

УДК 621.039:504.4.054

*В.М. Васильченко¹, М.М. Давидов¹, О.М. Масько¹, П.А. Чернов²*¹ ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування» (ДП «ДНІЦ СКАР»)

Міненерговугілля України, м. Київ

² Міненерговугілля України, м. Київ**МОНІТОРИНГ ТРИТІУ В ПРИРОДНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМАХ УКРАЇНИ**

Наводяться основні результати багаторічного експериментального вивчення динаміки розповсюдження тритію в поверхневих природних водоймах, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України.

Ключові слова: тритій, радіоекологія, атомна електростанція, поверхнева водойма.

Діюча АЕС, навіть за нормальних умов експлуатації, є джерелом надходження радіоактивних речовин до навколишнього середовища. Основними шляхами надходження радіонуклідів до навколишнього середовища є рідкі скиди та газо-аерозольні викиди радіонуклідів інертних газів, йоду, цезію, кобальту, тритію та вуглецю.

Тритій — один з основних радіоактивних компонентів водних скидів АЕС з реакторами типу ВВЕР. Джерелами утворення тритію є процеси поділу та активації елементів, розчинених у теплоносії, в першу чергу бору. На енергоблоці потужністю 1000 МВт річне напрацювання тритію становить 15 000—20 000 Кі. Сьогодні на АЕС не існує очисних систем, які можуть ефективно видаляти тритій з води. Складності у поводженні з тритієм обумовлені тим, що після його надходження до води у газоподібній формі Т₂ або ТН він швидко заміщує атом водню і входить до складу молекули надважкої води ТНО, що хімічно ідентична молекулі звичайної води Н₂О. Таким чином, частина напрацьованого тритію виноситься до навколишнього середовища із скидними водами та може давати суттєвий внесок у дозові навантаження на людину.

Отже, організація та здійснення моніторингу розповсюдження тритію у природних поверхневих водоймах, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України, є важливою складовою частиною системи відомчого моніторингу навколишнього природного середовища Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

У статті наводяться результати моніторингу тритію у поверхневих природних водоймах України, зокрема в річках Дніпро, Прип'ять, Десна, Стир, Горинь та Південний Буг.

Організація моніторингу тритію та об'єкти контролю. За завданням Міненерговугілля України моніторинг тритію в природних поверхневих водоймах виконував ДНІЦ СКАР з 2007 по 2012 роки.

Метою моніторингу тритію є збирання, оброблення, зберігання та аналіз інформації про стан вод, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у сфері використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів.

Вимоги щодо розміщення точок відбору проб на водоймах, періодичність і терміни контролю, а також вимоги до відбору проб, приготування вимірювальних зразків, порядку проведення й обробки результатів вимірів вмісту тритію в них встановлено нормативним документом Міненерговугілля України «Моніторинг тритію у поверхневих водних об'єктах, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України. Методичні вказівки. СОУ-Н ЯЕК 1.008:2008.» [1].

Об'єктами моніторингу тритію є води поверхневих водойм, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України, зокрема річки П. Буг, Стир, Горинь, Прип'ять та ключова водна артерія України — р. Дніпро (табл. 1).

Відповідно до вимог СОУ-Н ЯЕК 1.008:2008 моніторинг тритію здійснювався у 2007—2012 роках у режимі поточного моніторингу. Згідно з цим режимом проби води на вміст тритію відбиралися в такі терміни:

весняна повінь (ВП) — квітень—травень;

літня межень (ЛМ) — серпень—вересень;

осінньо-зимова межень (ОЗМ) — листопад—

грудень.

Вміст тритію у воді водних об'єктів визначався в таких місцях:

у вхідному створі АЕС (3—10 км уверх за течією від точки водозабору АЕС);

у вихідному створі на межі зони спостереження АЕС (25—30 км униз за течією від точки скиду води з водойми-охолоджувача);

у 5—10 км від гирла річки або місця виходу річки за державний кордон України.

Поточний моніторинг вмісту тритію у воді р. Дніпро здійснювався на Київському та Каховському водосховищах Дніпровського каскаду на відстані 5—10 км від греблі.

Таблиця 1. Місця розташування точок контролю тритію на водоймах у режимі поточного моніторингу

Точка контролю	Водойма	Населений пункт
Вхідний створ Рівненської АЕС	р. Стир	Маюничі
Вихідний створ Рівненської АЕС	р. Стир	Мульчиці
Вихід за державний кордон	р. Стир	Зарічне
Вхідний створ Хмельницької АЕС	р. Горинь	Полянь
Вихідний створ Хмельницької АЕС	р. Горинь	Бугрин
Вихід за державний кордон	р. Горинь	Селець
Вхідний створ Запорізької АЕС	р. Дніпро	Іванівка
Вихідний створ Запорізької АЕС	р. Дніпро	Вел. Знамінка
Вхідний створ Южно-Української АЕС	р. П. Буг	Панкратове
Вихідний створ Южно-Української АЕС	р. П. Буг	Прибужани
Київське водосховище	р. Дніпро	Лютіж
Каховське водосховище	р. Дніпро	Каховка
Гирло річки	р. Прип'ять	Чорнобиль
	р. Десна	Хотянівка
	р. Псьол	Кияшки
	р. Ворскла	Кобеляки
	р. Інгулець	Дар'ївка
	р. Інгул	Мішково-Погорілове

На транскордонних річках та на річках, які гідравлічно не з'єднані із скидними каналами АЕС (фонові створи), місця контролю вмісту тритію розташовувались у гирлах цих річок. Зокрема, в режимі поточного моніторингу тритію відбір проб здійснювався в гирлах річок Десна, Псьол, Ворскла, Інгулець та Інгул.

