних радіоекологічних і гідробіологічних досліджень у поверхневих водоймах району ПУ АЕС, виконаних авторами [1], і матеріали інших установ, основні результати яких опубліковані в роботах [5].

Радіоемність 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 С – 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 водними рослинами.

Дослідження радіоемності ставка-охолоджувача здійснено за ¹³⁷Cs як хімічного аналогу мікроелементу калію, поглинання якого відображує якість мінерального живлення рослин і який є транспортером радіонуклідів у донні відкладення – основного депо захоронення й одного з головних компонентів водоймища, що відповідають за радіоемність останнього.

Об'єктами досліджень є вміст радіонуклідів у воді й у макрофітах: *Cladophora fracta* і *Potamogeton natans*) ставка-охолоджувача ПУ АЕС. Обробка проб, радіохімічний, радіометричний

і гама-спектрометричний аналізи виконувалися за рекомендованими методиками [5; 6], похибка вимірювань не перевищувала 10–15%.

Виклад основного матеріалу. Дослідження з вивчення зменшення радіонуклідного забруднення ставка-охолоджувача ПУ АЕС із використанням макрофітів починали з оцінки радіаційної ситуації у водоймищі, для чого визначали рівні концентрації радіонуклідів і хімічних речовин у воді й водоростях.

Вода ставка-охолоджувача мала слабколужну реакцію й середню окисненість із високою мінералізацією (до 1146 мг/л). На мінералізацію води впливали стоки з прилеглої території. Уміст нітратів становить 2,9 мг/л, фосфатів – 1,7 мг/л, заліза – 0,1 мг/л. Повні дані фізико-хімічного складу води наведено в таблиці 1.

Гідротермічні дослідження водоймища показують, що в основному всі зони водоймища беруть участь у процесі охолодження. Середньомісячна температура верхнього шару водоймища досягала 35–39° С. Активність радіонуклідів у воді становила 0,02÷0,03 Бк/л для ¹³⁷Cs, 0,06÷0,08 Бк/л для ⁹⁰Sr, 59÷63 Бк/л – для ³H.

Рівні депонування радіонуклідів донними відкладеннями залежали від умісту радіонуклідів у воді та від механічного складу мулів водоймища. Якщо вміст радіонуклідів у воді практично не відрізнявся за площею ставка-охолоджувача, то механічно-речовинний склад донних відкладень дещо різнився. На ділянках водоймища зі слабкою течією середній вміст ⁹⁰Sr у донних відкладеннях становив 4,4–7,8 Бк/кг, ¹³⁷Cs – 33,1–61,3 Бк/кг, ³H – 27–43 Бк/кг. Залежно від виду риби та її чисельності ця компонента водоймища може суттєво впливати на радіоемність останнього, а також на розподіл радіонуклідів серед його компонентів (донних відкладень, води й водної рослинності).

Таблиця 1

Фізико-хімічний і радіонуклідний склад води ставка-охолоджувача ПУ АЕС

№	Назва речовини	Одиниця виміру	Кількість
1	Хлориди	мг/л	485,4
2	Сульфати	мг/л	1275,3
3	Нітрати	мг/л	2,6
4	Фосфати	мг/л	1,7
5	Залізо	мг/л	0,1
6	Кальцій	мг/л	130,03
7	Магній	мг/л	159,1
8	Калій + натрій	мг/л	250,3
9	Мінералізація	мг/л	1146/755
10	Загальна жорсткість	мг-екв/л	19,5
11	Реакція водного середовища	pH	7,5-8,5
12	Карбонова жорсткість	мг/л	4,8
13	Стронцій-90	Бк/л	0,06-0,08
14	Цезій-137	Бк/л	0,02-0,03
15	Тритій	Бк/л	59-63

Особливості гідротермохімічного режиму ставка-охолоджувача накладали відбиток на розповсюдженість водяної рослинності у водоймищі, її різноманітність і чисельність. Дослідження показали, що на окремих ділянках водоймища зустрічаються невеликі скупчення рдестів (*Potamogeton natans*), ряски, елодеї й роголісника. Протягом 6–7 місяців (квітень-листопад) реєструвався активний розвиток нитчастих водоростей, в основному кладофори (*Cladophora fracta*).

Позитивним фактором для розведення в ставка-охолоджувачі водяної рослинності була достатня присутність у водоймищі насіння, плодів, бруньок, а також залишків коренів і стебел водяних рослин, що надходили з балки Ташлик і р. Південний Буг.

Хоча практично складно було систематично проводити кількісний рахунок запасів біомаси водяних рослин, її обсягу нарощування та відмирання, трирічні дослідження показали, що активний розвиток водоростей в акваторії водоймища відбувається на 5 ділянках: це мілководні затоки загальною площею 1,12 км² (рис. 1).

