

РАДІОЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМИЩ – ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Алексєєва А.О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв

У результаті аналізу чинного нормативно-технічного законодавства України у сфері забезпечення якості води, яка використовується для зрошення сільськогосподарських культур, показано відсутність нормативного забезпечення для оцінки якості цих вод за показниками радіаційної (радіоекологічної) безпеки. У роботі вирішувалося завдання пошуку наукових підстав для доповнення екологічних критеріїв якості зрошувальних вод критерієм щодо вмісту в останніх радіоактивних речовин. Результати роботи базувалися на результатах багаторічних радіоекологічних досліджень в агро-екосистемах низов'я басейну річок Південний Буг, Дніпро, магістральних каналів і водоймищ зрошувальних систем Дніпровського та Південно-Бузького басейну та матеріалів досліджень, виконаних авторами при проведенні натурного експерименту на експериментальних ділянках сільських господарств Миколаївської області з різними типами ґрунтів. Встановлено, що екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді, зокрема, має містити радіоекологічний критерій – забезпечувати екосистему від надмірного забруднення, яке впливало б на стійкість і надійність зрошувальної екосистеми. Через те, що надійність екосистеми визначається складом її біоти, визначено коефіцієнти накопичення ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs водними рослинами (*Elodea canadensis*, *Potamogeton natans*, *Cladophora fracta*) водоймищ Південно-Бузької, Білоусівської, Інгулецької зрошувальних систем. З використанням методів теорії радіємності екосистем запропоновано принцип радіоекологічної безпеки зрошувальних вод, представлено формулу для визначення величини контрольного (допустимого) рівня радіонуклідів у водоймищі зрошувальної системи за принципами радіоекологічної безпеки. Розраховано величини цих рівнів для радіонуклідів ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs у водоймищі зрошувальної системи. Порівняно їх з рівнями, які було визначено авторами раніше, за принципами забезпечення радіаційної безпеки зрошувальної води. Це може скласти підставу нормативно-технічного забезпечення оцінки якості зрошувальної води за вмістом радіоактивних речовин. *Ключові слова:* радіонукліди, зрошувальна вода, водiana біота, радіоекологічна безпека.

Radioecological safety of freshwater reservoirs - power sources for irrigation systems. Grygoryeva L., Tomilin Yu., Aleksieieva A. As a result of the analysis of the current regulatory and technical legislation of Ukraine in the field of water quality assurance, which is used for irrigation of crops, the lack of regulatory support for the assessment of the quality of these waters by the indicators of radiation (radioecological) safety is shown. The problem of finding scientific grounds for supplementing ecological criteria of irrigation waters quality by the criterion concerning the content of the last radioactive substances was solved. The results of the work were based on the results of long-term radioecological researches in the agro-ecosystems of the lower basin of the Southern Bug river basin, Dnipro, main channels and reservoirs of the irrigation systems of the Dnieper and South-Bug basins and also research materials performed by the authors during the field experiments on different types of soils. It has been established that the ecological criterion of the content of radioactive substances in irrigation water, in particular, should contain the radioecological criterion – to protect the ecosystem from excessive pollution, which would affect the stability and reliability of the irrigation ecosystem. Due to the fact that the reliability of an ecosystem is determined by the composition of its biota, the coefficients of transition of ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs into water plants of freshwater reservoirs, which feed the South-Buzka, Belousivsk, Ingulets irrigation systems are determined. Using the methods of the theory of ecosystem radiosimilarity, the principle of radioecological safety of irrigation waters and a formula for determining the magnitude of the control (allowable) level of radionuclides in the irrigation system water basin according to the principles of radioecological safety are proposed. The values of these levels for the ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs radionuclides in the irrigation reservoir were calculated. These levels were compared with the levels previously determined by the authors on the principles of radiation safety of irrigation water. This may form the basis of regulatory and technical support for the assessment of irrigation water quality by the content of radioactive substances. *Key words:* radionuclides, irrigation water, biota, radioecological safety.

Постановка проблеми. Екологічні критерії оцінки якості зрошувальних вод в Україні встановлено рядом нормативно-технічних документів (НТД) [1; 3; 7–9]. У цих НТД вимоги до якості зрошувальної води за вмістом радіоактивних речовин не встановлено.