Проби води на поверхневих водоймах відбиралися з поверхневого шару. Глибина відбору проб води становила 0,2—0,5 м.

Вміст тритію в пробах води визначався атестованою лабораторією фізико-хімічного аналізу ДНІЦ СКАР. Після дистиляції проби води готувався вимірювальний зразок на основі сцинтиляційної суміші OptiPhase-HiSafe-3 (фірми PerkinElmer) у співвідношенні проба : сцинтилятор 5:7 або 8:12. Вимірювання проводилось у скляних віалах місткістю 20 см³. Мінімальна детектована активність вимі-

рювання тритію дорівнювала 4,5 Бк/дм³ за час експозиції 60000 с.

Результати моніторингу тритію у воді річок. У створах *р. Горинь*, де проводилися дослідження, спостерігається збільшення вмісту тритію у вихідному створі, яке вірогідно обумовлено викидами й скидами тритію в процесі експлуатації Хмельницької АЕС (ХАЕС). При цьому максимальний вміст тритію спостерігається в літню та осінньо-зимову межень (10—30 Бк/дм³), коли витрата води в річці мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді *р. Горинь* суттєво не змінювався і становив у середньому на вихідному створі в осінньо-зимову межень 14 Бк/дм³, у літню межень — 24 Бк/дм³, у весняну повінь — 10 Бк/дм³ (рис. 1).

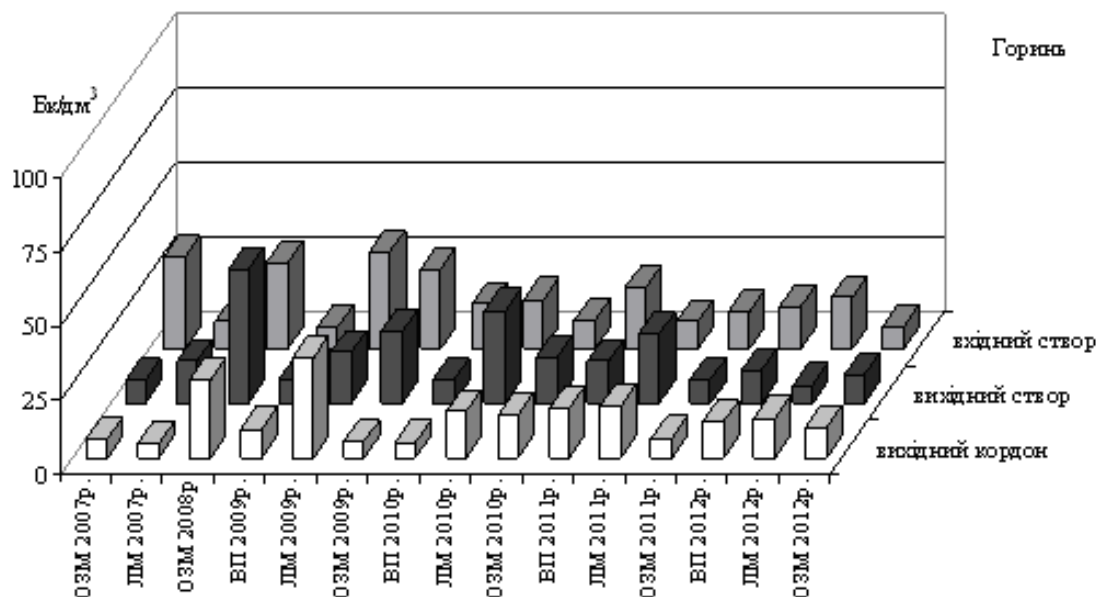


Рис. 1. Динаміка вмісту тритію у воді *р. Горинь* у районі розташування Хмельницької АЕС

