

УДК 615.849 - 614.7:613

Л. І. Григор'єва

ст. н. с., викладач

Миколаївський державний університет

ТРИТІЙ У РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМАХ ЗРОШУВАЛЬНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

У роботі дана оцінка міграційних процесів тритію в двох зрошувальних системах Миколаївщини: Південно-Бугській та Білоусівській, пов'язаних із надходженням радіонукліду з рідкими скидами та фільтраційними водами Південно-Української АЕС, та виявлені особливості переходу тритію у сільськогосподарські культури при зрошуванні

Вступ

У господарствах півдня України майже усі овочеві культури, кормові рослини та зернові культури вирощуються при зрошуванні. Тому головний шлях надходження штучних радіонуклідів у сільськогосподарські

рослини і формування додаткової дози внутрішнього опромінення населення у цьому регіоні пов'язані саме зі зрошувальним землеробством. У зв'язку з цим виникає необхідність оцінки процесів переходу радіонуклідів у культури, що вирощуються у відповідних умовах зрошувального землеробства.

Однією з особливостей зрошування в окремих районах Миколаївської області є наявність шляху надходження радіонуклідів у зрошувальну воду зі скидами Південно-Української АЕС (ПУ АЕС). Завдяки тому, що у скидних водах ПУ АЕС через використання реакторів ВВЕР перевагу складає, в основному, тритій [2,5,8], вивчення міграційних шляхів тритію та розмірів його переходу у зрошувальні сільськогосподарські культури становить одне з актуальних завдань радіоекології зрошувального землеробства Миколаївщини.

За літературними матеріалами біологічні ефекти тритія на організм людини різноманітні. Вважається, що, насамперед, вплив опромінення тритієм на людину виявляється у його дії на генетичний апарат організму [6,7]. Крім цього, хронічне опромінення тритієм призводить до частіших випадків розвитку злоякісних новоутворень і значного скорочення латентного періоду їх виникнення [3,5]. Вважається, що окис тритію має більш високу лейкемогенну активність, ніж протони, рентгенівські та гама-випромінювання [6].

Через повну ідентичність фізичних та хімічних властивостей його з воднем, тритій легко мігрує у природі. За роки дії ПУ АЕС тритій, що надходить з рідкими скидами у водні об'єкти району розташування ПУ АЕС, зумовив додаткове радіаційне навантаження на водну систему цього регіону. До середини 1993 р. він надходив у водну систему, в основному, за ланцюжком: ставки-відстойники очисних споруд ГФК ПУ АЕС – р. Арбузинка – р. Мертвовід – р. П.Буг та з фільтраційними водами ставків біоочищення. З другої половини 1993 р. до діючого часу, після переносу скиду каналізаційних вод у водоймище-охолоджувач та з початком (березень 1994 р.) "продувки" останнього в р. П.Буг, з'явився інший шлях надходження тритію в річку: ставки-відстойники очисних споруд ГФК ПУ АЕС – водойом-охолоджувач АЕС – р. П.Буг та фільтрація у підземні горизонти з водою водоймища-охолоджувача ПУ АЕС (рис.1).

За десятирічний термін надходження рідких скидів Південно-Української АЕС до р. Арбузинки надійшло 39,9 ТБк тритію, а за трирічний термін "продувки" ставка-охолоджувача до П.Бугу – 37,9 ТБк тритію [3]. Завдяки цьому тритій є одним із визначальних факторів формування радіаційного стану в Білоусівській та Південно-Бугській зрошувальних системах.

Об'єкти та методика досліджень

Дослідження вмісту тритію проводили у період 1990–1998 рр. у Південно-Бугській та Білоусівській зрошувальних системах. Проби води відбирали з Таборівського, Трикратського водосховищ Білоусівської зрошувальної системи та з Нечаянського, Степового, Єкатеринівського водосховищ Південно-Бугської зрошувальної системи, а також з річок, водами яких наповнюються водосховища цих зрошувальних систем – П.Буг, Арбузинка, Мертвовід. Всього за цей час відібрано та проаналізовано 560 проб води цих водних систем.

Паралельно з водою відбиралися проби сільськогосподарських рослин, вирощених на поливних угіддях сільських господарств: Степовий, Ковалевський – Південно-Бугської зрошувальної системи та с. Воронівка, с. Таборівка – Білоусівської зрошувальної системи. Всього відібрано і проаналізовано 212 проб сільськогосподарських рослин.

