

Dankevych Stepan Mykhailovych — Ph.D. in Agriculture Sciences, Institute of Agroecology and Nature Management of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Ukraine, 03143, Kyiv, 12 Metrologichna St.; e-mail: agroecologynaan@gmail.com).

УДК 628.1.033 : 628.196

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДОПРОВІДНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ХІМІЧНОЇ НЕШКІДЛИВОСТІ

Л.Д. Романчук

доктор сільськогосподарських наук, професор

*Житомирський національний агроєкологічний університет
(Україна, м. Житомир; e-mail: ludmilaromanchuck14@gmail.com)*

*І.Л. Башинська
аспірант*

*Житомирський національний агроєкологічний університет
(Україна, м. Житомир; e-mail: bashinskaya77@ukr.net)*

У роботі наведено результати розрахунку інтегральної оцінки якості питної водопровідної води м. Житомира за показниками хімічної нешкідливості з допомогою методу безпорогової моделі, що базується на імовірних оцінках розвитку несприятливих ефектів у організмі людини. Такий підхід передбачає оцінку потенційного ризику для здоров'я людини з урахуванням негативного хронічного (багаторічного) впливу небезпечних токсичних сполук, що містяться у питній водопровідній воді на його організм, що, своєю чергою, проявляється у зростанні захворюваності населення, яке постійно вживає воду ненормативної якості. Перелік забруднюючих речовин був сформований з 24 показників. Були розраховані канцерогенний і неканцерогенний ризики, а також інтегральний показник безпеки питної води. Виявлено, що водопровідна вода, яку подає у розподільчу мережу КП «Житомирводоканал», не є безпечною для здоров'я населення міста. Підприємство потребує негайного впровадження нових ефективних водоочисних технологій для покращення якості питної водопровідної води у м. Житомирі. Величини канцерогенного та неканцерогенного ризиків становили 0,000032 та 0,0899 відповідно. Значення канцерогенного ризику перевищувало величину прийнятного значення (0,00001) у 3,2 раза, здебільшого через уміст понаднормативних концентрацій хлороформу у воді, утворення якого, своєю чергою, зумовлено постійним органічним забрудненням джерела водопостачання та використанням значних доз хлору в технології очищення води. Значення неканцерогенного ризику перевищувало прийнятне значення (0,05) у 1,8 раза внаслідок перевищення встановлених ДСанПіНом нормативів щодо марганцю та перманганатної окиснюваності. Розрахований інтегральний показник становив 5,728, що вище за нормативний рівень (1,0) у 5,7 раза. У подальшій роботі буде висвітлено результати лабораторних та виробничих експериментів упровадження реагенту — окисника перманганату натрію (торгова форма CARUSOL) — у технологічний процес підготовки водопровідної питної води на водоочисних спорудах КП «Житомирводоканал».

Ключові слова: інтегральна оцінка, якість питної води, канцерогенний ризик, неканцерогенний ризик, ольфакторно-рефлекторний ефект, інтегральний показник.

Постановка проблеми. Забезпечення населення України чистою питною водою є запорукою здорової нації. В Законі України «Про питну воду та питне водопостачання» (ст. 7 «Про гарантії прав споживачів у сфері питної води, питного водопостачання та водовідведення») наголошується, що держава гарантує захист прав споживачів у сфері питної води, питного водопостачання та водовідведення шляхом забезпечення кожної людини питною водою

нормативної якості у межах науково-обґрунтованих нормативів питного водопостачання залежно від району та умов проживання [1].

Але головною проблемою питного водопостачання України є те, що більшість з водних об'єктів, які використовуються як джерела питного водопостачання, є поверхневими, і вони постійно потерпають від антропогенного навантаження. Унаслідок цього якість поверхневої води у водних об'єктах не відповідає вимогам

санітарного законодавства, а якість питної води, як відомо, напряму залежить від якості води у джерелі питного водопостачання [2; 3].

Основними недоліками, що зумовлюють потрапляння неякісної питної води до водогонів міст, є [4]:

- постійний антропогенний тиск на водні об'єкти;
- недотримання водоохоронних заходів на водних об'єктах;
- незадовільний екологічний стан поверхневих джерел водопостачання;
- використання застарілих та неефективних водоочисних технологій;
- відсутність належного рівня виробничого лабораторного контролю якості води на підприємствах водопостачання;
- незадовільний санітарний стан водопровідних споруд та водопровідних розподільчих мереж;
- недосконала нормативна база у сфері питного водопостачання.