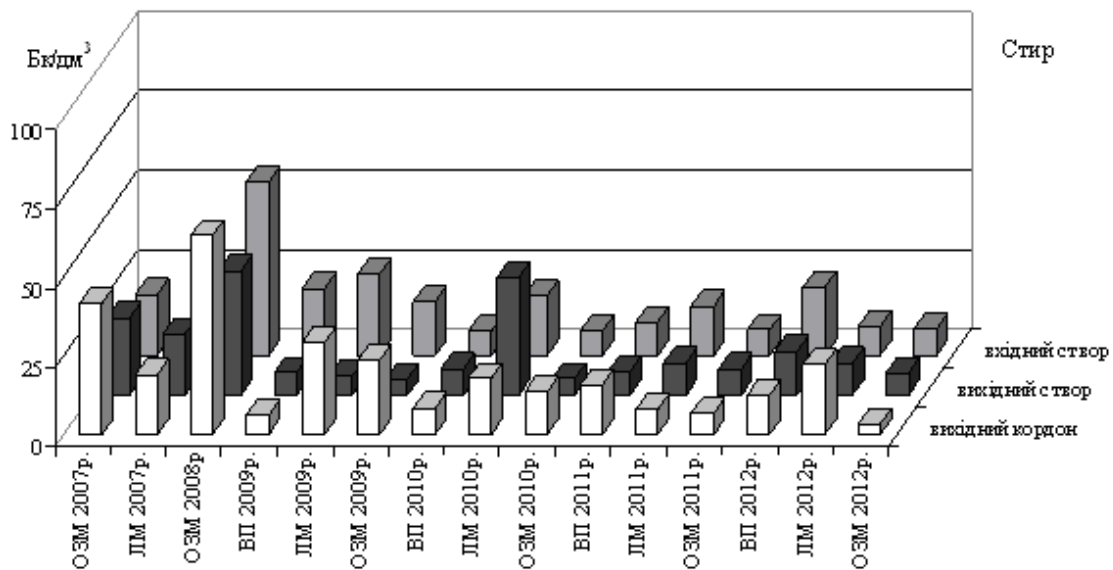


Рис. 2. Динаміка вмісту тритію у воді р. Стир у районі розташування Рівненської АЕС

Як видно з рис. 2, на створах *р. Стир* спостерігається коливання вмісту тритію у воді, яке вірогідно обумовлено викидами й скидами тритію при експлуатації Рівненської АЕС (РАЕС).

Максимальні концентрації тритію у воді р. Стир дещо більші, ніж відповідні значення у воді р. Горинь. Можливо, це пов'язано, по-перше, з більшою, порівняно з ХАЕС, кількістю енергоблоків, що експлуатуються на РАЕС, а по-друге, наявністю на РАЕС градирень, водяна пара з яких конденсується й випадає в зоні спостереження РАЕС у вигляді атмосферних опадів.

При цьому максимальний вміст тритію у вихідному створі спостерігається в літню та осінньо-зимову межень (20—50 Бк/дм³), коли витрата води в річці мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді на вихідному створі суттєво не змінювався і становив

у середньому в осінньо-зимову межень 6 Бк/дм³, у літню межень — 16 Бк/дм³, у весняну повінь — 8 Бк/дм³.

На створах Каховського водосховища *р. Дніпро* спостерігаються коливання вмісту тритію у воді (рис. 3), яке обумовлено викидами й скидами тритію при експлуатації Запорізької АЕС (ЗАЕС).

При цьому максимальний вміст тритію у вихідному створі ЗАЕС спостерігається в літню та осінньо-зимову межень (20—40 Бк/дм³), коли витрата води в річці мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді на вихідному створі ЗАЕС суттєво не змінювався і становив у середньому в осінньо-зимову межень 16 Бк/дм³, у літню межень — 22 Бк/дм³, у весняну повінь — 20 Бк/дм³. Наявність великої маси води у Каховському водосховищі згладжує сезонну різницю у величинах забруднення води тритієм.

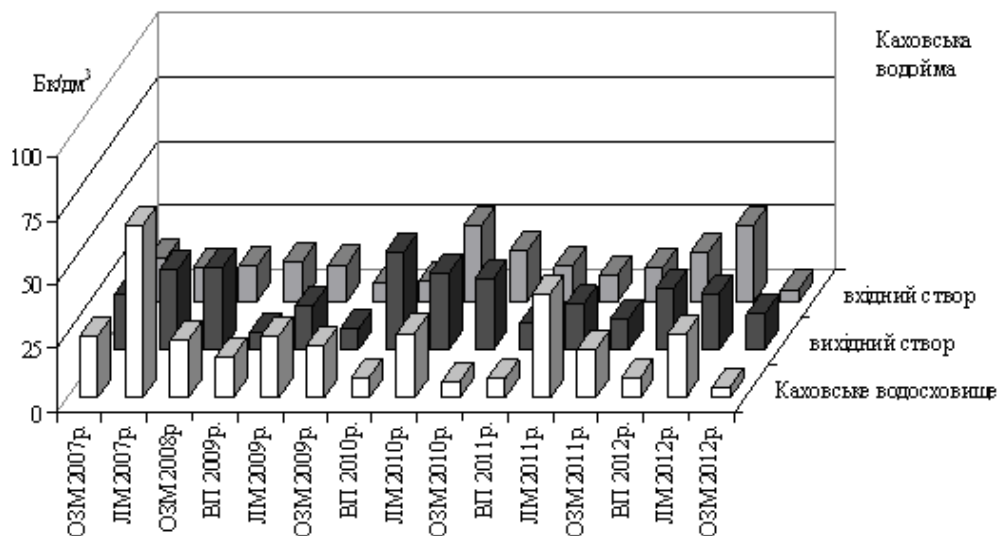


Рис. 3. Динаміка вмісту тритію у воді вхідного і вихідного створів Запорізької АЕС та Каховського водосховища в районі розташування станції