Відбір та підготовка проб проводилися за затвердженими методиками [4]. Готували проби сільськогосподарських рослин та ґрунту шляхом відгону вільної вологи рослин з наступною відчисткою від органічних та неорганічних домішок.

Радіометрія проб тритію виконувалася рідинно-сцинтиляційним методом на установці "БЕТА-2", у двадцятимілітрових безкалійних кюветах "Optifase" з використанням рідинного сцинтилятора "Optifase Hisafe-3". Ефективність реєстрації тритію при співвідношенні проба: сцинтилятор-1:2 складала 42 %, мінімально-детектована активність тритію 10 Бк/л. У 2001 р. вимірювання активності тритію у поверхових водоймах проведені на радіометричній установці "Canberra" з ефективністю реєстрації 57 %.

Питома активність тритію у сільськогосподарських культурах визначена розрахунковим методом, при якому було враховано, що відсоткове співвідношення тритію у рослині у вигляді вільної вологи та інкорпорованого тритію у складі біологічних структур дорівнює 97 % та 3 % відповідно [7]. При розрахунку дані про відсотковий вміст води у загальній масі сільськогосподарської рослини і про частку тритієвої води, яка залишається у продукті, взяті за [1] і наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Вміст тритієвої води у загальній масі продукту

Назва продукту	Вміст води, %	Частка тритієвої води, яка залишається у продукті
Хліб (в перерахунку на зерно)	40	0,55
Трави	90	0,90
Картопля	74	0,90
Коренеплоди	74	0,90
Овочі	90	0,90

Розрахунок накопичення тритію сільськогосподарськими культурами проведений, використовуючи норми зрошування сільськогосподарських культур у Миколаївській області (таблиця 2).

Таблиця 2. Зрошувальні норми нетто для головних сільськогосподарських культур Миколаївської області

Культура	Зрошувальна норма	Вологозарядка
	тис. м ³ /га	тис. м ³ /га
Озима пшениця	3,0	0,6
Ярова пшениця	2,0	-
Сахарний буряк	4,1	-
Багаторічні трави	5,1	-
Картопля	2,6	-
Томати, овочі	4,8	0,3

Математична обробка даних проводилася за допомогою програмного забезпечення Excel Microsoft Office та Statistika корпоративі Statsoft.

ГДК тритію у питній воді, згідно НРБУ-97, становить 30000 Бк/л.

Результати та їх обговорення

Південно-Бугська зрошувальна система зрошує площу 13146 га у Миколаївському районі Миколаївської області. Головна насосна станція знаходиться в с. Ковалівка Миколаївського району. Білоусівська зрошувальна система зрошує землі Вознесенського та Єланецького районів загальною площею 7727 га. Головна насосна станція знаходиться в с. Таборівка Вознесенського району (рис.1).



Рис. 1. Схема формування водних обсягів Південно-Бугської та Білоусівської зрошувальних систем

Водну систему, з якої поповнюють свої водні ресурси Південно-Бугська та Білоусівська зрошувальні системи, складають водоймище-охолоджувач ПУ АЕС ємкістю 32.9 млн. м³, р. П.Буг площею басейну 68800 км² з притоками р. Інгул, Мертвовід, Арбузинка, і Бугський лиман. Тому будь-які екологічні зміни в цих річках впливають на радіонуклідний склад води, якою зрошуються сільськогосподарські рослини регіону.

У нашій роботі [9] показано, що тривалий (1982–1993 рр.) скид каналізаційних вод ПУ АЕС до р. Арбузинки (притока р. Мертвовід) призвів до розповсюдження тритію у водоносному горизонті ділянки басейну р. Арбузинки, яка розташована нижче ПУ АЕС.