Ситуація, що склалася із незадовільною якістю питної води, потребує термінової розробки та вжиття ефективних сучасних комплексних заходів з покращення технологій водопідготовки, які обов'язково мають спиратися на наукове обґрунтування нових методичних підходів до оцінки якості питної водопровідної води. Це надасть змогу визначити пріоритетні напрями щодо підвищення ефективності технологій водопідготовки з найменшими затратами та отриманням якісної питної води [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Автори С.Л. Василенко та В.Я. Кобилянський у своїй роботі [6] розглядають метод комплексного оцінювання якості води у міських водопроводах з урахуванням сукупного впливу деяких показників на здоров'я людини, що, загалом, відповідає «ризик-аналізу» систем водопостачання. Ця комплексна оцінка якості питної води ґрунтується на застосуванні ранжирування показників якості і точок контролю значно розгалуженої водопровідної мережі. Якісні показники диференціюються за ознаками шкідливості та класів небезпеки забруднюючих речовин (властивостей) з використанням кумулятивних коефіцієнтів та нормування відносно нормативних величин показників — як правило, граничнодопустимих концентрацій.

Для оцінки ризику та порівняння очікуваних наслідків від споживання питної води І.О. Рой [7] пропонує використовувати величину скорочення тривалості життя населення, яка була запропонована Бернардом Коеном. Перевагою вказаного методу є врахування у розрахунках оцінки ризику показників три-

валості життя для всіх вікових і статевих груп населення.

Здебільшого інтегральна оцінка ризику здоров'ю населення [5; 8; 9] внаслідок споживання питної води, забрудненої хімічними речовинами, здійснюється відповідно до методичних рекомендацій [10], в основі яких лежить методологія оцінки ризику як за окремими показниками, так і загалом через сумарний показник небезпеки питної води — інтегральний показник [11]. Основні принципи виконання інтегральної оцінки ризику представлено у відповідній інструкції [12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Численні дослідження іноземних вчених (Ю.В. Рахманина, С.М. Новикова, І.А. Черниченко и др.; R.L. Jolley, K.P. Cantor et. all) засвідчують необхідність розробки таких методів оцінки якості питної води, які обов'язково будуть спиратися на сучасні високоефективні технології водопідготовки і виявляти появу у питній воді раніше не встановлені забруднюючі речовини, а також сприяти вивченню їх впливу на організм людини [5].

Метою дослідження є проведення інтегральної оцінки якості водопровідної питної води м. Житомира за показниками хімічної нешкідливості.

Для досягнення поставленої мети були сформульовано такі завдання:

- розрахувати та оцінити ризики від перорального надходження з питною водою хімічних речовин, які характеризуються ольфакторно-рефлекторним ефектом впливу;
- розрахувати та оцінити неканцерогенні ризики за перорального надходження хімічних речовин з токсикологічним ефектом впливу;
- розрахувати та оцінити канцерогенний ризик для здоров'я людини внаслідок вживання питної водопровідної води;
- розрахувати та оцінити інтегральний показник якості водопровідної питної води м. Житомира;
- запропонувати сучасні ефективні технології водопідготовки та можливі методи мінімізації утворення забруднюючих речовин у питній водопровідній воді.

Матеріали та методи. Для оцінки інтегрального ризику нешкідливості питної води для здоров'я населення м. Житомира був сформований перелік пріоритетних показників. До нього ввійшли органолептичні показники, показники хімічних речовин, що надходять у питну воду в процесі обробки реагентами, а також показники, що характеризують забруднення джерела водопостачання та показники, які відображають рівень постійно присутніх у питній воді речовин.

Перелік був сформований з 24-х показників, як-от: алюміній, амоній, залізо, кобальт, марганець, мідь, молібден, нікель, нітрати, перманганатна окиснюваність, стронцій, сульфати, свинець, сухий залишок, цинк, фториди, кадмій, хлороформ, хром, кольоровість, каламутність, водневий показник рН, загальна жорсткість, хлориди. Середні значення показників — концентрацій забруднювальних речовин у питній водопровідній воді — були розраховані за період 2005–2018 рр. за допомогою пакета прикладних програм Microsoft Excel.

Оскільки для розрахунку інтегральної оцінки якості питної води необхідно осереднен-

ня наявних даних [10], були розраховані усереднені концентрації забруднюючих речовин: максимальні концентрації на рівні 98% імовірності забезпечення для оцінки органолептичних властивостей питної води (ольфакторно-рефлекторний ефект) та середні концентрації на рівні 95% імовірності забезпечення для оцінки очікуваних неканцерогенних і канцерогенних ефектів.

Значення показників якості питної води за 2005–2018 рр. наведено у табл. 1.

