УДК 615.849 – 614.7:613

Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А.

ДЕЗАКТИВАЦІЯ СТАВКА-ОХОЛОДЖУВАЧА АЕС З ВИКОРИСТАННЯМ МАКРОФІТІВ

Викладено результати натурних досліджень з дезактивації води ставка-охолоджувача Південно-Української АЕС з використанням водоростей. Наведено рекомендації при застосуванні фітодезактиваційних заходів.

Ключові слова: *водорості, дезактивація, ставок-охолоджувач.*

Представлены результаты натурных исследований с дезактивации воды ставка-охладителя Южно-Украинской АЭС с использованием водорослей. Даны рекомендации при использовании фитодезактивационных мероприятий.

Ключевые слова: *водоросли, дезактивация, ставок-охладитель.*

Results of natural investigations for desactivation of pond-cooled South Ukraine AEPS witn utilization of algae are articulate in work. The recommendations for use of desactivations actions are analyzed.

Key words*: algae, desactivation, pond-cooled.*

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

У роботах [2, 3] при вивченні процесів розподілу радіонуклідів у біотичних і абіотичних компонентах екосистем річок, які знаходяться поблизу зони Чорнобильської АЕС, встановлено, що гідрофіти є одним з основних компонентів водної екосистеми, в які під час вегетативного періоду переходить значна частина активності радіонуклідів, яка присутня у воді і в донних відкладеннях, тобто макрофіти є потужним фактором зниження радіоактивного забруднення річкової води [1, 4].

Перспективи використання макрофітів для очищення водоймищ від мінеральних і радіоактивних речовин відображені в багатьох роботах [4, 11], але здебільшого матеріали досліджень з цієї проблеми отримані експериментально в лабораторних умовах.

У нашій публікації викладено результати натурних досліджень з дезактивації і розсолення води ставка-охолоджувача Южноукраїнської (ЮУ) АЕС із використанням водоростей [10].

Матеріали та методи дослідження

Об'єктами досліджень виступали вода і водяні компоненти (риба, донні відкладення і гідрофіти: *Cladophora fracta* і *Petageton nataus*) ставка-охолоджувача ЮУ АЕС.

Оцінку радіаційної ситуації проводили з використанням даних радіометричних і спектрометричних вимірювань концентрації ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H у пробах води і водних компонентах, які приведені в Бк/кг природної вологості.

Обробка проб, радіохімічний, радіометричний і гама-спектрометричний аналізи виконувалися за рекомендованими методиками [5, 6], похибка вимірювань не перевищувала 10-15 %.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження з вивчення зменшення радіаційного забруднення ставка-охолоджувача ЮУ АЕС з використанням макролітів 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 і середню окисненість з високою мінералізацією (до 1146 мг/л). На мінералізацію води впливали стоки з прилеглої території. Вміст нітратів складає 2,9 мг/л, фосфатів – 1,7 мг/л, заліза – 0,1 мг/л. Повні дані фізико-хімічного складу води наведено у таблиці 1.

Гідротермічні дослідження водоймища показують, що в основному усі зони водоймища беруть

участь у процесі охолодження. Середньомісячна температура верхнього шару водоймища досягає 35-39 °С. Концентрація радіонуклідів у воді знаходилось у межах 0,06-0,08 Бк/л для ^{90}Sr, 0,02-0,03 Бк/л для ^{137}Cs і 59-63 Бк/л – для ^{3}H (табл. 1).

Таблиця1

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 дорсткість	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

Рівні депонування радіонуклідів у донних відкладеннях залежили від вмісту радіонуклідів у воді, а також 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 ^{90}Sr у донних відкладеннях складав 4,4-7,8 Бк/кг, ^{137}Cs – 33,1-61,3 Бк/кг, ^{3}H – 27-43 Бк/кг. Залежно від виду риби та її чисельності, ця компонента водоймища може суттєво впливати на радіоємність останнього і на розподіл радіонуклідів серед його компонент (донних відкладень, води і водяної рослинності).

Особливості гідротермохімічного режиму ставка-охолоджувача накладали відбиток на розповсюдженість водяної рослинності у водоймищі, на її різноманітність і чисельність.

Дослідження показали, що на окремих ділянках водоймища зустрічаються невеликі скупчення рдестів *(Potamogeton natans)*, ряски, елодеї і роголісника. Протягом 6-7 місяців (квітень-листопад) реєструвався активний розвиток нитчастих водоростей, в основному кладофори (*Cladophora fracta)*.