Це сприяло утриманню тритієвого навантаження у водних системах річок Арбузинки, Мертвовід та руслових – Трикратському та Таборівському водосховищах – головних резервуарах Білоусівської зрошувальної системи. Так, у воді Трикратського водосховища середньорічна активність тритію під час скиду досягала 560±120 Бк/л у 1990 р. та 225±35 Бк/л – у 1993 р. У воді Таборівського водосховища активність тритію складала відповідно 510±80 Бк/л у 1990 р. та 220±30 Бк/л у 1993 р. Ці зміни активності тритію у воді водосховищ Білоусівської зрошувальної системи повністю пов'язані зі змінами, які відбулися за цей період у ставках біоочищення ГФК ПУАЕС. Про це свідчать дані динаміки активності тритію в цих водних об'єктах (рис.2). У наступні роки (1994–1998 рр.), тобто після припинення надходження каналізаційних вод до р. Арбузинки, активність тритію у воді водосховищ Білоусівської зрошувальної системи продовжувала залишатися – вищою за природний рівень, складаючи 20÷30 Бк/л. Вважаємо, що істотний вплив на цей процес мала постійна природна фільтрація вод з біоставків-відстойників ПУ АЕС через підземні горизонти, яка, як показано в нашій роботі [9], не залежить від наявності чи відсутності поверхового надходження тритію в р. Арбузинку.

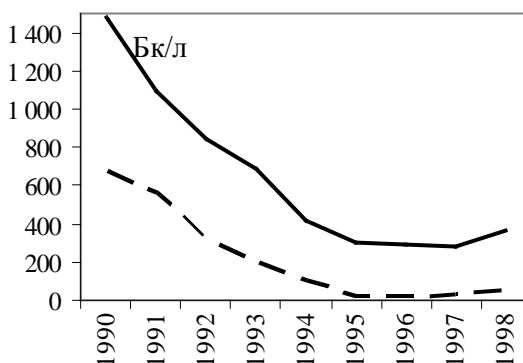


Рис. 2. Динаміка активності тритію у воді Білоусівської зрошувальної системи у порівнянні з ставками біоочищення ПУ АЕС

— вміст тритію у ставках біоочищення ПУ АЕС
-- вміст тритію у водосховищах Білоусівської зрошувальної системи

Зараз, при відсутності надходження тритію до водосховищ Білоусівської зрошувальної системи через поверхові води, через забруднення тритієм підземних водних горизонтів, залишилася ймовірність додаткового надходження радіонуклідів в зрошувальну воду Білоусівської зрошувальної системи з підземних вод регіону.

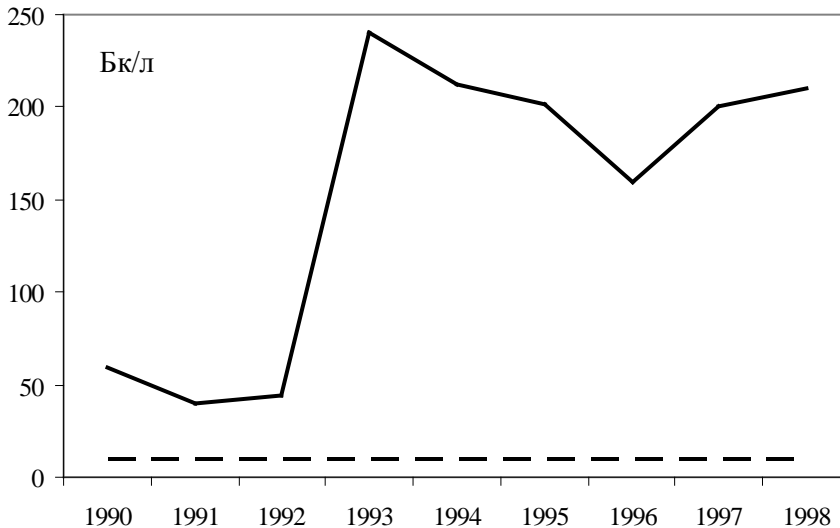


Рис. 3. Динаміка активності тритію у воді Південно-Бузької зрошувальної системи у порівнянні з водоймом-охолоджувачем ПУ АЕС

— вміст тритію у водоймі-охолоджувачі ПУ АЕС
— вміст тритію у водосховищах Південно-Бузької зрошувальної системи

Розглядаючи процес надходження тритію до Південно-Бузької зрошувальної системи, слід зазначити, що з поворотом у 1993 р. скиду каналізаційних вод АЕС до водосховища-охолоджувача ПУАЕС та з початком у 1994 р. продувки водоймища-охолоджувача у р. П.Буг, крім надходження тритію з фільтраційними водами водоймища-охолоджувача, з'явився ще один шлях надходження станційного тритію у цю зрошувальну систему — "продувний" (рис.1).

