

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС НА ДИНАМІКУ РАДІОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯКІ РОЗТАШОВАНО У ЗОНІ ЇЇ ВПЛИВУ.

Олександр Холопцев\*, Л. Жебет \*\*

\*Севастопольський національний технічний університет

\*\* Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості

**Анотація.** Функціонування Південноукраїнської АЕС суттєво впливає на зміни активності Н-3 у водах Ташликського та Олександрівського водосховищ, хоча практично не змінює динаміку змісту Cs-137, Co-60, Mg-54 у них. Мінливість у цих водоймах активності Sr-90 тим більше, чим більше середні обсяги їх «продувки», що свідчить про впливовість змін режиму випадіння атмосферних опадів у регіоні, які посилюють поверхневий стік до Ташликського водосховища вод з навколишньої території.

**Ключові слова:** АЕС, екологічна безпека, активність радіонуклідів, динаміка, водосховище, кореляція.

### ВСТУП

Динаміка радіологічних режимів водних об'єктів, які використовуються для забезпечення питною та технологічною водою багатьох регіонів Світу, суттєво впливає на здоров'я їх населення, а також особливості суспільного та економічного розвитку[1, 2]. Тому оцінка впливів на неї тих чи інших чинників є актуальною проблемою не тільки геохімії, але й екологічної безпеки.

Одним з головних джерел радіонуклідів, що потрапляють до водних об'єктів, прийнято вважати функціонування розташованих поблизу них АЕС, на яких діють реактори типу ВВЕР[3, 4]. Особливістю цих реакторів є те, що вода, яка охолоджує їх зовнішній контур, періодично потрапляє до водоохолоджувальної водойми, з якої потім частково скидається до тої чи іншої річки, що розташована поблизу них. Оскільки на цю воду впливали небезпечні чинники, що пов'язані з функціонуванням реактору, її прийнято вважати носієм радіонуклідів і тому екологічно небезпечною рідиною.

Розробка атомних реакторів типу ВВЕР була вперше здійснена у СРСР колективом вчених, яким керували академіки І. В. Курчатова та М. А. Доллежаль, а також професор С. М. Фейнберг. Перший енергоблок з ректором ВВЕР почав працювати на Нововоронежській АЕС у 1964 р. [5].

Саме ВВЕР є основним типом реакторів, що працюють на сучасних АЕС України[6]. Однією з них є Південноукраїнська АЕС, яка розташована у Миколаївській області, на східному березі річки Південний Буг, біля міста Південноукраїнськ. До комплексу водних об'єктів, що розташовано у зоні впливу Південноукраїнської АЕС належать річка Південний Буг та водосховища: Ташликське, Проміжне та Олександрівське[7].

Охолодження енергоблоків АЕС, які створено на основі реакторів ВВЕР, здійснюється водою Ташликського водосховища. Ця вода циркулює у зовнішньому контурі кожного реактора, та скидається з нього у це ж водосховище, що використовується як водоохолоджувальна водойма АЕС.

Обсяг Ташликського водосховища складає 86 млн. м<sup>3</sup>, площа його поверхні – 8.6 км<sup>2</sup>, а середня глибина -10м. Його поверхня підтримується на постійному рівні 99.5 м, незважаючи на те, що з неї відбувається випаровування води, її фільтрація через насипну греблю, а також щодобовий скид (т.з. «продувка») до Олександрівського водосховища.

Олександрівське водосховище - найнижче у череді водосховищ, що розташовано на Південному Бугі. Воно використовується у рибогосподарських потребах а також для забезпечення водою населених пунктів, котрі розташовані на його узбережжі. Це досягається завдяки підкачці до Ташликського водосховища води з річки Південний Буг, яка також здійснюється щодобово.