При цьому для зрошення на півдні України використовується вода з поверхневих водоймищ, яка може бути забруднена радіонуклідами

через наявність у регіоні різноманітних чинників: Южноукраїнська та Запорізька АЕС (9 енергоблоків), гірничодобувні і гірничо-переробні комбінати у Кіровоградській та Миколаївській областях, підприємства Криворізького гірничопромислового басейну, гідрометалургійний завод із переробки уранової руди. На радіаційну обстановку у поверхневих водоймах півдня України також впливають підприємства нафтової, газової, вугільної промисловості

і теплової енергетики, що обумовлюється викидами, скидами і відходами з природними радіонуклідами. Свій внесок в обстановку можуть вносити і АЕС Болгарії, Румунії, Угорщини, які розташовані в безпосередній близькості.

Актуальність дослідження. Для поливу сільськогосподарських угідь джерелом водного забезпечення у світі виступають води різного походження: поверхневі (річкові, озерні, водосховища), підземні, поворотні (стічні, які надходять з колекторно-дренажної мережі, тепло- і енергоцентралей, промислових підприємств). Незалежно від походження, всі води, які використовуються для зрошення, повинні відповідати загальній вимозі – не погіршувати властивостей ґрунтів та бути безпечними за вмістом токсичних та небезпечних речовин як для сільськогосподарської рослини, так і для людини.

В Україні, значна територія якої виступає зонами нестійкого і недостатнього зволоження, продовольче та ресурсне забезпечення також значною мірою залежить від наявності, стану та ефективного використання зрошуваних земель. Зрошувані землі розміщені в Україні переважно у степовій та лісостеповій природно-кліматичних зонах. Сьогодні державою визнано, що зрошення є необхідним фактором, від якого сільськогосподарське виробництво хоча ускладнюється та дорожчає, але підвищується його ефективність та сталість.

Іригаційна оцінка води в Україні за НТД [7–9] передбачає, зокрема, дотримання екологічних критеріїв якості води. Відповідно до цих документів екологічні критерії містять вимоги до еколого-токсикологічних та санітарно-гігієнічних показників, останні з яких стосуються і вмісту радіоактивних речовин. При цьому відносно радіоактивних речовин констатовано, що оцінка якості зрошувальної води має здійснюватися за окремим спеціальним нормативним документом. Однак, такого документа не існує.

Крім того, законодавство ЄС щодо радіаційної безпеки поповнилося новою Директивою Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року, яка розроблена на основі Основного стандарту безпеки МАГАТЕ GSR Part 3 і яка набула чинності 6 лютого 2014 року. Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їх державами-членами передбачено імплементацію в національне законодавство Директиви 2013/59/Євратом. Оновлена Директива розширює вимоги на цілий ряд джерел і категорій опромінення та охоплює, зокрема, захист населення та довкілля; має більш детальні вимоги до оцінок впливу на населення та довкілля, дозволів на викиди та скиди радіоактивних речовин до довкілля, радіологічного моніторингу та демонстрації відповідності умовам ліцензії стосовно опромінення населення; вперше від регулюючого органу вимагаються оцінка сумарної річної дози опромінення людини від всіх авторизованих джерел. Тому

імплементація вимог Директиви 2013/59/Євратом у національне законодавство України має передбачати встановлення критеріїв радіаційної безпеки зрошувальної води. При цьому у питанні екологічної оцінки якості зрошувальних вод тільки за останні 20 років накопичений значний науковий матеріал, який, в першу чергу, стосується токсикологічних показників якості зрошувальної води. Стосовно радіаційної безпеки зрошувальних вод питання мало досліджені [10].

Метою дослідження є розроблення рекомендацій щодо доповнення екологічних критеріїв якості зрошувальних вод критерієм щодо вмісту в останніх радіоактивних речовин.

Робота виконувалась в межах кафедральної НДР 0113U005721. Матеріалами досліджень виступали результати польових радіоекологічних досліджень в агроєкосистемах низов'я басейну річок Південний Буг та Дніпро, магістральних каналів і водоймищ зрошувальних систем Дніпровського басейну (Інгулецької, Каховської), Південно-Бузького басейну (Південно-Бузької, Білоусівської) протягом 1985–2010 років [5], а також матеріалів досліджень, виконаних авторами, при проведенні натурного експерименту з вивчення переходу радіонуклідів у зрошувальну воду (на експериментальних ділянках сільських господарств Миколаївської області з різними типами ґрунтів: чорноземів південних, чорноземів каштанових, чорноземів звичайних) [5; 12] та розробці нормативно-технічного документу [2], а також матеріали інших дослідників [10; 11; 13].