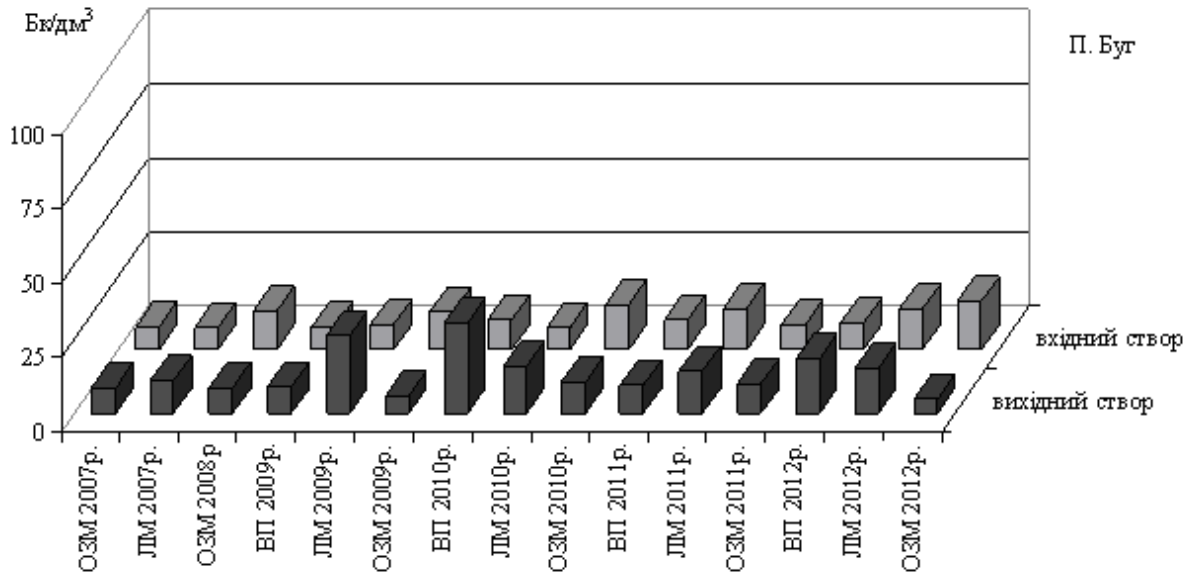


Рис. 4. Динаміка вмісту тритію у воді р. Південний Буг у районі розташування Южно-Української АЕС

На створах *р. Південний Буг* спостерігається коливання вмісту тритію у воді (рис. 4), яке обумовлено викидами й скидами тритію при експлуатації Южно-Української АЕС (ЮУАЕС).

При цьому максимальний вміст тритію у вихідному створі спостерігається у літню та осінньо-зимову межень (15—30 Бк/дм³), коли витрата води в річці мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді на вихідному створі суттєво не змінювався і становив

у середньому в осінньо-зимову межень 7 Бк/дм³, в літню межень — 18 Бк/дм³, у весняну повінь — 16 Бк/дм³.

На рис. 5 наведено динаміку питомої активності тритію у воді на точках контролю річок Прип'ять, Десна, Дніпро (Київське та Каховське водосховища).

Максимальний вплив на вміст тритію у воді *р. Прип'ять* очікується від роботи ХАЕС та РАЕС. У воду *р. Десна* можливе надходження тритію, обумовлене скидами та викидами АЕС, що розташовані в Російській Федерації, — Смоленською та Курською.