Добовий обсяг підкачки та скиду вод до Олександрівського водосховища визначається середньодобовими витратами води у річці Південний Буг. Таке регулювання водообміну Ташликського водосховища з іншими водними об'єктами у зоні АЕС забезпечує припустимий рівень мінералізації її вод (1201±53 мг/л.), що потрапляють до реакторів, та до Олександрівського водосховища (при продувках). Деякий вплив на екологічний стан Ташликського водосховища здійснюють фільтраційний потік з шламонакопичувача Південноукраїнської АЕС, який розташовано поруч з ним, поверхневий та підземний стік з навколишньої території, а також очисних споруд міста Південноукраїнськ.

Головним чинником, що визначає динаміку гідрохімічних та радіологічних режимів Ташликського, а також Олександрівського водосховищ є зміни відповідних характеристик вод річки Південний Буг.

Площа басейну цієї річки до створу Олександрівського водосховища – 46200км<sup>2</sup>. У його межах розташовано 110 водосховищ, сумарний об'єм яких дорівнює 1 км<sup>3</sup>. З них сезонне регулювання річкового стоку здійснюють лише Ладижинське водосховище, обсягом 72 млн.м<sup>3</sup> та рибні пруди, сумарний обсяг яких досягає 75 млн.м<sup>3</sup>.

Середні багаторічні витрати річки Південний Буг – 91.3 м<sup>3</sup> /с. Живлення річки здійснюється не тільки поверхневим, але й підземним стоком з території її басейну, який здійснюється через породи Українського кристалічного щита, що містять граніти. Її води є мало мінералізованими (солоність -556±67 мг/л) та належать до гідро-карбонатного класу кальцієвої групи[8]. Вони характеризуються також складним радіологічним складом, та суттєвою залежністю активності його компонентів від часу. Тому зміни активності деяких радіонуклідів у водних об'єктах, що розташовані у зоні впливу Південноукраїнської АЕС, можуть бути викликані не тільки особливостями її функціонування, але й багатьма іншими причинами [9-11].

Серед радіонуклідів, що присутні у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховищ, до найбільш активних належать: Н-3, SR-90, Cs-137, Со-60, Mg-54. За період функціонування Південноукраїнської АЕС їх активність у зазначених водних об'єктах змінювалась у декілька разів. Разом з тим роль АЕС у змінах їх активності є дослідженою недостатньо, що не дозволяє оцінити реальну

ефективність заходів, щодо забезпечення радіаційної безпеки, що вживаються на неї, та визначити напрямки їх удосконалення.

Ураховуючи на це як об'єкт дослідження обрано зміни активності Н-3, SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховища у період функціонування Південноукраїнської АЕС.

Предметом дослідження є оцінка впливу Південноукраїнської АЕС на сучасну динаміку активності зазначених радіонуклідів у згаданих водних об'єктах.

Метою дослідження є визначення ефективних напрямків подальшого розвитку систем попередження радіаційного забруднення навколишнього середовища, що діють на АЕС, енергоблоки яких побудовано з використанням реакторів типу ВВЕР.

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Для досягнення зазначеної мети розглядалися часові ряди, що відображають динаміку активності Н-3, Sr-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у водах річки Південний Буг за межами зони впливу Південноукраїнської АЕС, Ташликського водосховища, поблизу шандори, через яку здійснюється «продувка», та Олександрівського водосховища, поблизу випуску «продувних» вод. Розташування пунктів, у яких відбирались проби води з цих об'єктів представлено на рис. 1.

