

УДК 615.849 - 614.7:613

ТОМІЛІН Ю.А., Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна

Томілін Юрій Андрійович – к.б.н., професор кафедри техногенної безпеки Миколаївського державного гуманітарного університету імені Петра Могили

# ДИНАМІКА РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ В СТАВКАХ-ВІДСТІЙНИКАХ ОЧИСНИХ СПОРУД ПІВДЕННО- УКРАЇНСЬКОЇ АЕС І ПРИЛЕГЛИХ ДО НИХ РІЧКОВИХ СИСТЕМ

*Проаналізовано результати двадцятирічних (1985-2004 рр.) досліджень радіоактивності водних об'єктів, пов'язаних з діяльністю Південно-Української АЕС. Показано, що динаміка радіоактивності цих водних об'єктів залежить від радіоактивного стану технологічних водойм АЕС.*

*At work we have done mark of radioactivity of water system of South Ukrainiane NPP (1985-2004 years). The dynamics of radioactivity in this water system dependent from radioactivity of technologic water objects of SU NPP.*

**А**ЕС виробляють майже 50% електроенергії в Україні, що свідчить про їхню економічну необхідність для нашої держави. В той же час, як свідчать численні радіоекологічні дослідження навколо АЕС, діяльність їх помітно впливає на радіаційний стан прилеглих територій [1, 2, 12].

Внаслідок надходження радіонуклідів у навколишнє середовище в процесі виробництва ядерної енергії, дослідження міграції радіонуклідів у водних екосистемах залишаються надзвичайно актуальними. Особливої уваги заслуговують дослідження з вивчення поведінки радіонуклідів у водних екосистемах, які гідродинамічно пов'язані зі ставками-охолоджувачами та іншими технологічними водоймами АЕС, з яких “станційні” радіонукліди можуть переходити у річкові і зрошувальні

системи.

## **Матеріали та методи досліджень**

Дослідження проводилися в ставках-відстійниках очисних споруд каналізаційної системи Південно-Української АЕС і прилеглих до них річкових системах (рр. Арбузинка, Мертвовод) (рис. 1) протягом 1986-2004 рр. Досліджувались вода, донні відкладення, водорості. Радіометрія проб на вміст  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$  проводилася в науково-дослідній лабораторії “Ларані” з 2001 р. – в лабораторії зовнішньої дозиметрії ПУ АЕС та в Інституті КЮіГІ НАН України (м. Київ). Методи дослідження: рідинно-сцинтиляційна радіометрія  $^3\text{H}$  на установці “Бета-2” і “Quantulus-1020”. Радіометрія дочірнього продукту  $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$  здійснювалась на низькофоновій установці УМФ-1500. Вимірювання гамма-випромінюючих

радіонуклідів проводилося за допомогою спектрометричного комплексу АІ-1024-95 з напівпровідниковим детектором ДГДК-125В. Похибка вимірювань складала 5-15%. Вірогідність отриманих результатів підтверджувалася за допомогою статистично-математичних методів [5-7].

#### Результати та їх обговорення

Рідкі промислові та каналізаційні скиди ПУ АЕС після очищення їх на очисних спорудах

ГФК через три ставки-відстійники з початку роботи АЕС до 1993 р. надходили у р. Арбузинку, а далі – у р. Мертвовод, яка біля м. Вознесенська впадає до Південного Бугу. За 8 км до впадіння р. Арбузинки у р. Мертвовод розташоване руслове Трикратське водосховище, а на р. Мертвовод, за 15 км до її впадіння в р. Південний Буг – руслове Таборівське водосховище (рис. 1). Води з цих водоймищ використовуються для зрошення прилеглих до



Рис. 1. Схема водної системи

З середини 1993 р. рідкі скиди ПУ АЕС вже не надходять до р. Арбузинки, а перекачуються зі ставок-відстійників до ставка-охолоджувача АЕС (Ташликське водосховище). За даними багаторічних досліджень, основний внесок у сумарну радіоактивність вод біоставків-відстійників ПУ АЕС надавали  $^{137}\text{Cs}$  та  $^3\text{H}$ , а такі радіонукліди, як  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , що реєструвалися в середньому в кількості 0,050-0,100 Бк/л тільки на початку роботи станції (1987-1989рр.), суттєво не впливали на сумарний

рівень радіоактивності води.

Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у воді ставок-відстійників в 1988-97 рр. знаходився в межах 0,04-0,12 Бк/л, що в 5-10 разів вище за рівень його вмісту у воді поверхневих водойм цього регіону (рис. 2).

Вміст  $^3\text{H}$  у воді ставок-відстійників очисних споруд АЕС у 1990 р. складав  $1480 \pm 520$  Бк/л. У наступні роки ця величина знизилася, але до 2004 р. залишалася на рівні, не нижчому за 300 Бк/л (рис. 3).

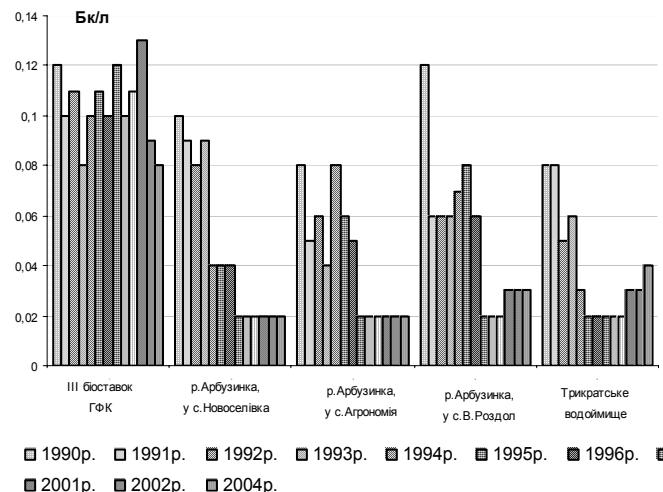


Рис. 2. Динаміка вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у воді водних об'єктів, пов'язаних з діяльністю ПУ АЕС

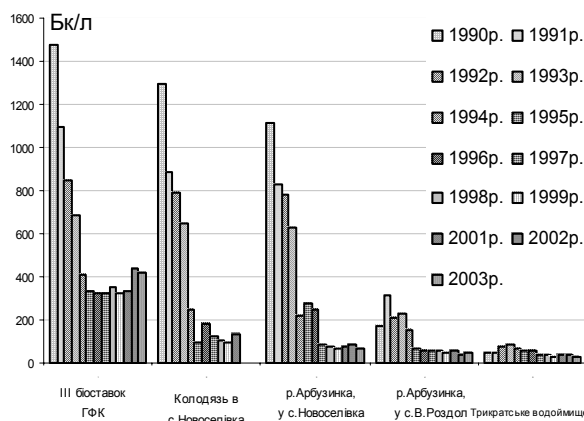


Рис. 3. Динаміка вмісту  $^3H$  у воді водних об'єктів, пов'язаних з діяльністю ПУ АЕС

Вміст  $^{90}Sr$  у воді ставків-відстійників тримався протягом двадцяти років в межах 0,02-0,08 Бк/л. Лише у 1999 р. середня концентрація підвищилась до 0,62 Бк/л.

Рівні концентрацій радіонуклідів ( $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^3H$ ) у воді впливали, відповідно, на активність цих радіонуклідів в донних відкладеннях і в водоростях ставків-відстійників. Також і водні компоненти реагували на ступінь присутності  $^{54}Mn$ ,  $^{60}Co$  у воді.

В той же час спостерігалась затримка деякої кількості радіонуклідів в донних відкладеннях після зниження їхнього вмісту у воді. Так, якщо в 1989-90 рр. концентрація  $^{60}Co$  знизилася у воді в 2 рази, то вміст цього радіонукліду в донних відкладеннях залишався незмінним, а в 1999 р. навіть підвищився. Це пояснюється, в основному, нестабільністю гідродинамічних і фізико-хімічних умов в ставках-відстійниках (різною кількістю надходження атмосферних опадів, органічних речовин каналізаційних вод, змінами  $pH$  та напрямків течії в водоймищах), що суттєво впливало на процеси сорбції-десорбції радіонуклідів мулами).

Більш пропорційні співвідношення концентрацій у воді і в компонентах водного об'єкта зберігалися для  $^3H$  і  $^{137}Cs$ . Кожна зміна концентрацій цих радіонуклідів у воді відповідно відгукувалась на рівнях їх активності у компонентах водного об'єкта.