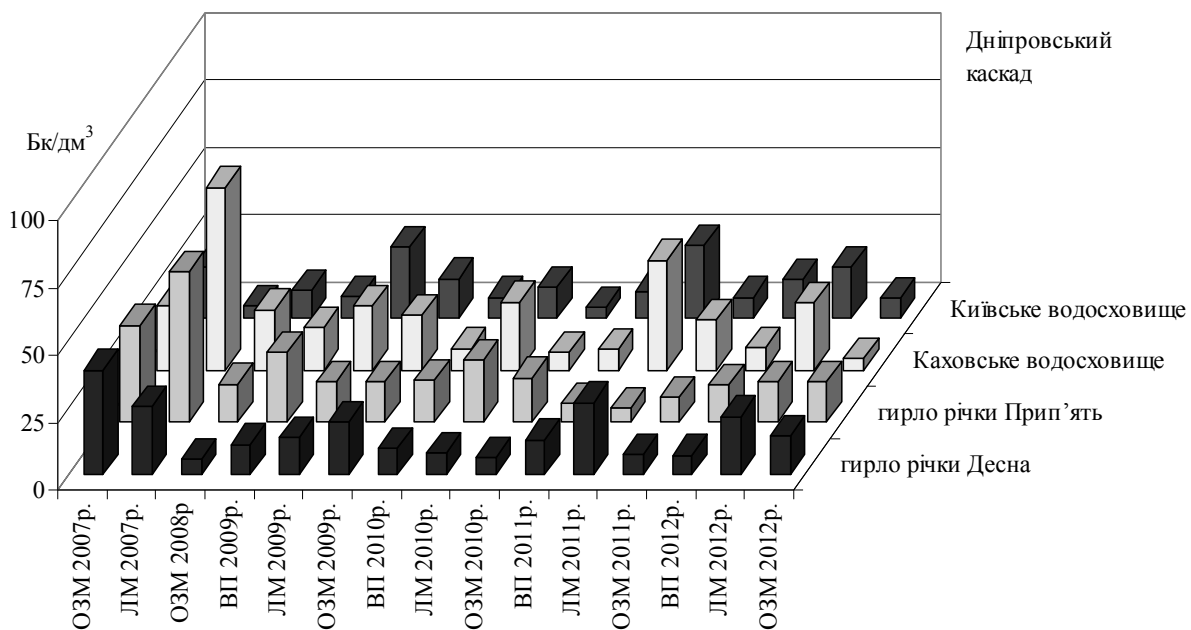


Рис. 5. Динаміка вмісту тритію у воді річок Прип'ять, Десна та Київського і Каховського водосховищ

Максимальний вміст тритію спостерігається в літню і осінньо-зимову межень (20—55 Бк/дм³), коли витрата води в річках мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді гирла р. Прип'ять суттєво не змінювався і становив у середньому в осінньо-зимову межень 14 Бк/дм³, у літню межень — 15 Бк/дм³, у весняну повінь — 16 Бк/дм³.

Вміст тритію у воді гирла р. Десна в окремі періоди спостережень суттєво не змінювався і становив у середньому в осінньо-зимову межень 12 Бк/дм³, в літню межень — 17 Бк/дм³, у весняну повінь — 10 Бк/дм³.

Вміст тритію у воді водосховищ Дніпровського каскаду за період спостережень також суттєво не змінювався і становив у середньому в Київському водосховищі у весняну повінь 9 Бк/дм³, у літню межень — 21 Бк/дм³, у весняну повінь — 10 Бк/дм³; у Каховському водосховищі в осінньо-зимову межень — 13 Бк/дм³, у літню межень — 29 Бк/дм³, у весняну повінь — 10 Бк/дм³.

На рис. 6 наведено динаміку вмісту тритію у воді фонових річок Псьол, Ворскла, Інгулець та Інгул, які гідравлічно не з'єднані із скидними каналами АЕС та вміст тритію в яких переважно обумовлений глобальним кругообігом цього радіонукліду. Точки контролю розташовані в гирлах цих річок.

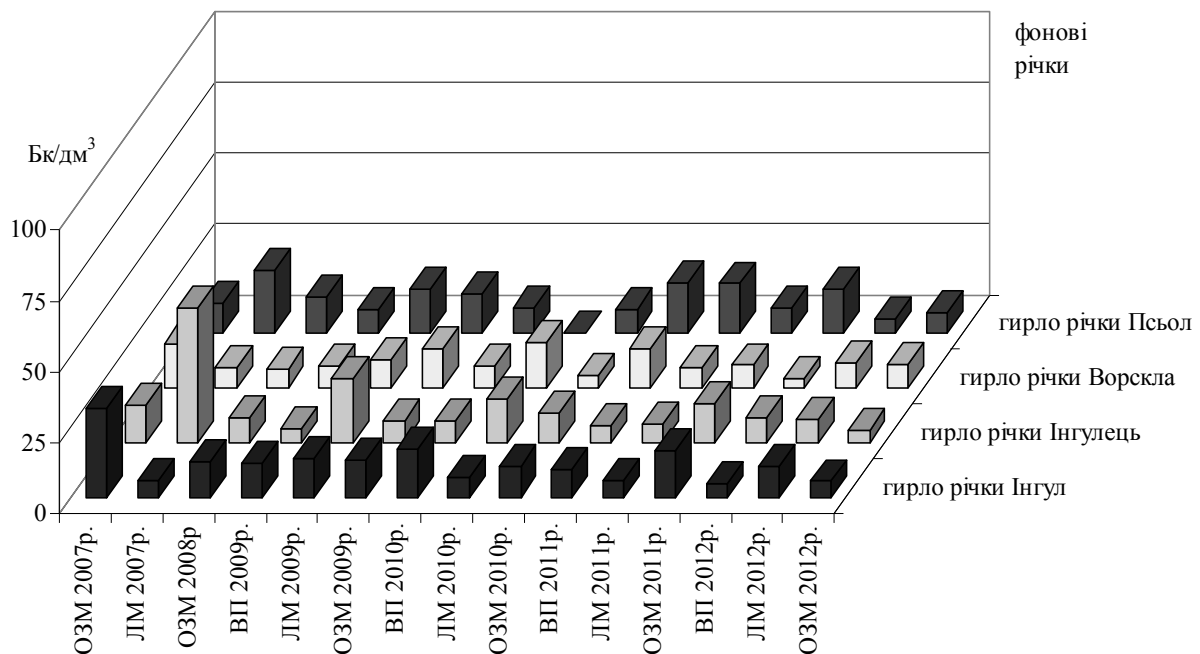


Рис. 6. Динаміка вмісту тритію у воді річок Псьол, Ворскла, Інгулець та Інгул

Максимальний вміст тритію спостерігається в літню і осінньо-зимову межень (10—22 Бк/дм³), коли витрата води в річках мінімальна та, відповідно, відбувається мінімальне розведення скидів.