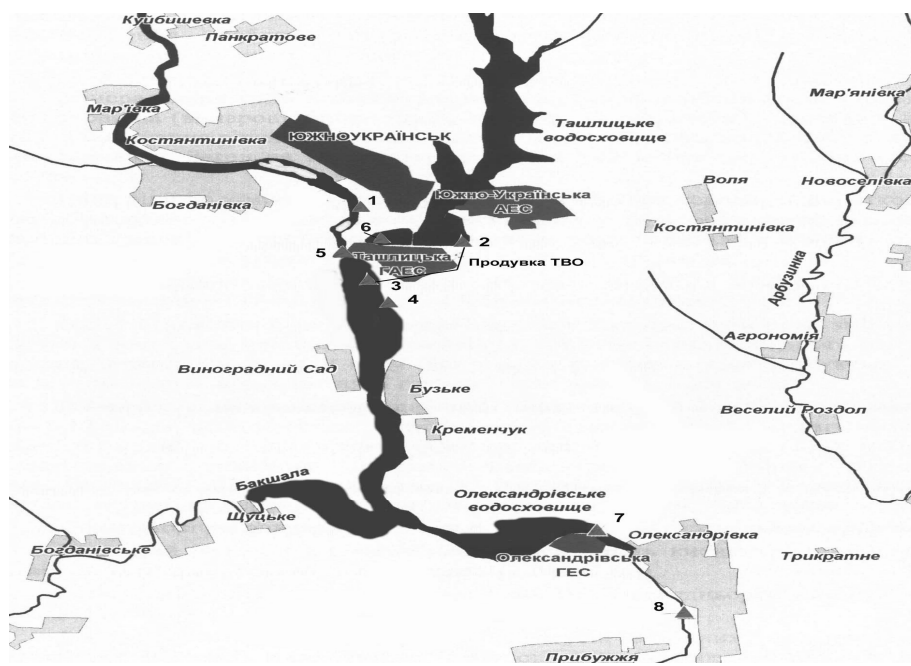


Рис. 1. Розташування пунктів, у яких здійснювався моніторинг змін активності радіонуклідів, що вивчалися.

Fig. 1. Locations of points, monitoring of changes of activity of radionuclide which was studied was carried out in which.

Умовні позначення на рисунку:

1. фоновий створ на річці Південний Буг;
2. Ташликський водоем-охлодитель (пункт забору вод сбросиваемих при продувке);
3. вхід продувальних вод в Александровське водосховище;
4. контрольний створ, розташований на 500 м нижче по теченню відносно точки 3;
5. фоновий створ Александровського водосховища
6. верхнє водоймище Ташликської гідроакумуляуючої електростанції
7. верхній б'єф Александровської ГЕС
8. нижній б'єф Александровської ГЕС

Як бачимо з цього рисунка, точку 1 розташовано там де здійснювався водозабор (біля насосної підпитки Ташликського водосховища), на відстані 500 м вище по річці відносно пункту, де здійснювався скид «продувних» вод. Це дозволяє розглядати отримані у неї данні як результати моніторингу фонові активності вод річки Південний Буг.

Точка 2 знаходиться безпосередньо у Ташликському водосховищі, на відстані приблизно 200 м від шандори на греблі. Відібрані тут проби характеризують активність радіонуклідів у його водах, що при «продувках» потрапляють до Олександрівського водосховища.

Точка 5 відповідає створу, що розташований у Олександрівському водосховищі, на відстані 500 м від пункту скиду «продувних» вод. Активність радіонуклідів у пробах, що відібрані тут, являє собою результат впливу «продувних» вод з Ташликського водосховища.

Неважко бачити, що при потрапленні до Олександрівського водосховища «продувних» вод може реалізуватись один з наступних трьох сценаріїв. При першому суттєвих змін динаміки деякого радіонукліду не відбувається. При другому, має місце деяке забруднення (його активність у водах Олександрівського водосховища зростає). При третьому активність цього радіонукліду у точці 5 зменшується.

При сценарії, коли вплив АЕС на динаміку деякого радіонукліду є відсутнім, значення його активності у пробах, які синхронно відібрані у точках 1, 2 та 5, повинні бути практично однаковими. Значення коефіцієнту кореляції відповідних часових рядів повинні бути наближеними до 1.

У випадках, коли вплив АЕС на Олександрівське водосховище викликає його забруднення, активність відповідного радіонукліду у пробі, яка відібрана у точці 2, повинна бути суттєво вище ніж у інших пробах. Її рівень у пробі, що відповідає точці 5, повинна бути також вище ніж у точці 1. Значення коефіцієнту кореляції часового ряду, що відповідає спостереженням у точці 2, з рядами, що характеризують динаміку процесу у точках 1 та 2, повинні бути близькими до 0.