Перша ділянка – неглибока затока у верхній частині водоймища площею 0,4 км². Ще три ділянки розташовані ближче до АЕС. Це – затоки на східній частині узбережжя площею, відповідно, 0,35 км², 0,08 км² і 0,05 км². П'ята ділянка площею 0,24 км² розташована на західному березі, у районі старого саду. Усі ділянки знаходяться осторонь від основної течії, неглибокі та є найбільш пристосованими для розвитку водяних рослин.

За результатами відбору проб водяних рослин з експериментальних ділянок, середня розрахована величина густини біомаси на квадратний метр площі водойми (Р, кг/(м²)) становила:

- для рдесту (*Potamogeton natans*) – 5;
- для нитчастих водоростей (*Cladophora fracta*) – 2 кг.

Тобто біомаса (М) рдесту на п'ятьох ділянках ставка-охолоджувача становитиме:

- для рдесту (*Potamogeton natans*) – $5,6 \cdot 10^6$ кг;
- для нитчастих водоростей (*Cladophora fracta*) – $2,24 \cdot 10^6$ кг.

Звичайно, ці величини можуть коливатися як у більший, так і у менший бік.

Результати вимірювання вмісту радіонуклідів у водоростях *Cladophora fracta* і *Potamogeton natans* наведено в таблицях 2, 3. Проби нитчастих водоростей (*Cladophora fracta*) і рдесту (*Potamogeton natans*) відбирали вздовж берегової лінії ставка-охолоджувача. У пробах, крім ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ³H, реєструвалися також природні (²²⁶Ra, ізотопи торію, урану) і станційні радіонукліди ²⁴Mn ($2,6 \pm 1,0$ Бк/кг) і ⁶⁰Co ($3,7 \pm 1,1$ Бк/кг). Середній уміст ⁹⁰Sr у водоростях (*Cladophora fracta*) був $7,2 \pm 2,1$ Бк/кг, ¹³⁷Cs – $10,4 \pm 2,4$ Бк/кг і 32 ± 10 Бк/кг відповідно.

Ураховуючи визначену загальну біомасу водоростей на п'ятьох ділянках і визначену в них питому активність радіонуклідів (таблиця 2), сумарна активність радіонуклідів, яку депонувала біомаса рдесту, становила: ⁹⁰Sr – близько $9,5 \cdot 10^7$ Бк, ¹³⁷Cs – майже $10,6 \cdot 10^7$ Бк і ³H – майже $18,0 \cdot 10^7$ Бк, а також біомаса *Cladophora fracta*: ⁹⁰Sr – біля $1,6 \cdot 10^7$ Бк, ¹³⁷Cs – майже $2,3 \cdot 10^7$ Бк (таблиця 2).

Для цього наприкінці осені за допомогою сітки з металевими гайками на їх нижній частині водорості витягували на берег і залишали на 1–2 доби. Для зменшення вологості водорості розкладали на узбережжі тонким шаром і витримували на повітрі близько двох тижнів, періодично перегортаючи їх. Після сушіння водорості транспортували до спеціальної установки для спалювання. Попіл, який залишався після спалювання водоростей, проходив радіометричний і спектрометричний контроль.

Рівень активності радіонуклідів у ньому не перевищував рівня радіоактивності донних відкладень

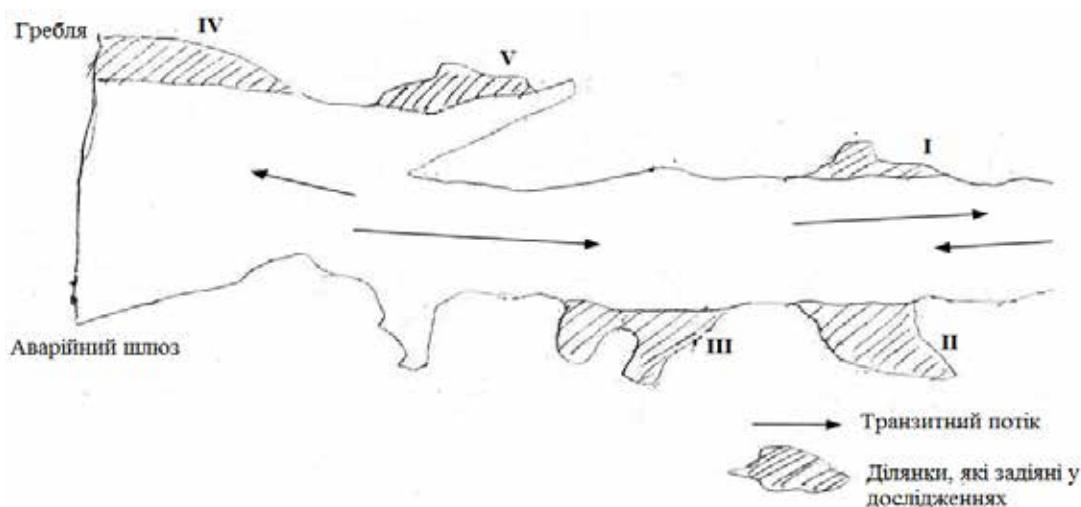


Рис. 1. Схема відбору проб водяних рослин у ставка-охолоджувачі ПУ АЕС

Таблиця 2

Сумарний уміст радіонуклідів у біомасі водоростей з ділянок ставка-охолоджувача АЕС