Виклад основного матеріалу. Екологічні критерії придатності води для зрошення передбачають оцінку за ступенем її впливу на землю, рослини та елементи зрошувальної системи. Чинні державні нормативно-технічні документи забезпечують оцінку якості води за наступними екологічними показниками: а) еколого-токсикологічні: 1) вміст важких металів, мг/л; 2) вміст пестицидів, мг/л; 3) вміст фенолів, ціанідів, мг/л; 4) вміст нафти і нафтопродуктів, мг/л; 5) вміст детергентів, мг/л; б) санітарно-бактеріологічні: 1) наявність бактерій групи кишкової палички (колі-індекс); 2) наявність фагів кишкової палички (індекс колі-фагів); 3) наявність патогенної мікрофлори; 4) наявність життєздатних яєць гельмінтів. Радіоактивні елементи не нормовані, хоча нормування і передбачено.

Базуючись на термінології нормативно-технічних документів [7–9] можна сформулювати екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді: якість води для зрошення встановлюється з урахуванням необхідності забезпечення безпечного радіаційно-гігієнічного (еколого-токсикологічного) стану й охорони навколишнього середовища від забруднення. Аналогічним чином оцінку якості води для зрошення за цим критерієм можна визначити як таку, що проводиться з метою попередження радіаційного впливу на компоненти природного середо-

вища та здоров'я людини. Таким чином, екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді, як і інші екологічні критерії у нормативно-технічних документах [1, 7–9], має два складники:

- радіаційно-екологічна – це забезпечення екосистеми від надмірного забруднення, яке впливало б на стійкість і надійність екосистеми (радіоекологічна безпека зрошувальних вод);
- радіаційно-гігієнічна – це забезпечення здоров'я людини (радіаційна безпека зрошувальних вод).

Ці складники обумовлюють різні методологічні підходи до визначення нормативних величин вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді:

- за радіаційно-екологічною складовою мають передбачатися екосистемні принципи оцінки надійності агроекосистеми зрошувального землеробства і застосування радіоекологічних підходів до оцінки якості зрошувальної води;
- за радіаційно-гігієнічною складовою мають передбачатися радіаційно-гігієнічні оцінки опромінення людини і забезпечення радіаційної безпеки продукції зрошувального землеробства.

Результати визначення нормативних величин вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді за радіаційно-гігієнічним критерієм висвітлено нами у нашій попередній роботі [6].

Визначення нормативів радіоекологічної безпеки вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді здійснено за допомогою моделювання перенесення радіоактивності в екосистемі методом камерних моделей. Камерну модель екосистеми прісноводного водоймища, з якого живиться зрошувальна система, представлено на рис. 1.

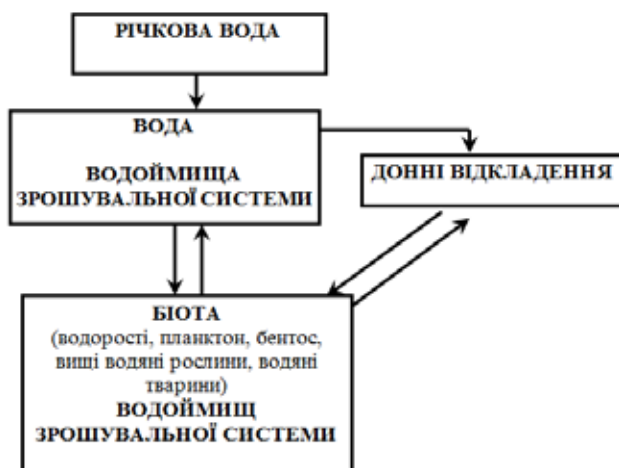


Рис. 1. Камерна модель перенесення радіонуклідів в екосистемі водоймища – джерела живлення зрошувальної системи

Життєздатність екосистеми, її стабільність і надійність забезпечується біотичним складником екосистеми. Біота екосистеми прісноводного водоймища – це водні рослини, планктон, бентос, завдяки яким у водоймищі відбуваються процеси

самовідновлення і самоочищення. Муловий ґрунт водоймища при такій біоті забезпечує процес утримання поллютантів (в тому числі радіонуклідних) без шкоди для себе. Саме біота і донний покрив водоймищ відповідальні за надійність екосистеми водоймища. Тому оцінка радіаційно-екологічної безпеки водоймища нами проведена за цими компонентами екосистеми прісноводного водоймища.