При здійсненні третього сценарію кореляція між цими рядами також не буде суттєвою, але активність проби, що відібрана у точці 2, буде нижче ніж у інших пробах.

Ураховуючи на це, для досягнення мети, що визначено у роботі, здійснювалось порівняння значень активності Н-3, SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у пробах, які відбирались у точках 1, 2, 5, а також здійснювався кореляційний аналіз відповідних часових рядів.

Як фактичний матеріал використовувались результати радіологічного моніторингу динаміки активності зазначених радіонуклідів за вісь період їх спостережень, який здійснювався лабораторією радіологічного контролю Південноукраїнської АЕС згідно [1, 12]. Спостереження за динамікою активності H-3, SR-90, Cs-137 відбувались, по декілька разів на місяць, у період з березня 1994 року. За змінами Co-60, Mg-54 вони відбувались з січня 2006 року. До кожного ряду, що вивчався, розраховували середньомісячні значення активності того чи іншого радіонукліду, які розраховувались як середнє арифметичне для всіх проб, котрі біли відібрані у відповідному місяці.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Порівняння часових рядів, що містять середньомісячні значення активності деякого радіонукліду у точках 1, 2, 5 дозволило встановити, що до впливу АЕС на її динаміку є практично відсутнім для Cs-137, Co-60 та Mg-54.

Як приклад, на рис. 2 відображені залежності від часу середньомісячної активності у точках 2 та 5 Mg-54.

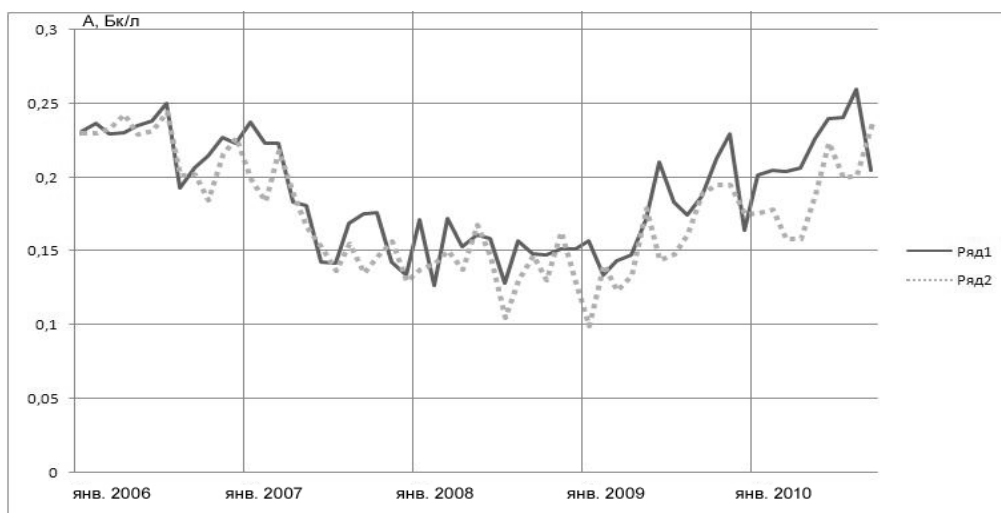


Рис. 2. Залежності від часу середньомісячної активності Mg-54 –А у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2), з 2006- 2010.

Fig. 2. Dependences are on time of average monthly activity of Mg-54 –А in Tashlikskomu (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2), from 2006- 2010.

Як бачимо з рис. 2, обидві залежності є майже аналогічними. Значення коефіцієнту кореляції між ними 0.84, що суттєво більше ніж значення 99% порогу достовірної кореляції за критерієм Стюдента, який дорівнює лише 0.33[13]. Ураховуючи те, що відповідні залежності, які відповідають точкам 1 та 2, практично співпадають, цей результат свідчить про те, що ніякого впливу на динаміку

активності Mg-54 у Олександрівському водосховищі «продувні» води не завдають. Тому вплив Південноукраїнської АЕС на динаміку активності цього радіонукліду у Олександрівському водосховищі слід вважати відсутнім.