Концентрація  $^{90}Sr$  у воді, за винятком 1986-87 років, зберігалась на рівні 0,02-0,08 Бк/л. Активність цього радіонукліда в донних відкладеннях знаходилась на рівні 5-8 Бк/кг, а в нитчастих водоростях – на рівні 2-5 Бк/кг.

Концентрація  $^3H$  у воді в 1995-2001 рр. значно (в 3-4 рази) знизилась у порівнянні з 1990-1992 роками і складала 300-400 Бк/л. В 2001-2004 роках активність  $^3H$  у воді дещо збільшилась (до 400-500 Бк/л). Підвищилась його активність в донних відкладеннях і в водоростях.

Неоднакові об'єми скидних каналізаційних вод (11 млн. м<sup>3</sup>/рік) та річкових (6 млн. м<sup>3</sup>/рік) призвели до того, що перші відігравали визначальну роль у формуванні річкового стоку і радіаційного обстановки рр. Арбузинки, Мертвовод та їх руслових водосховищ.

Вміст  $^{90}Sr$  і  $^{137}Cs$  у воді річок протягом 1985-

90 років тримався на рівні: 0,03-0,07 Бк/л (для  $^{90}Sr$ ), 0,05-0,20 Бк/л (для  $^{137}Cs$ ). Лише у 1986-87 роках концентрації радіонуклідів у воді піднялись до 0,14-0,15 Бк/л ( $^{90}Sr$ ), 0,16-0,25 Бк/л ( $^{137}Cs$ ). Активність  $^3H$  у воді трималась на високому рівні: 600-1100 Бк/л в місці впадіння каналізаційних скидів в р. Арбузинку і 400-600 Бк/л – в Трикратьському водоймищі. Після 1993 року, коли каналізаційні води почали перекачувати у Ташликське водоймище, активність  $^3H$  суттєво зменшилась: до 200 Бк/л в річці поблизу с. Новоселівка і до 60-80 Бк/л в Трикратьському водоймищі (рис. 2). У 2000-2004 роках активність  $^3H$  у воді річок знизилась до 30-80 Бк/л.

Концентрації  $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$  тримались на рівнях 0,03-0,07 Бк/л, причому активність  $^{90}Sr$  в деякій мірі була вищою.

Компоненти (донні відкладення і водорості) річкової екосистеми відповідно реагували на динаміку активності  $^3H$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$  у воді. Так, в 1986-87 роках активність  $^{90}Sr$  і  $^{137}Cs$  у водних компонентах піднялась майже у 2 рази:  $^{90}Sr$  – до 12-13 Бк/кг,  $^{137}Cs$  – до 30-40 Бк/кг (водорості) і до 70-100 Бк/кг (донні відкладення). В подальшому вміст цих радіонуклідів поступово знижувався. Лише  $^{137}Cs$  до 1993 року продовжував утримуватися в мулі і в водоростях на рівні 60-90 Бк/кг і 30-50 Бк/кг відповідно [8-11].

Вміст  $^{90}Sr$  у воді і в водних компонентах водойм, пов'язаних з ПУ АЕС, протягом останніх 15 років тримався на рівнях: у воді – 0,02-0,05 Бк/л, в донних відкладеннях – 2-4 Бк/кг, в водоростях – 3-5 Бк/кг.

Забруднення  $^{137}Cs$  річкової води та донних відкладень р. Арбузинки внаслідок багаторічного скиду до річки забруднених каналізаційних вод ПУ АЕС, стало причиною підвищення вмісту  $^{137}Cs$  у воді р. Мертвовод і в руслових водоймищах: Трикратьського (в руслі р. Арбузинки) і Таборівського (в руслі р. Мертвовод).

Тривалий скид каналізаційних вод ПУ АЕС в р. Арбузинку мав суттєвий вплив також на вміст  $^3H$  у воді цих водоймищ. Так, зміни вмісту  $^3H$  у водоймищах кореляційно пов'язані ( $r = 0,8$ ) зі змінами вмісту цього радіонукліда у ставку-відстійнику (рис. 4).