Відповідні радіоекологічні дослідження [12] у прісноводних водоймищах, задіяних у зрошувальних системах на Миколаївщині: Таборівське, Трикратське – Білоусівської зрошувальної системи, Єкатеринівське, Степове – Південно-Бузької зрошувальної системи, Жовтнєве – Інгулецької зрошувальної системи дали інформацію про якісний та кількісний склад біотичної складової таких водоймищ: основний об'єм біомаси водоймищ складає водяна рослинність, яка у масовому відношенні представлена: Елодея (*Elodea canadensis*), рдест (*Potamogeton natans*) – 50%, нитчасті водорості (*Cladophora fracta*) – 20%, зелені водорості (*Ulva lactuca*), планктон – 15%, інші види вищих водяних рослин – 15%.

За результатами експериментальних досліджень, які проводили для визначення вертикального розподілу ^{90}Sr , ^{54}Mn , ^{106}Ru у донному ґрунті Ташликського водоймища встановлено, що в середньому 42% ^{54}Mn , 23% ^{90}Sr і лише 1% ^{106}Ru затримується у верхньому (5 см) шарі. Коефіцієнт накопичення ^{54}Mn верхнім шаром мулів у прибережній частині ставка-охолоджувача становив 17 ± 2 , а ^{106}Ru – $0,35 \pm 0,09$. Останній зі збільшенням глибини (10-15 см) підвищувався до $0,8 \pm 0,1$, що вказує на ліпшу міграційну здібність ^{106}Ru . Аналогічні результати з депонування ^{90}Sr , ^{137}Cs показали дослідження у Таборівському водоймищі – джерелі живлення Білоусівської зрошувальної системи та у Степовому водоймищі – джерелі живлення Південно-Бузької зрошувальної системи.

Встановлено, що найбільшою здатністю накопичувати радіоактивні речовини відрізняються занурені форми рослин, у яких відносно велика поверхня. З таблиці 1 видно, що найбільший коефіцієнт накопичення мали нижчі, нитчасті водорості (10^4 – 10^5), коефіцієнт накопичення вищих рослин не перевищував 10^4 (табл. 1).

Будь-яка екосистема, мала чи велика, проста чи складна, здатна міцно і довго утримувати радіонукліди, що надходять до неї, шляхом активного накопичування чи пасивної сорбції, та фіксування на тривалий час значних кількостей радіонуклідів. Відсутність в екосистемі властивості щодо міцного утримування накопичених раніше радіонуклідів за будь-якої природної ситуації призводить до: 1) порушення трофічних зв'язків між компонентами екосистеми; 2) руйнування шляхів міграції і поглинання елементів живлення чи їхньої сорбції, 3) деградація екосистеми. Тобто здатність екосистеми накопичувати і міцно довго утримувати радіонукліди є її фундаментальною властивістю. Ця властивість забез-

печується в екосистемі нормально функціонуючою біотою. Також біомаса водоймища відіграє значну роль у транспортуванні радіонуклідів із води в донні відкладення. Радіонукліди, накопиченні живими організмами, при їх відмиранні міцно утримуються в детриті і разом із ним осідають на дно, переходячи в донні відкладення. Таким чином за допомогою біоти здійснюється очищення води водоймищ від забруднення радіонуклідами. Також є достатньо доказів того, що в періоди рясного цвітіння планктону рН води підвищується до 9–10 і через це відбувається істотне зниження рівня радіоактивного забруднення водоймищ, що є наслідком двох чинників – захоронювання радіонуклідів на дні водоймища разом із детритом і змін рН води, що є сприятливим до сорбції.