Встановлено також, що ефект забруднення вод Олександрівського водосховища при потраплянні до нього «продувних» вод має місце для таких радіонуклідів як Sr-90 та H-3. Як підтвердження цього, на рис. 3 представлені залежності від часу середньомісячної активності Sr-90 у пробах, що відібрано у точках 2 та 5.

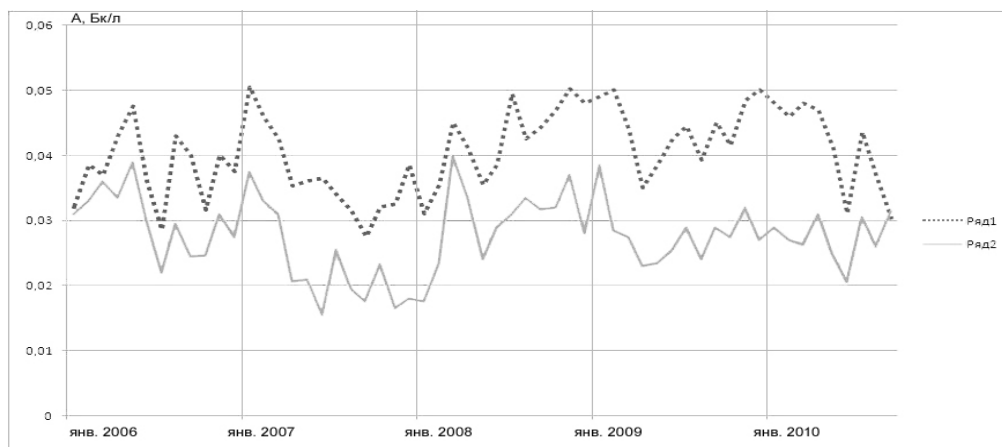


Рис. 3. Залежності від часу середньомісячної активності Sr-90 -А у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Fig. 3. Dependences are on time of average monthly activity of Sr-90 –А in Tashlikskomu (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2).

З рис. 3 бачимо, що середній рівень активності Sr-90 води у Ташликському водосховищі майже у півтори рази вище ніж у Олександрівському. Коефіцієнт кореляції між обома часовими рядами дорівнює лише 0.2. Середня за період з червня 1994 по вересень 2010 рік активність Sr-90 у Олександрівському водосховищі (точка 2) вище ніж у річці Південний Буг (точка 1) на 20%, та нижче ніж у Ташликському водосховищі (точка 2) на 25%. Незважаючи на те, що ефект забруднення Sr-90 води у точці 5 є присутнім, його рівень не перевищує припустимих меж. Тому цей чинник у сучасному стані не викликає екологічних ризиків.

Рисунок 4 містить залежності від часу середньомісячної активності H-3 у пробах, що відібрано у точках 2 та 5.

Аналіз залежностей з рис. 4 свідчить про те, що активність H-3 у водах Ташликського водосховища більше ніж у 10 разів перевищує його активність у Олександрівському водосховищі. Коефіцієнт кореляції між відповідними часовими рядами дорівнює 0.05, що свідчить про те що третій, який присутній у водах Ташликського водосховища, не потрапив до цієї водойми з річки Південний Буг, а утворився саме тут. Це дозволяє припускати, що ефект забруднення Олександрівського водосховища тритієм при «продувках» може бути суттєвим. Як

підтвердження цього на рис. 5 представлені аналогічні залежності, що відповідають точкам 2 та 5.