Порівняння активності тритію у воді водосховищ Південно-Бузької зрошувальної системи з його активністю у воді водойму-охолоджувачу ПУ АЕС за досліджуваний період зображено на рисунку 3. Суттєвих змін в розмірах активності тритію у водосховищах Південно-Бузької зрошувальної системи, після підвищень у 1993 р. активності тритію у водоймищі-охолоджувачі ПУАЕС, не спостерігалось. Середньорічна активність тритію у водоймі-охолоджувачі ПУ АЕС, починаючи з 1993 р., коливалася в межах 220÷250 Бк/л. Середньорічна активність тритію у

водосховищах Білоусівської зрошувальної системи на протязі усього досліджувачого періоду не перевищувала 10 Бк/л.

Порівняння механізмів формування забруднених тритієм водних систем р. Арбузинки при надходженні до неї каналізаційних вод ПУ АЕС та Південного Бугу при сьогоднішньому надходженні в нього "продувних" і фільтраційних вод водойми-охолоджувача ПУ АЕС показало наступне. До р. Арбузинки, водний стік якої складає 6 млн.куб.м на рік, надходили великі, порявняно з річковим, об'єми скидних вод (11 млн.куб.м на рік). Це і сприяло підвищенню активності тритію у річці на усьому її протязі, а зарегульованість річкового стоку завдяки русловим Трикратському та Таборівському водосховищам призвели до утримання тритію на великих відстанях і надходженню його у зрошувальну воду Білоусівської зрошувальної системи. В умовах надходження тритію до р. Південний Буг (річний стік 1000 млн. куб. м на рік) з "продувними" водами (63 млн.куб.м на рік) і фільтраційними (3 млн.куб.м на рік) водами з Ташликського водосховища, тобто в результаті розбавлення в 10–20 разів річкою скидних вод, підвищення активності тритію у р. Південний Буг у місці водозабору Південно-Бугської зрошувальної системи не відбувається.

При цьому слід відмітити, що в р. П.Буг у місці надходження "продувних" вод, активність тритію підвищилася до рівня $60 \div 80$ Бк/л. Періодичні підвищення до $25 \div 30$ Бк/л спостерігалися також поблизу с. Бугське, м. Вознесенська (рис.1). Таким чином, хоча сьогодні змін у розмірах активності тритію у воді водосховищ Південно-Бугської зрошувальної системи не відмічалось, але ймовірність цього існує.

Процеси, що відбулися в річках, водами яких наповнюються водосховища зрошувальних систем, позначилися відповідним чином і на вміст тритію у сільськогосподарських культурах, вирощених на угіддях цих зрошувальних систем. Надходження на сільськогосподарські угіддя Білоусівської зрошувальної системи води з підвищеною активністю тритію призвело до зростання активності останнього у сільськогосподарських рослинах. Так, у 1992 році активність тритію у вільній волозі рослин досягала 260 Бк/л. Найвищими виявилися показники для зеленої маси люцерни та зернових. У наступні роки активність тритію у вільній волозі сільськогосподарських рослинах стала зменшуватися, і у 1997 році не перевищувала 10–12 Бк/л (табл.3). Розкид даних на протязі року пояснюється, на нашу думку, постійною зміною балансу тритію у рослинах завдяки перерозподілу його між різними частинами рослини та атмосферним повітрям і процесом виведення із рослини. Так, за даними [6], головний (для 90 % окису тритію) період напіввиведення, знаходиться в межах від 1 до 10–20 діб, а для решти тритію – від 1 до 200 діб.