Позитивним фактором для розведення у ставку-охолоджувачі водяної рослинності була достатня присутність у водоймищі насіння, плодів, бруньок, а також часток коренів і стеблів водяних рослин, що надходили з балки Ташлик та з Південного Бугу.

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

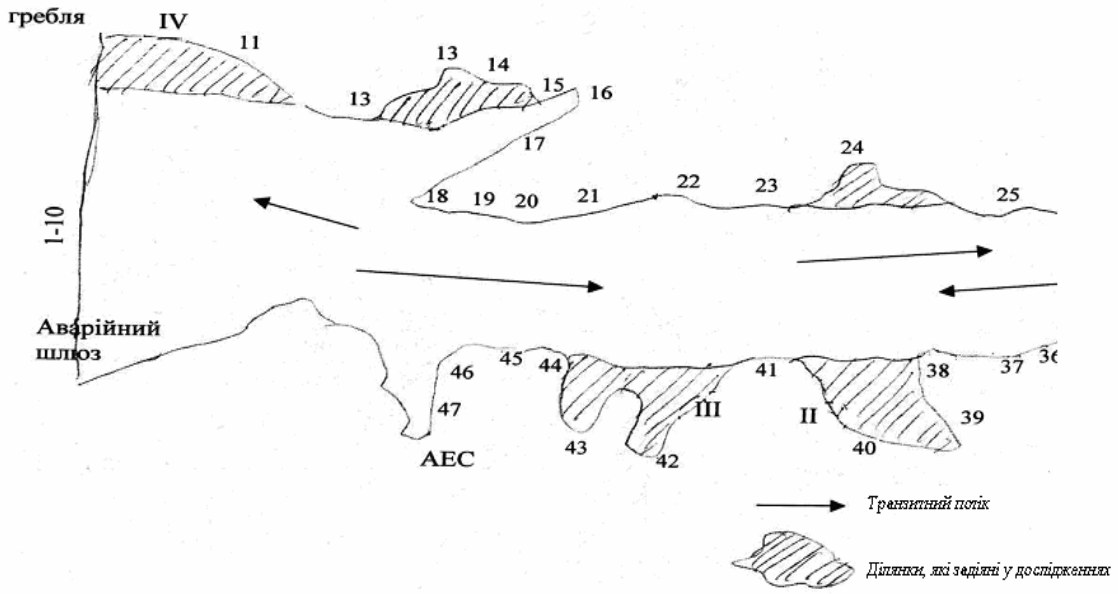

Рис. 1. Схема відбору проб водяних рослин у ставку-охолоджувачі ПУ АЕС

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, в районі старого саду. Всі ділянки знаходяться на відстороні від основної течії, неглибокі та є найбільш пристосованими для розвитку водяних рослин. За результатами відбору проб водяних рослин з експериментальних ділянок, середня розрахована величина біомаси рдест (*Potamogeton natans)* на квадратний метр склала 5 кг, нитчатих водоростей (*Cladophora fracta*) – біля 2 кг. Тобто біомаса рдесту на п'ятьох ділянках ставка-охолоджувача складатиме $5,6 \cdot 10^6$ кг, а кладофори – $2,24 \cdot 10^6$ кг. Звичайно, ці величини можуть коливатися як у більшу, так і меншу сторону.

За результатами відбору проб водоростей з ділянок, середня розрахункова величина біомаси рдесту на 1 м^2 складала біля 5 кг, нитчастих водоростей (*Cladophora fracta*) – біля 2 кг. Тоді біомаса рдесту на п'ятьох ділянках ставка-охолоджувача складала біля $5,6 \cdot 10^6$ кг, а кладофори – біля $2,24 \cdot 10^6$ кг. Звичайно, щороку ці величини коливаються як у більшу, так і в меншу сторону.

Результати вимірювання вмісту радіонуклідів у водоростях *Cladophora fracta* і *Potageton nataus* наведено в таблицях 2, 3. Проби нитчастих водоростей (кладофора) і рдесту пронзенолистного відбирали вздовж берегової лінії ставка-охолоджувача у 37 пунктах (рис. 1, т. 9,41). У пробах, крім ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H, реєструвалися також природні (^{226}Ra, ізотопи торію, урану) і станційні радіонукліди ^{24}Mn (2,6 ± 1,0 Бк/кг) – в пунктах 20, 23 і ^{60}Co (3,7 ± 1,1 Бк/кг) – у пунктах 20, 21. Середній вміст ^{90}Sr у кладофорі був 7,2 ± 2,1 Бк/кг, ^{137}Cs – 10,4 ± 2,4 Бк/кг і 32±10 Бк/кг відповідно (таблиці 2, 3).