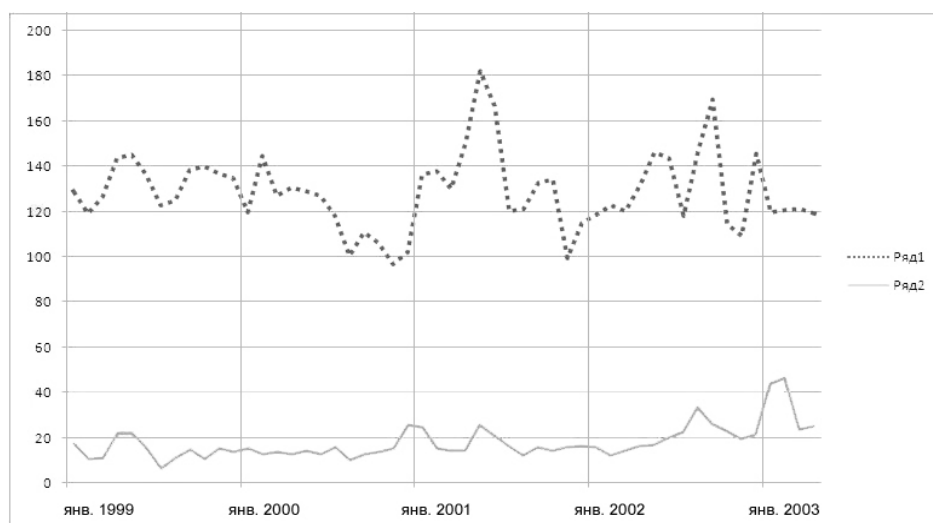


Рис. 4. Залежності від часу середньомісячної активності Н-3 у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Fig. 4. Dependences are on time of average monthly activity of H-3 in Tashlikomku (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2).

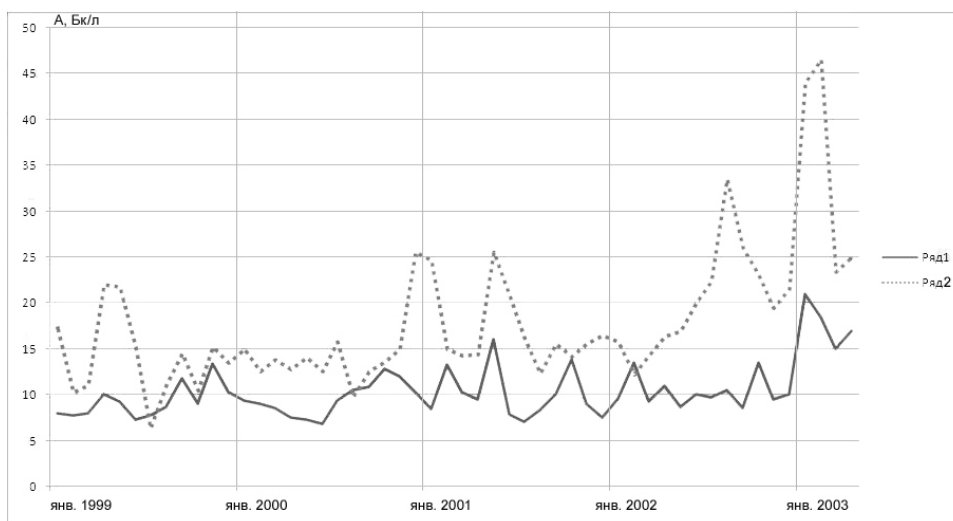


Рис. 5. Залежності від часу середньомісячної активності Н-3 – А у річці Південний Буг (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Rice. 5. Dependences on time of average monthly activity of H-3 – A in the river South Bug (row 1) and the Oleksandrivka storage pool (row 2).

Неважко бачити, що активність Н-3 у Олександрівському водосховищі (точка 3) суттєво перевищує її рівень у річці Південний Буг поза зоною впливу АЕС. У 2010 році вона вище у 2...3,5 разів, хоча й не перевищує припустимий рівень [1, 14]. Останнє свідчить про те, що саме Н-3, який виникає у Ташликському водосховищі, є головним радіологічним забруднювачем Олександрівського водосховища, хоча й не викликає якоїсь екологічної небезпеки.