№	Вид водоростей	Питома активність, Бк/кг (л)			Загальна біомаса, 10 ⁷ кг (л) (розрахункова)	Сумарна радіоактивність біомаси, 10 ⁷ Бк		
		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	³ H		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	³ H
1	Рдести (<i>Potamogeton natans</i>)	16,9 ± 3,5	18,9 ± 3,7	32 ± 10	0,56 ± 0,12	9,5 ± 2,0	10,6 ± 2,1	18,0 ± 5,6
2	Кладофора (<i>Cladophora fracta</i>)	7,2 ± 2,1	10,4 ± 2,4	19 ± 5	0,22 ± 0,04	1,6 ± 0,5	1,6 ± 0,5	-
3	Вода ставка-охолоджувача АЕС	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,01	60 ± 18	8,6 ± 1,8	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	5 16 ± 150

ставка-охолоджувача АЕС (6-50 Бк/кг), тому його складували в ставках біоочищення очисних споруд господарсько-фекальної каналізації промислово-побутових скидів ПУ АЕС.

Невелику частину попелу задіяно в дослідженнях з вивчення можливості використання мінеральних речовин (солей), що накопичувалися у водоростях, як сольової домішки в харчовий раціон домашньої худоби (свиней). Радіаційно-гігієнічна оцінка м'яса цих тварин показала, що кількість ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у м'ясі не перевищувала наявних рівнів цих радіонуклідів у м'ясі контрольної групи тварин [9].

Головні висновки. Дезактиваційний захід з очищення технологічної водою від радіонуклі-

дів за допомогою макрофітів показав практичну застосованість.

Обрані види гідробіонтів (*Cladophora fracta* і *Potamogeton natans*) мають достатню здатність до накопичення радіонуклідів з води ставка-охолоджувача АЕС. Більш висока кумуляція радіонуклідів (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ³H), які часто зустрічаються в технічних водоймах при експлуатації АЕС, належить рдестам (*Potamogeton natans*). При застосуванні фітодезактиваційних заходів бажано використовувати всі сприятливі фактори, які наявні у водоймищі: присутність природних скупчень того чи іншого виду макрофітів, особливостей гідротермохімічного режиму водоймища тощо.

Література

1. Винцукевич Н.В., Томилин Ю.А. Индикация радиоактивного загрязнения водной системы по содержанию радионуклидов в погруженных макрофитах. *Гигиена и санитария*. 1984. С. 88.
2. Гидробионты в радиоэкологическом мониторинге водоемов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / Д.И. Гудков, В.В. Деревец, М.И. Кузьменко и др. *Гигиена населенных мест Украины* : сборник научных работ. Киев, 2000. Вып. 36. Т. 1. С. 404-414.
3. Евдокимов В.Н., Марченко Ю.Д., Пискунов В.С. Радиационно-экологическая оценка высшей водной растительности замкнутого водоема. *Материалы III з'їзду з радіаційних досліджень України*. Київ, 2003. С. 301-302.
4. Функционирование растительных сообществ в водных экосистемах малых рек в условиях влияния АЭС / А.И. Мережко, М.И. Кузьменко, М.И. Величко и др. *Гидробиологический журнал*. Киев, 1990. С. 47-50.
5. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки окружающей среды. Киев : МЗ СРСР, 1988. 49 с.
6. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / под ред. А.Н. Марья, А.С. Зыковой. Москва, 1980.
7. Переработка растительных отходов. Les buches de bimat. *Yng. Mag.* 1991-7. № 10.
8. Твердые отходы. Возникновение, сбор, обработка, удаление / под ред. И. Мантелла, сокр. перевод с англ. Москва : Строймздат, 1979. 519 с.
9. Томилин Ю.А., Винцукевич Н.В., Минин В.А. Предварительная радиационно-гигиеническая оценка мяса животных, в корм которых добавляли шахтные воды и золу водорослей. *Вопросы питания*. Москва, 1987. С. 61-64.
10. Использование водорослей для очистки пруда-охладителя Южно-Украинской АЭС от радиоактивных веществ / Ю.А. Томилин, Л.И. Григорьева, И.И. Щелезняк и др. *Збірник наукових звітів Інституту біофізики МОЗ СРСР*. Київ, 1991.
11. Шапошникова Т.В., Потапов А.Л. Перспективы использования макрофитов для очистки прибрежных рек. *Материалы науч. конф. ТИИРО*. Владивосток, 1990. С. 62-64.
12. 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.
13. Томілін Ю., Григор'єва Л. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контраходи : монографія. Миколаїв, 2008. 270 с.