В окремі періоди спостережень вміст тритію у воді суттєво не змінювався і становив у середньому у весняну повінь 10 Бк/дм³, у літню межень — 11 Бк/дм³, в осінньо-зимову межень — 10 Бк/дм³. Відсутність значних сезонних коливань вмісту тритію у воді цих річок підтверджує, що він обумовлений глобальними випадіннями тритію, а не викидами та скидами діючих АЕС.

Прогноз вмісту тритію у поверхневих водоймах, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України, наведено на рис. 7. Вміст тритію у воді у вихідних створах АЕС на річках Горинь, Стир, П. Буг на наступні 2013—2015 роки очікується на рівні 8—15 Бк/дм³ за нормальних умов експлуатації ХАЕС, РАЕС та ЮУАЕС, із коливаннями, які мають статистичний та сезонний характер. Деякі вищі значення вмісту тритію очікуються у вихідному створі ЗАЕС. Питома активність тритію у воді Каховського водосховища в точках контролю прогнозується на рівні 15—25 Бк/дм³.

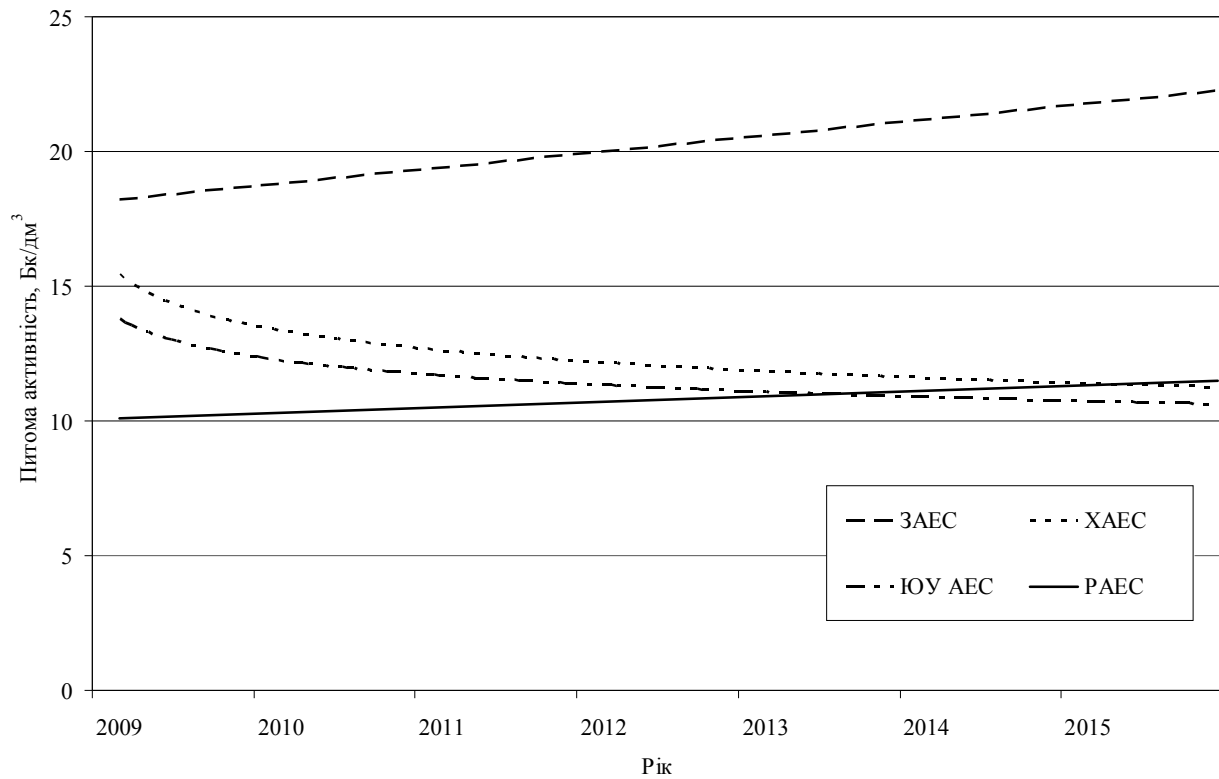


Рис. 7. Динаміка і прогноз вмісту тритію на наступні три роки у вихідних створах АЕС на річках Горинь, Стир, П. Буг і Каховському водосховищі, Бк/дм³

На рис. 8 наведено динаміку і прогноз вмісту тритію на наступні три роки в гирлах річок басейну р. Дніпро: Горинь, Стир, Десна, Прип'ять, а також у Київському і Каховському водосховищах р. Дніпро, які гідравлічно з'єднані із скидними каналами Хмельницької, Рівненської та Запорізької АЕС.