Таблиця2

Середня концентрація радіонуклідів у нитчастих водоростях (Cladophora fracta), відібраних у пунктах вздовж берегової лінії ставка-охолоджувача АЕС, Бк/кг

№	Номер пункту відбору	Дата відбору	^{90}Sr	^{137}Cs
1		06.04.1989	7,0 ± 1,6	14,8 ± 1,8
2		- " -	10,7 ± 1,8	11,5 ± 1,7
3		- " -	6,7 ± 1,3	13,0 ± 0,5
4		- " -	20,3 ± 2,6	6,7 ± 1,3
5		- " -	2,5 ± 0,5	11,5 ± 1,7
6		- " -	3,0 ± 0,6	11,5 ± 1,7
7		- " -	9,3 ± 1,7	11,5 ± 1,7
8		- " -	6,3 ± 1,4	11,5 ± 1,7
9		- " -	10,7 ± 1,7	11,5 ± 1,7
10		- " -	10,0 ± 1,5	11,5 ± 1,7
11		20.04.1989	11,5 ± 1,4	9,6 ± 1,2
12		- " -	10,0 ± 1,3	13,7 ± 1,8
13		- " -	5,6 ± 1,2	13,3 ± 1,4
14		- " -	5,5 ± 1,3	8,9 ± 1,6
15		- " -	10,0 ± 1,3	5,5 ± 1,1
16		- " -	9,2 ± 1,5	11,8 ± 1,8
17		- " -	9,2 ± 1,8	6,3 ± 1,1
18		- " -	6,7 ± 1,5	7,0 ± 1,8
19		- " -	3,4 ± 1,1	12,2 ± 2,8
20		04.05.1989	2,6 ± 1,0	11,9 ± 1,8
21		- " -	5,2 ± 1,8	5,9 ± 1,4
22		- " -	9,2 ± 2,3	13,4 ± 2,6
23		- " -	5,2 ± 1,3	11,9 ± 2,7
24		- " -	11,1 ± 2,1	13,4 ± 2,8
25		- " -	8,9 ± 2,3	13,7 ± 1,8
26		- " -	2,2 ± 0,8	12,2 ± 2,3
27		- " -	5,5 ± 1,2	13,7 ± 2,6
28		- " -	7,8 ± 2,3	13,0 ± 2,4
29		- " -	3,0 ± 0,8	5,2 ± 1,8
30		- " -	2,9 ± 0,8	11,3 ± 3,8
31		13.07.1989	2,6 ± 0,8	4,0 ± 0,8
32		- " -	7,0 ± 1,8	13,4 ± 1,8
33		- " -	5,9 ± 0,4	8,5 ± 1,9
34		- " -	11,8 ± 2,8	12,2 ± 2,8
35		- " -	10,0 ± 1,8	4,5 ± 1,4
36		- " -	2,9 ± 1,1	13,0 ± 2,8
37		- " -	5,6 ± 1,3	6,3 ± 2,0

Таблиця 3

Середня концентрація радіонуклідів у рдестах (*Petageton nataus*) ставка-охолоджувача АЕС, Бк/кг

№	Місце відбору	Дата відбору	^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H
1	ділянка 1	25.04.1989	16,7 ± 2,4	25,9 ± 3,4	35 ± 10
2	ділянка 1	13.07.1989	20,3 ± 3,2	13,1 ± 2,2	26 ± 8
3	ділянка 1	04.05.1990	14,4 ± 2,1	15,3 ± 3,1	24 ± 6
4	ділянка 2	25.04.1989	9,4 ± 1,8	15,6 ± 2,5	28 ± 4
5	ділянка 2	13.07.1989	15,3 ± 2,3	16,7 ± 2,0	31 ± 5
6	ділянка 2	04.05.1990	18,4 ± 3,1	21,2 ± 2,1	22 ± 4
7	ділянка 4	25.04.1989	18,5 ± 2,4	17,2 ± 3,1	38 ± 4
8	ділянка 4	13.07.1989	23,0 ± 3,4	22,2 ± 2,1	46 ± 5
9	ділянка 4	04.05.1990	16,7 ± 2,1	23,4 ± 2,6	41 ± 6

Враховуючи визначену загальну біомасу водоростей на п'ятьох ділянках і визначену в них питому активність радіонуклідів (табл. 2, 3), сумарна активність радіонуклідів, яку депонувала біомаса рдесту, становила: ^{90}Sr – біля $9{,}5 \cdot 10^7$ Бк, ^{137}Cs – біля $10 \cdot 6 \cdot 10^7$ Бк і ^{3}H – біля $18{,}0 \cdot 10^7$ Бк, а також біомаса кладофори: ^{90}Sr – біля $1{,}6 \cdot 10^7$ Бк, ^{137}Cs – біля $2{,}3 \cdot 10^7$ Бк (таблиця 4).