Не викликає сумнівів, що ефект забруднення Олександрівського водосховища Н-3 та Sr-90, що містяться у «продувних» водах, виникає як результат утворення цих радіонуклідів у Ташликському водосховищі. Причинами цього явища можуть бути чинники або природні, або техногенні – функціонування АЕС.

Головним з таких природних чинників є мінливість місячних сум атмосферних опадів у районі АЕС, що посилюють поверхневий або підземний стік до Ташликського водосховища з навколишньої території (де знаходяться шламонакопичувачі та ділянки забрудненого ґрунту). Цей чинник може викликати також зростання витрат річки Південний Буг, а разом з ними й обсягів «продувки» Ташликського водосховища. Тому у випадку, коли саме цей метеорологічний чинник керує динамікою активності деякого радіонукліду у Ташликському водосховищі, кореляція між нею та змінами місячних обсягів «продувки» може бути суттєвою та позитивною.

Якщо причина змін активності радіонукліда в водах Ташликського водосховища техногенна, збільшення обсягів «продувки» повинне викликати зменшення її рівня, та навпаки. Тому кореляція відповідних часових рядів повинна бути негативною, або не суттєвою.

Аналіз статистичних зв'язків між рядами динаміки активності Sr-90 у Ташликському водосховищі (точка 2) та обсягів його «продувки», показав, що коефіцієнт їх кореляції дорівнює 0.48, що суттєво вище ніж 99% поріг достовірної кореляції за критерієм Стьюдента (0.33).

Тому більш вірогідним є припущення, згідно до якого джерело Sr-90 у Ташликському водосховищі – забруднені ділянки навколишньої території та шламонакопичувачі, а головна причина мінливості його потоку – метеорологічна.

Аналогічне дослідження зв'язків між змінами активності Н-3 у Ташликському водосховищі та обсягів його продувки показало, що коефіцієнт їх кореляції дорівнює 0.27. Тому гіпотеза про техногенну обумовленість динаміки активності Н-3 у Ташликському водосховищі здається адекватною.

Динаміка активності Н-3 у Ташликському водосховища є слідством змін його балансу. Його прибутковою частиною є потік Н-3, який потрапляє до нього з технологічною водою, що скидається до нього з зовнішнього контуру кожного реактора.

Причиною утворення цього потоку є взаємодія потоку нейтронів з атомами водню, які складають молекули води, що охолоджує контур, або його іонами. Як результат утворюється або атомарний Н-3, радикали (Н-3, О), важка (Н-1, Н-3, О), (Н-2, Н-3, О), або надважка (Н-3, Н-3, О) вода [15, 16].

У Ташликському водосховищі атомарний Н-3 та радикали (Н-3, О) здатні реагувати з органікою, та у її складі частково переходити у мул, що накопичуються на дні, а частково споживатись водними організмами. Тому більша частина Н-3, який потрапляє у складі «продувних» вод у Олександрівське водосховище, перебуває у вигляді важкої або надважкої води, які розчинені у воді звичайній. Оскільки при



розпаді Н-3 утворюється He-3 та  $\beta$ -частка, присутність цих речовин у воді Олександрівського водосховища могло б впливати на стан здоров'я лише її споживачів та водних організмів.

При утворенні водного аерозоллю молекули важкої або надважкої води, що потрапили до його крапель, як і молекули звичайної води, випаровуються. У складі часток, що утворюються після цього здатні залишатись переважно сполуки, що практично не випаровуються, зокрема такі що містять SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54. Тому порівняно високий, хоча й не перевищуючий припустимі межі, рівень активності Н-3 у водах, що потрапляють з Ташликського до Олександрівського водосховища, не являє собою суттєвої небезпеки для населення його узбережжя.