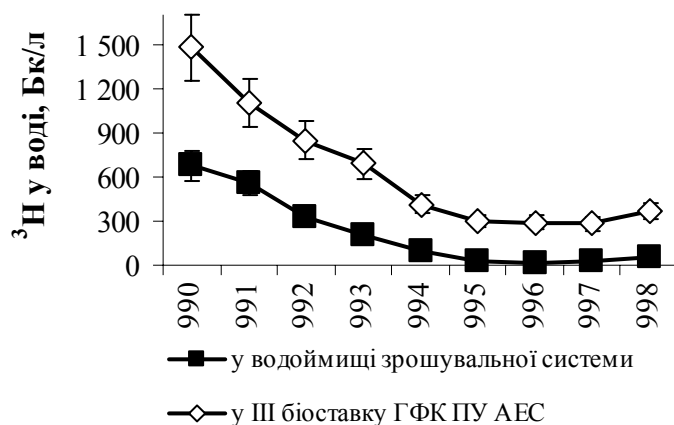


Рис. 4. Динаміка вмісту  $^3\text{H}$  у Трикратському водоймищі та у воді біоставка ГФК ПУ АЕС

Хоча сьогодні надходження  $^3\text{H}$  до водосховищ з річковою водою припинилося, але через існуючий процес природної фільтрації вод зі ставка-відстійника ГФК ПУ АЕС у підземні горизонти, продовжується потрапляння  $^3\text{H}$  у річкову воду і в руслові водоймища [3, 4].

За результатами досліджень розраховані коефіцієнти накопичення “станційних” радіонуклідів у компонентах ставка-відстійника ГФК АЕС та річок Арбузинка і Мертвовод (табл. 1, 2).

Таблиця 1  
Коефіцієнти накопичення радіонуклідів донними відкладеннями і водоростями ставків-відстійників ГФК ПУ АЕС

M±m

Радіонуклід	1986 р.	1988 р.	1990 р.	1992 р.	1994 р.	1997 р.	2000 р.	2002 р.	2004 р.	Середнє значення
<i>Для донних відкладень</i>										
$^{90}\text{Sr}$	116±24	105±34	74±23	130±27	260±68	153±47	120±32	225±88	250±45	160±65
$^{137}\text{Cs}$	302±35	769±83	708±94	850±91	740±81	413±58	443±43	860±90	830±86	657±84
$^3\text{H}$	0,3±0,2	0,4±0,2	0,4±0,2	0,6±0,2	0,7±0,3	0,6±0,2	0,4±0,2	0,6±0,3	0,4±0,2	0,5±0,2
<i>Для водоростей</i>										
$^{90}\text{Sr}$	91±16	108±36	101±25	110±33	210±35	123±28	68±27	110±22	130±52	116±37
$^{137}\text{Cs}$	91±26	213±46	233±51	230±42	252±48	260±37	197±16	405±46	480±72	260±50
$^3\text{H}$	0,5±0,2	0,6±0,2	0,6±0,2	0,4±0,2	0,7±0,3	1,3±0,4	0,5±0,2	0,5±0,2	0,5±0,2	0,6±0,3

Таблиця 2  
Коефіцієнти накопичення радіонуклідів донними відкладеннями і водоростями прилеглих до ПУ АЕС річкових систем (рр. Арбузинка, Мертвовод)

M±m

Радіонуклід	1986 р.	1988 р.	1990 р.	1992 р.	1994 р.	1997 р.	2000 р.	2002 р.	2004 р.	Середнє значення
<i>Для донних відкладень</i>										
$^{90}\text{Sr}$	103±22	40±15	80±26	60±25	54±18	55±17	130±35	90±24	90±18	78±28
$^{137}\text{Cs}$	370±42	385±47	840±97	1120±198	1035±205	195±26	135±48	127±30	210±30	490±66
$^3\text{H}$	0,5±0,2	0,9±0,3	0,5±0,2	0,5±0,2	0,7±0,3	0,7±0,3	0,6±0,3	0,6±0,3	0,8±0,3	0,7±0,3
<i>Для водоростей</i>										
$^{90}\text{Sr}$	106±26	140±37	132±28	72±18	73±26	88±34	180±54	190±60	140±46	130±43
$^{137}\text{Cs}$	163±18	154±43	414±75	570±68	703±88	660±88	370±66	270±40	405±50	412±87
$^3\text{H}$	1,2±0,4	1,0±0,3	0,5±0,3	0,9±0,3	0,9±0,3	1,0±0,3	0,5±0,2	0,5±0,2	0,5±0,2	0,8±0,3