Таблиця 3. Активність тритію у вільній волозі сільськогосподарських культур з угідь Білоусівської і Південно-Бугської зрошувальних систем Бк/л

Найменування зрошувальної культури	Рік дослідження	Зрошувальна система	
		Білоусівська	Південно-Бугська
Зернові (зелена маса)	1992	245±65*	<10
	1993	140±15	<10
	1994	60±12	<10
	1995	20±6	–
	1996	10±2	–
	1997	10±3	15±3
Люцерна (зелена маса)	1992	265±55	<10
	1993	160±13	<10
	1994	45±10	<10
	1995	18±6	<10
	1996	10±2	<10
	1997	10±2	15±2
Картопля	1992	125±35	–
	1993	95±20	–
	1994	40±11	<10
	1995	20±4	<10
	1996	25±3	<10
	1997	20±5	–
Коренеплоди (морква, буряк)	1992	135±47	–
	1994	58±15	<10
	1995	27±4	<10
	1997	20±4	
Овочі (плоди томатів, перцю, перо цибулі)	1992	185±65	<10
	1993	125±35	<10
	1994	55±10	<10
	1995	12±2	<10
	1997	10±2	15±3

* – Результати представляють собою середнє за даний рік значення з середньоквадратичним відхиленням даних ($P=0,95$) /при проведенні у кожному році по 2–4 відбори сільськогосподарських рослин з різних полів зрошувальної системи/

Залежність активності тритію у вільній волозі сільськогосподарських культур від його активності у зрошувальній воді, яка побудована за даними досліджень у Білоусівській зрошувальній системі представлена на рисунку 4. Вона свідчить про наявність лінійного зв'язку між цими процесами. Результати лінійної апроксимації цієї залежності (таблиця 4) вказують на те, що вільна волога зрошувальних рослин вміщує в собі від 70 до 90 % тритію зрошувальної води.

Таблиця 4. Лінійна апроксимація залежності між активністю тритію у вільній волозі зрошувальних сільськогосподарських культур та його активністю у зрошувальній воді

Назва культури	Коефіцієнт a в лінійній залежності $Y=a \cdot X$	k	R^2
Озима пшениця (зелена маса)	0,75	0,97	0,94
Люцерна (зелена маса)	0,84	0,99	0,98
Овочі (плоди томатів, огірків т.і.)	0,65	0,96	0,93

Y – активність тритію у вільній волозі зрошувальної сільськогосподарської культури (Бк/л)
X – активність тритію у зрошувальній воді (Бк/л)
k - коефіцієнт кореляції, R^2 - коефіцієнт детерінації

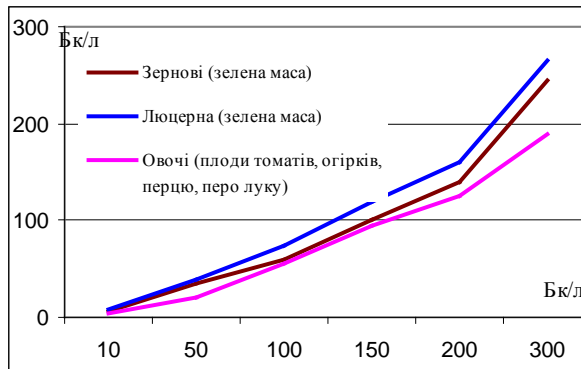


Рис. 4. Залежність між активністю тритію у вільній волозі зрошувальних сільськогосподарських культур та його активністю у зрошувальній воді (побудована за даними: 52 аналізів проб зеленої маси зернових, 56 аналізів проб зеленої маси люцерни, 94 проб плодів овочевих культур)

Орієнтована оцінка питомої активності тритію у рослинах проведена за моделлю:

$$C_{культ} = C_{віль. вологи} \cdot P \cdot r \quad (1)$$

де: $C_{культ}$ – питома активність тритію у сільськогосподарській культурі (Бк/кг),

$C_{віль. вологи}$ – питома активність тритію у вільній волозі культури (Бк/л),

P – вміст води у продукті (рослині) (л/кг).

r – частка тритієвої води, яка залишається у продукті (таблиця 1).

Розрахункові дані питомої активності тритію у сільськогосподарських рослинах наведені у таблиці 5.