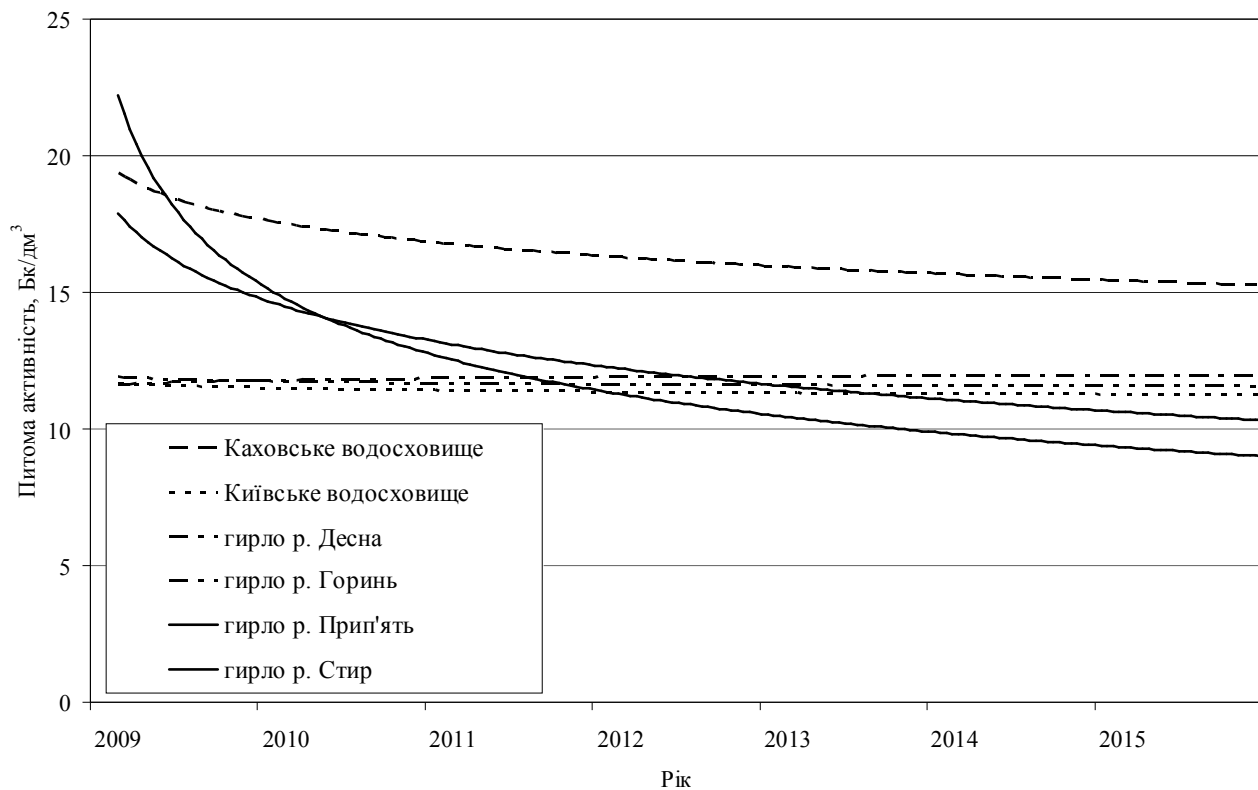


Рис. 8. Динаміка і прогноз вмісту тритію на наступні три роки в гирлі річок басейну р. Дніпро — Горинь, Стир, Десна, Прип'ять, а також Київському і Каховському водосховищах р. Дніпро, Бк/дм³