Середні коефіцієнти накопичення для донних відкладень ставків-відстійників ГФК АЕС склали: по  $^{90}\text{Sr}$  –  $160 \pm 65$ , по  $^{137}\text{Cs}$  –  $657 \pm 84$ , по  $^3\text{H}$  –  $0,5 \pm 0,2$ ; для водоростей по  $^{90}\text{Sr}$  –  $116 \pm 37$ ,  $^{137}\text{Cs}$  –  $260 \pm 50$ ,  $^3\text{H}$  –  $0,6 \pm 0,3$ .

Середні коефіцієнти накопичення для донних відкладень рр. Арбузинки, Мертвод: по  $^{90}\text{Sr}$  –  $78 \pm 28$ , по  $^{137}\text{Cs}$  –  $490 \pm 66$ , по  $^3\text{H}$  –  $0,7 \pm 0,2$ ; для водоростей по  $^{90}\text{Sr}$  –  $130 \pm 43$ , по  $^{137}\text{Cs}$  –  $412 \pm 87$ , по  $^3\text{H}$  –  $0,8 \pm 0,3$ .

#### Висновки:

1. Коефіцієнти накопичення показали неоднакову здібність до концентрування

радіонуклідів з води ставків-охолоджувачів ГФК і прилеглих річкових систем: найбільший КН для донних відкладень ставків-біоочищення ГФК зафіксований для  $^{137}\text{Cs}$  ( $651 \pm 84$ ), найменший – для  $^3\text{H}$  ( $0,5 \pm 0,2$ ).

2. Зміни активностей радіонуклідів у воді ставків-біоочищення ГФК безпосередньо впливали на рівень їхніх активностей у воді прилеглих річкових систем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р.М., Крышев И.И., Фесенко С.В., Санжарова Н.А. Радиоэкологические проблемы ядерной энергетики // Атомная энергия. – М., 1990. – Т. 68. – Вып. 5. – С. 320-328.
2. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Радіоекологічні аспекти зрошувального землеробства півдня України: Монографія. – Миколаїв: МДГУ, 2006. – 264 с.
3. Григор'єва Л.І. Тритій у радіоекологічних проблемах зрошувального землеробства // Вісник державного агроєкологічного університету. – №1. – Житомир. – 2003. – С. 99-109.
4. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Динаміка розповсюдження  $^3\text{H}$  у водному середовищі навколо ПУ АЕС (1990-2001 рр.) /36. наукових праць VIII науково-методичної конференції “Людина та навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в ВУЗах”. – Одеса. – 2002. – С. 42-44.
5. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды /Под ред. П.Н. Марья и А.С. Зыковой. – М., 1980. – 336 с.
6. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. – М., 1982. – 236 с.
7. Тейлор, Джон. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985. – 250 с.
8. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Динаміка активності радіонуклідів у водоростях річкових екосистем, гідродинамічно пов'язаних з ПУ АЕС за двадцятирічний термін її роботи // Науковий вісник Волинського держуніверситету імені Л. Українки. – №5. – Луцьк, 2006. – С. 98-101.
9. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І., Блохін О.І. Рівні вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у воді ставка-охолоджувача ПУ АЕС в період 1999-2004 рр. // Наукові праці МДГУ. – Т. 53. – Вип. 40. – Миколаїв, 2006. – С. 35-41.
10. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  водними компонентами р. Південний Буг / Матеріали науково-практичної конференції “Парадигми сучасної радіобіології: Радіаційний захист персоналу об'єктів атомної енергетики”. – Київ; Чорнобиль, 2004. – С. 10-11.
11. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Радіємність водоймищ, пов'язаних з роботою Ташликської АЕС / Матеріали ІХ наук.-мет. конф. “Людина та навколишнє середовище”. – Одеса: Вид-во ОДАХ, 2004. – С. 131.
12. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда // За ред. Н.С. Александрова. – М: Энергоатомиздат, 1984. – 311 с.