Таблиця 5. Питома активність тритію у сільськогосподарських - культурах зі зрошувальних земель Білоусівської та Південно-Бугської зрошувальних систем в окремі роки Бк/кг

Назва зрошувальної культури	Зрошувальна система	
	Білоусівська	Південно-Бугська
Зернові (зелена маса)	220 (1992 рік) 9 (1997 рік)	до 11
Люцерна (зелена маса)	265 (1992 рік) 9 (1997 рік)	до 11
Картопля	95 (1992 рік) 17 (1997 рік)	до 7
Коренеплоди (морква, буряк)	100 (1992 рік) 18 (1997 рік)	до 8
Овочі (плоди томатів, перцю, перо цибулі)	170 (1992 рік) 10 (1997 рік)	до 10

На основі розрахункових даних активності тритію у сільськогосподарських культурах, результатів досліджень вмісту тритію у зрошувальній воді та кількісних даних об'ємів зрошування основних сільськогосподарських культур підраховані коефіцієнти накопичення тритію сільськогосподарськими культурами при зрошуванні:

$$K_{\text{накоп.}} = C_{\text{культ.}} / (C_{\text{води}} \cdot П) \quad (2)$$

де: $K_{\text{накоп.}}$ - коефіцієнт накопичення тритію при зрошуванні (Бк/кг/Бк/кв.м.),

$C_{\text{води}}$ – питома активність тритію у зрошувальній воді (Бк/л),

$П$ – надходження води на зрошувальні угіддя (л./кв.м) відповідно до зрошувальних норм (табл.2),

інші позначення відповідають позначенням (1).

Таблиця 6. Коефіцієнти переходу тритію у сільськогосподарські культури при зрошуванні $n=202$

Назва культури	10^{-3} Бк/кг/Бк/кв.м	k	R^2
Озима пшениця (зелена маса)	1.97	0.970	0.94
Люцерна (зелена маса)	1.68	0.992	0.98
Коренеплоди	1.15	0.963	0.93
Картопля	1.51	0.967	0.94
Овочі	1.34	0.997	0.99

k - коефіцієнт кореляції, R^2 - коефіцієнт детермінації

Розраховані коефіцієнти переходу тритію у сільськогосподарські культури при зрошуванні наведені у таблиці 6. Коефіцієнти отримані з високим рівнем значущості (коефіцієнти детермінації складають 0,93–0,99). Розмах значень коефіцієнтів для різних культур склав (1,34÷1,97) 10^3 Бк/кг/Бк/кв.м. При зрошуванні більш високі коефіцієнти накопичення тритію виявилися у зеленій масі трав та зернових.

Висновки

1. Завдяки різниці механізмів формування забруднення тритієм водних систем р. Арбузинки та Південного Бугу наявна різниця в процесах впливу тритію, що надходить з рідкими скидами та фільтраційними водами Південно-Української АЕС на радіаційну ситуацію у Білоусівській та Південно-Бугській зрошувальній системах.

2. Вільна волога сільськогосподарської культури вміщує у собі від 70 до 90 % тритію зрошувальної води.

3. Коефіцієнти переходу тритію у сільськогосподарські культури при зрошуванні складають $(1-2) \cdot 10^{-3}$ (Бк/кг)/(Бк/м²)

Література

1. *Артемова А.А., Бондарев А.А., Карнов В.И. и др.* Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в приземный слой атмосферы, М., Атомиздат, 1980., стор. 166.

2. *Гудков Д.И., Кузьменко М.И.* Тритий в водоемах 30-км зоны ЧАЭС сб. "Проблеми Чорнобильської зони відчуження", вип.3, К.1996 р., стор. 130.

3. *Журавлев В.Ф., Калязина Н.С. и др.* Особенности кинетики обмена и биологического действия органических соединений, меченных тритием, сб. "Биологические эффекты малых доз радиации", М., 1983 р., стор. 80.

4. *Марей А.Н., Зыкова А.С.* Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. М., 1980, стор. 248.

5. *Москалев Ю.А., Журавлев В.Ф.* Окись трития в проблеме радиационной безопасности сб. "Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных станций", Свердловск, 1978 р., стор. 23.

6. *Муксинова К.Н., Воронин В.С. и др.* Отдаленные последствия хронического действия окиси трития сб. "Биологические эффекты малых доз радиации", М.,1983, стор. 80.

7. *Романов Г.И.* Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития сб. Итоги науки и техники "Радиационная биология", т. 4, М., 1982 г., стор. 180.

8. *Телушкина Е.Л.* Тритий во внешней среде вблизи предприятий ядерного топливного цикла сб. Гигиена и санитария, М., 1983 г. №3., стор. 62.

9. *Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І.* Оцінка ступеню забруднення тритієм поверхових водойомів та деяких джерел питного водопостачання району ПУ АЕС Український радіологічний журнал № 4, 1999 р.