Враховуючи ці функції біоти, можна стверджувати, що наявність нормально функціонуючої мікрофлори, а також багатоклітинних рослин і тварин є необхідними умовами стабільного функціонування водоймищ як поглиначів радіонуклідів. При відсутності біоти в достатній кількості і якості відбувається поступова деградація екосистеми.

Сьогодні встановлено, що пригнічення росту популяції фітопланктону та інших біосистем можна очікувати при середній питомій активності радіонуклідів у біомасі A понад $3,7 \cdot 10^5$ Бк/кг. Цей рівень є орієнтовною границею забруднення біоти. Тому можна його використати в екологічних оцінках стану екосистеми водоймищ, які забезпечують функціонування зрошувальної системи, за допомогою оцінки радіаційної ємності екосистеми.

Радіаційна ємність екосистеми водоймища – це максимальна радіоактивність, яку здатна утримувати

ця екосистема без шкоди для себе. Тобто радіаційну ємність забезпечує біота екосистеми, а наявність нормально функціонуючої мікрофлори водоймища, а також багатоклітинних рослин і тварин є необхідними умовами стабільного функціонування водоймищ як поглиначів радіонуклідів, що до них потрапляють.

Через те, що біота відіграє роль депо накопичення радіонуклідів у водоймах, які містять велику кількість біоти, то в таких випадках радіоємність біоти водоймища визначають:

$$A_e = P \times C \times K \times S \times H, \quad (1)$$

де A_e – загальна активність радіонуклідів у біоті водоймища, Бк; P – загальна маса біоти в одиниці об'єму води, кг/м³; K – середній коефіцієнт накопичення радіонуклідів; C – питома активність радіонуклідів у воді, Бк/л; S – площа поверхні водоймища, км²; H – глибина водоймища, м.

Виходячи з (1) можна визначити величину контрольного (допустимого) рівня CC_i (Бк/л) радіонукліду i у водоймищі зрошувальної системи за принципами забезпечення радіоекологічної безпеки:

$$CC_i = \frac{\bar{A} \times M}{P \times K_i \times S \times H} = \frac{\bar{A}}{K_i}, \quad (2)$$

де M – загальна маса біоти у водоймищі, кг.

З використанням даних таблиці 1 за формулою 2 розраховано величини CC_i для радіонуклідів ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ⁹⁰Sr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, які наведено у таблиці 2. Ці CC_i відповідають нормативам вмісту радіонуклідів у зрошувальній воді, які визначено за радіаційно-екологічним принципом оцінки якості зрошувальних вод. У цій таблиці, для порівняння, для цих

Таблиця 1

Коефіцієнти накопичення радіонуклідів водними рослинами прісноводних водоймищ

Радіонуклід	Нитчасті водорості (<i>Cladophora fracta</i>)	Зелені водорості (<i>Ulva lactuca</i>), планктон	Елодея (<i>Eloдея canadensis</i>), рдест (<i>Potamogeton natans</i>)	Інші вищі водяні рослини
⁶⁰ Co	8750	39000	3490	6355
⁶⁵ Zn	6110	13470	3110	7350
⁹⁰ Sr	1910	62	805	430
¹⁰⁶ Ru	2550	3200	1125	1580
¹³⁷ Cs	1230	810	258	475

Таблиця 2

Орієнтовані величини допустимих концентрацій CC_i радіонуклідів у воді, що використовується для зрошення сільськогосподарських угідь способом дощування, розраховані за принципом радіоекологічної і радіаційної безпеки, Бк/л

Радіонуклід	За принципом радіоекологічної безпеки	За принципом радіаційної безпеки
⁹⁰ Sr	461,5	0,15
¹³⁷ Cs	533,7	0,60
⁶⁰ Co	25,7	8,00
⁶⁵ Zn	49,3	0,60
¹⁰⁶ Ru	175,0	38,00

радіонуклідів наведено також CS_i , які визначено за радіаційно-гігієнічним принципом оцінки якості зрошувальних вод [6].