## ВИСНОВКИ

1. Функціонування Південноукраїнської АЕС суттєво впливає на динаміку активності у водах Ташликського та Олександрівського водосховищ лише такого радіонукліду як Н-3. При цьому сучасний рівень активності Н-3 у цих водоймах не являє собою якоїсь небезпеки для їх екосистем та населення прибережних територій.

2. Найвірогідніша причина того, що рівень активності SR-90 у водах Ташликського водосховища, порівняно до інших водойм у зоні впливу Південноукраїнської АЕС, є підвищеним, це фільтрація з шламонакопичувача, а також поверхневий та підземний стік з навколишніх територій.

3. На зміни активності у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховищ таких радіонуклідів як Cs-137, Co-60, Mg-54 функціонування Південноукраїнської АЕС практично не впливає.

4. Перспективним напрямком подальшого розвитку систем попередження радіаційного забруднення навколишнього середовища, що діють на АЕС, енергоблоки яких побудовано з використанням реакторів типу ВВЕР є розробка заходів щодо зменшення потоку Н-3, який з технологічними водами потрапляє до відповідних водойм водоохолоджувачів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДГН 6.6.1-65.001-98 Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)/ МОЗ України 14.07.97 Наказ №208.

2. Апплби Л.Дж. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра. Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона; Пер. с англ. под ред. А.Г. Рябошапка// М.: Мир. - 1999. -512 с.

3. И.А.Андрюшин, А.К.Чернышёв, Ю.А.Юдин Укрощение ядра. Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. — Саров: 2003. - 481 с .

4. Камерон И. Ядерные реакторы. / И. Камерон //М.: Энергоатомиздат. - 1987. - 320 с.

5. Атомная наука и техника СССР/ под редакцией А.М. Петросьянца. – Москва Энергоиздат, 1987. – 309 с.

- 6 Концепція державної енергетичної політики України на період до 2020 року. Центр Розумкова. Національна безпека і оборона, 2001. - №2, с.2-33.
7. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. / В.І. Вишневський. – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
8. Вишневський В.І. Гідрохімічний режим нижньої течії Прип'яті/ В.І. Вишневський, І.В. Середа // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т. 5. – С. 42–49.
9. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии/ С.П. Горшков// Смоленск: Изд-во СГУ. - 1998. - 447 с.
- 10.Бреховских В.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности заливов Иваньковского водохранилища/ В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова, Н.В. Кирпичникова // Водные ресурсы. 2001. - Т. 28. - № 4. - С. 441 - 447.
- 11.Прыткова М.Я Экологические проблемы использования малых озер/ М.Я. Прыткова // География и природные ресурсы. 1999. - № 1. - С. 40 - 44.
12. Унифицированные методы исследования качества вод Ч.1 Методы химического анализа вод, Т.1. основне методы. Издание четвертое/ М. – 1987.-512с.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. / А. И. Кобзарь// М.: Физматлит, - 2006. — 816 с.
14. Беспаятнов Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник./ Г.П. Беспаятнов, Ю.А.Кротов //— Л.: "Химия". - 1985.-340с.
15. Валантэн Л., Субатомная физика: ядра и частицы, пер. с франц/ Валантэн Л.// М.: Мир. - т. 2. - 1986. – 520С.
16. Бор Н. Захват нейтрона и строение ядра/ Н. Бор // УФН. - 1936. - В. 4. -Т. 14. - № 4. - С. 425—435.

**Abstract.** Functioning of Pivdennoukrainskoy AES substantially influences on changing of activity of N-Z in waters of Tashlikskogo and Aleksandrivskogo of storage pools, although practically does not change the dynamics of maintenance of Cs-137, Co-60, Mg-54 for them. Changeability in these reservoirs of activity of Sr-90 the more so, than anymore middle volumes of their «produvki», which testifies to influentialness of changes of the mode of fall of atmospheric fallouts in a region, which strengthen a superficial flow to Tashlikskogo of storage pool of waters from surrounding territory.

**Keywords:** AES, ecological safety, activity of radionuklidiv, loud speaker, storage pool, correlation.