Порівнюючи ці значення з величиною середнього вмісту ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H у всьому обсязі води ставка-охолоджувача АЕС (табл. 4), можна констатувати, що вони є близькими, тобто біомасою водоростей п'ятьох ділянок можна за достатньо короткий час (за 2-3 вегетативних періоди) вивести з водоймища значну кількість активності основних дозостворюючих радіонуклідів (^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H).

Таблиця 4

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

№	Вид водоростей	Питома активність, Бк/кг (л)			Загальна біомаса, 10^7 кг (л) (*розрахункова*)	Сумарний вміст, 10^7 Бк		
		^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H		^{90}Sr	^{137}Cs	^{3}H
1	Рдести (*Petageton nataus*)	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 (*Cladophora fracta*)	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	516 ± 150

У нашій роботі 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 ступеня радіоактивності донних відкладень 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 у дослідженнях з вивчення можливості використання мінеральних речовин (солей), що накопичувались у водоростях, у якості сольової домішки у харчовий раціон тварин (свиней). Радіаційно-гігієнічна оцінка м'яса цих тварин показала, що кількість ^{90}Sr і ^{137}Cs у м'ясі не перевищувала існуючих рівнів цих радіонуклідів у м'ясі контрольної групи тварин [9].

Отже, такі заходи утилізації водоростей (мінеральних та радіоактивних речовин) можна використовувати при дезактивації і розсолонення ставків-охолоджувачів АЕС і ТЕС з використанням гідробіоктонів.

Висновки

Дезективаційний захід зі зменшення рівня радіоактивного забруднення водоймища з використанням макролітів дає достатньо позитивний результат прикладної його реалізації.

Вибрані види гідробіонтів (*Cladophora fracta і Potageton nataus*) мають достатню здатність до накопичення радіонуклідів з води ставка-охолоджувача АЕС. Більш висока кумуляція станційних радіонуклідів (^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{3}H) з води належить рдестам.

При застосуванні фітодезактиваційних заходів бажано використовувати усі сприятливі фактори, які наявні у водоймищі: присутність природних скупчень того чи іншого виду макролітів, особливостей гідротермохімічного режиму водоймища та інше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вінцукевич Н.В., Томілін Ю.А. Индикация радиоактивного загрязнения водной системы по содержанию радионуклидов в погруженных макрофитах. Гигиена и санитария. – 1984. – С. 87-88.
2. Гудков Д.И., Деревец В.В., Кузьменко М.И. и др. Гидробионты в радыоэкологическом мониторинге водоемов зоны отчуждения Чернобыльскйо АЭС // Зб. наук. праць «Гигиена населенных мест Украины». – К., 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 // Матеріали III з'їзду з радіаційних досліджень України. – К., 2003. – С. 301-302.
4. Мережко А.И., Кузьменко М.И., Величко М.И. и др.. Функционирование растительных сообществ в водных экосистемах малых рек в условиях влияния АЭС /Гидробиологический журнал. – К., 1990. – С. 47-50.
5. Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки окружающей среды. – К., МЗ СРСР, 1988. – 49 с.
6. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н. Марея, А.С. Зыковой. – М., 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. – М.: 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 // Журнал «Вопросы питания», 1. – Москва, 1987. – С. 61-64.
10. Томилин Ю.А., Григорьева Л.И., Щемзняк И.И. и др. Использование водоростей для очистки пруда-охладителя Южно-Украинской АЭС от радиоактивных веществ // Зб. Наук. Звітів Інституту біофізики МОЗ СРСР. – 1991.
11. Шапошникова Т.В., Потапов А.Л. Перспективы использования макрофитов для очистки прибрежных рек // Материалы науч. конф. ТИНРО. – Владивосток, 1990. – С. 62-64.

Рецензенти: Кутлахмедов Ю.О., д.б.н., професор;
Чорна В.І., д.б.н., професор ДНУ ім. О. Гончара

© Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., 2009

Стаття надійшла: 10.04.2009 р.