Аналіз отриманих результатів свідчить, що різниця між відповідними величинами допустимих рівнів радіонуклідів у зрошувальній воді, визначених за принципами забезпечення радіоекологічної безпеки і принципами забезпечення радіаційної безпеки, сягає від декількох разів – до декількох порядків. Більш жорсткими вимогами до вмісту радіонуклідів у зрошувальній воді характеризується підхід, заснований на забезпеченні людини (принцип радіаційної безпеки). Однак підхід, заснований на принципі радіоекологічної безпеки, може стати у нагоді, наприклад, при оцінці екосистеми водойми для зрошення технічних культур.

Головні висновки:

1. Екологічний критерій вмісту радіоактивних речовин у зрошувальній воді має дві складові: перша – радіаційно-екологічна – це забезпечення екосистеми від надмірного забруднення, яке впливало б на стійкість і надійність екосистеми (радіоекологічна безпека зрошувальних вод); друга – радіаційно-гігієнічна – це забезпечення здоров'я людини (радіаційна безпека зрошувальних вод). У чинних нормативно-технічних документах відсутні нормативи як щодо радіоекологічної безпеки, так і щодо радіаційної безпеки зрошувальних вод.

2. Радіоекологічна безпека екосистеми прісноводного водоймища – джерела зрошувальної системи – забезпечується її біотою, яка у водоймищах Південно-Бузької, Білоусівської, Інгулецької зрошувальних систем представлена: Елодея (*Elodea canadensis*), рдест – 50%, нитчасті водорості (*Cladophora fracta*) – 20%, зелені водорості (*Ulva lactuca*), планктон – 15%, інші види вищих водяних рослин – 15%. Визначено коефіцієнти переходу ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs у ці водяні рослини. Найбільшою здатністю накопичувати радіоактивні речовини відзначаються занурені форми рослин, у яких відносно велика площа поверхні.

3. З використанням прийомів теорії радіємності екосистеми встановлено математичну формулу для визначення величини контрольного (допустимого) рівня радіонуклідів у водоймищі зрошувальної системи за принципами забезпечення радіоекологічної безпеки. З використанням встановлених коефіцієнтів переходу радіонуклідів у водяні рослини розраховано величини цих рівнів для радіонуклідів ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs . Порівняння з аналогічними рівнями, які було визначено авторами раніше за принципами забезпечення радіаційної безпеки зрошувальної води, вказало, що більш жорсткі вимоги до вмісту радіонуклідів у зрошувальній воді забезпечують саме останні принципи.

Література

1. ВНД 33-5.5-02-97. Якість води для зрошення. Екологічні критерії. (Харків, 1998) 15 с.
2. Временные рекомендации по контрольным (допустимым) концентрациям радионуклидов в воде, используемой для полива сельскохозяйственных в районах АЭС (М: МОЗ СРСР, 1988 р.).
3. ГН 6.6.1.1-130-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді
4. Григор'єва Л.І. Якість зрошувальної води: підходи до розробки радіаційно-гігієнічних критеріїв. Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання і якості 2(7) (2015). С. 9.
5. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Радіоекологічні та радіобіологічні аспекти зрошеного землеробства півдня України. (Миколаїв, 2006). 264 с.
6. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Алексєєва А.О. Доповнення екологічних критеріїв якості зрошувальних вод критерієм радіаційної безпеки // Наукові праці. Серія: Техногенна безпека. Т. 318., Вип. 306. 2018. С. 41–46.
7. ДСТУ 2730-94. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. (К. : Держстандарт України, 1994) 14 с.
8. ДСТУ 7286:2012. Якість природної води для зрошення. Екологічні критерії. (К. : Мінекономрозвитку України, 2013) 14 с.
9. ДСТУ Якість води для систем крапельного зрошення. Агрономічні і екологічні критерії. (К. : Держстандарт України, 2015) 16 с.
10. Козленко Є.В. Вплив умов формування води Інгулецької зрошувальної системи на агрономічні та екологічні показники її якості. Зрошуване землеробство 56 (2011). С. 164.
11. Майдебуря О.П., Вожегова Р.А., Гудков І.М. Міграція радіонуклідів на зрошуваних ґрунтах півдня України. Зрошуване землеробство 59 (2013) С. 136.
12. Томілін Ю.А., Григор'єва Л.І. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи. (Миколаїв, 2008). 225 с.
13. Якименко А.Н. Оценка качества воды Киевского водохранилища по показателям радиационной безопасности. Химия и технология воды. 35 (2013). С. 341.