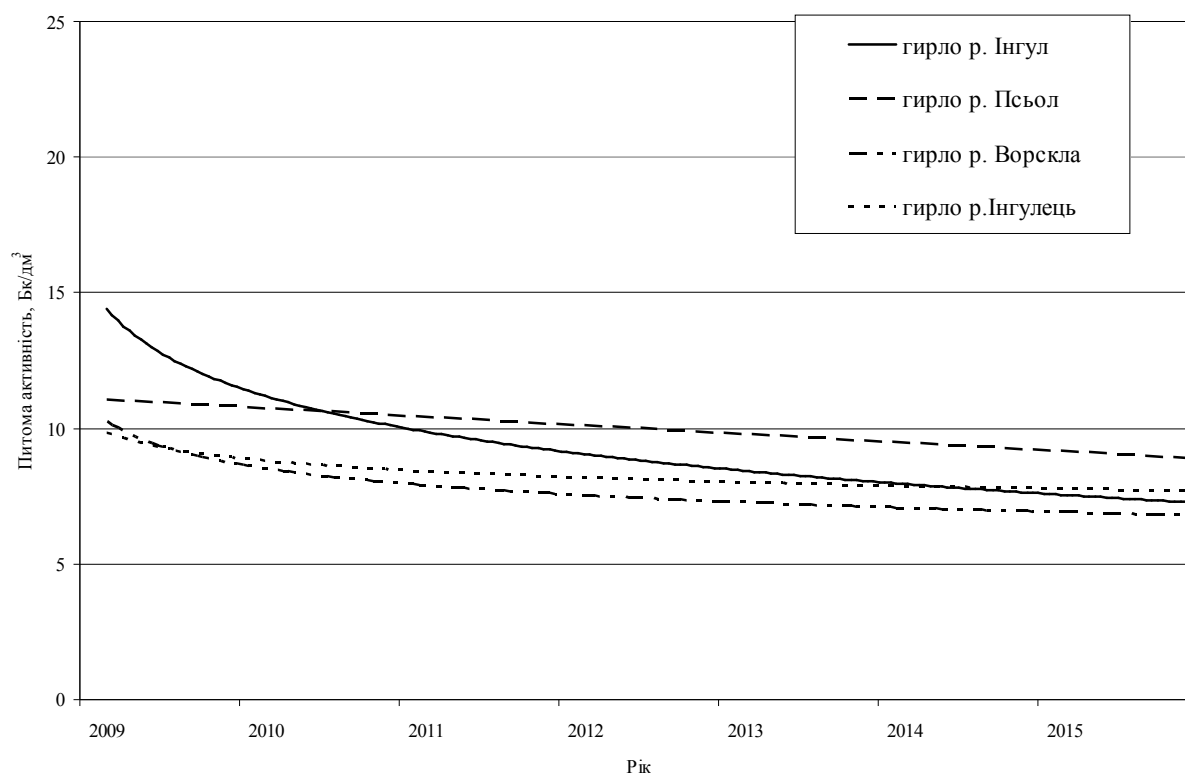


Рис. 9. Динаміка і прогноз вмісту тритію на наступні три роки в гірлі річок Ворскла, Інгул, Інгулець та Псьол, Бк/дм³

За нормальних умов експлуатації АЕС вміст тритію у воді на контрольних створах, що розташовані в гірлах річок Горинь, Стир, Десна, Прип'ять та на Київському водосховищі, у наступні три роки очікується на рівні 8—15 Бк/дм³. Дещо вищі значення вмісту тритію очікуються в Каховському водосховищі в районі розташування ЗАЕС. Питома активність тритію у воді Каховського водосховища в точках контролю прогнозується на рівні 15—25 Бк/дм³. Вміст тритію у воді на контрольних створах, що розташовані в гірлах річок Ворскла, Інгул, Інгулець та Псьол, у наступні три роки очікується на рівні 4—8 Бк/дм³, із коливаннями, які мають статистичний та сезонний характер (рис. 9)

Висновки

Аналіз результатів моніторингу вмісту тритію у поверхневих водних масах, в тому числі гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України, дає змогу зробити такі висновки:

1. За результатами моніторингу 2007—2012 років вміст тритію у воді річок Стир, Горинь, Прип'ять, Дніпро, П. Буг, Десна, Псьол, Ворскла, Інгулець та Інгул не перевищував допустимого вмісту тритію для питної води — 100 Бк/дм³, визначеного стандартом ЄС [2].

Таким чином за нормальних умов експлуатації АЕС України скиди тритію не створюють екологічної небез-

пеки як для навколишнього природного середовища, так і для населення, що проживає в басейнах цих річок та використовує воду для питного постачання.

2. Максимальний вміст тритію в річках Дніпро, П. Буг, Стир і Горинь у районах розташування АЕС за період спостережень з 2007 по 2012 роки знаходився в діапазоні 30—50 Бк/дм³, що лише на 15—20 Бк/дм³ більше ніж у фонових водоймах. Так максимальний вміст тритію на контрольних створах, розташованих у гірлі фонових річок — Ворскла, Інгул, Інгулець та Псьол — складав 10—22 Бк/дм³.

При цьому коливання вмісту тритію мають статистичний і сезонний характер. У період літньої межени вміст тритію у воді дещо більший, ніж під час весняних річкових повеней.

3. Вміст тритію у воді на вихідних створах річок Горинь, Стир, П. Буг у наступні три роки прогнозується на рівні 8—15 Бк/дм³ за нормальних умов експлуатації ХАЕС, РАЕС і ЮУАЕС. Дещо вищі значення вмісту тритію очікуються при експлуатації ЗАЕС. Питома активність тритію у воді Каховського водосховища в точках контролю прогнозується на рівні 15—25 Бк/дм³.

4. Оскільки «Енергетичною стратегією України до 2030 року» [3] передбачається продовження строку експлуатації діючих енергоблоків та введення в експлуатацію ще трьох нових енергоблоків АЕС і, відповідно, зростатиме надходження тритію в навколишнє середовище, то моніторинг тритію у поверхневих водоймах України необхідно виконувати і в майбутньому.

З метою оптимізації досліджень моніторинг тритію доцільно виконувати в співпраці з відділами охорони навколишнього середовища АЕС, які здійснюють спостереження за вмістом тритію у водоймах, розташованих у санітарно-захисних зонах та зонах спостереження АЕС.

Список використаної літератури

1. *СОУ-Н ЯЕК 1.008:2008*. Моніторинг тритію у поверхневих водних об'єктах, гідравлічно з'єднаних із скидними каналами та водоймами-охолоджувачами АЕС України. Методичні вказівки.
2. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the Quality of water Intended for Human Consumption / Official Journal of the European Communities. — 05.12.98. — L.330/32 — L.330/54.
3. Енергетична стратегія України до 2030 року. — Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145-р.

Отримано 10.02.2013