Інтегральне оцінювання якості водопровідної питної води за показниками нешкідливості здійснювали відповідно до методичних рекомендацій МР 2.1.4.0032-11 [10], що засно-

Таблиця 1

Середні та розраховані усереднені концентрації забруднюючих речовин у водопровідній питній воді м. Житомира за 2005–2018 рр.

№	Показник	Норматив ДСанПІН 2.2.4-171-10(ГДК), мг/дм ³	Концентрація у питній воді (С), мг/дм ³	Усереднене значення концентрації, (С _{усеред}), мг/дм ³	№	Показник	Норматив ДСанПІН 2.2.4-171-10(ГДК), мг/дм ³	Концентрація у питній воді (С), мг/дм ³	Усереднене значення концентрації, (С _{усеред}), мг/дм ³
1	Алюміній	0,5	0,26	0,265	14	Сухий залишок	1000,0	262,0	268,22
2	Амоній	0,5	0,14	0,14	15	Цинк	1,0	0,025	0,02897
3	Залізо	0,2	0,128	0,129	16	Фториди	0,7	0,15	0,152
4	Кобальт	0,1	0,006	0,007	17	Хлориди	250,0	33,6	33,75
5	Марганець	0,05	0,074	0,079	18	Кадмій	0,001	0,0001	0,00012
6	Мідь	1,0	0,0021	0,0023	19	Хлороформ	0,06	0,096	0,0984
7	Молібден	0,07	0,0082	0,0082	20	Хром	0,05	0,001	0,0011
8	Нікель	0,02	0,01	0,01	21	Кольоровість (градуси)	20	13	22,9*
9	Нітрати	50	1,4	1,44	22	Каламутність	0,58	0,99	1,84*
10	Свинець	0,01	0,0014	0,00154	23	Водневий показник рН, одиниці рН	6,5-8,5	7,34	8,10*
11	Перманганатна окиснюваність	5,0	6,64	6,67	24	Загальна жорсткість	7,0	3,7	4,97*
12	Стронцій	7,0	0,157	0,169	25	Хлориди	250,0	33,6	46,85*
13	Сульфати	250,0	29,4	30,64	26	Сухий залишок	1000,0	262,0	357,99*

* Максимальні концентрації показників, розраховані на рівні 98% імовірності забезпечення для оцінки органолептичних властивостей питної води.

вано на методології оцінки ризику для здоров'я населення. Загальні принципи розрахунків, експозиційні та референтні дози наведено у інструкції [12].

Такий підхід базується на оцінці потенційного ризику для здоров'я людини з урахуванням несприятливого хронічного (багаторічного) впливу небезпечних токсичних сполук, що містяться у питній водопровідній воді на здоров'я людини, що, своєю чергою, проявляється у підвищенні рівня захворюваності населення, яке постійно вживає воду ненормативної якості [7].

Для оцінки канцерогенного та неканцерогенного (загальнотоксичного) ризиків, а також інтегральної оцінки нешкідливості питної води використовуються безпорогові моделі, що базуються на імовірних оцінках розвитку несприятливих ефектів.

Запропоновану безпорогову модель оцінки потенційного неканцерогенного ризику впливу хімічних речовин, що містяться у питній воді та мають токсичний ефект впливу, можна виразити за допомогою рівняння:

$$Risk = 1 - \exp((\ln(0,84)/(\text{ГДК} \times K_3)) \times C), \quad (1)$$

де $Risk$ — імовірність розвитку неспецифічних токсичних ефектів за хронічної інтоксикації (від 0 до 1); C — концентрація хімічної речовини у питній воді: середня добова концентрація речовини, що надходить в організм людини з питною водою впродовж тривалого часу. Для оцінки ефектів від тривалого (хронічного) впливу речовин використовують дані їх середніх концентрацій (щонайменше за 1 рік) [7]; ГДК — норматив граничнодопустимої концентрації речовини; K_3 — коефіцієнт запасу, зазвичай беруть такий, що дорівнює 10 (для низки речовин він може бути іншим: для свинцю — 3; для речовин із канцерогенними властивостями — 100 тощо).

Оцінку сумарного неканцерогенного ризику від впливу всіх забруднюючих речовин виражають за допомогою рівняння:

$$Risk_{\text{нек}} = 1 - (1 - Risk_1) \times (1 - Risk_2) \times \dots \times (1 - Risk_n), \quad (2)$$

де $Risk_{\text{нек}}$ — неканцерогенний ризик від комбінованого впливу речовин; $Risk_1, Risk_2, \dots, Risk_n$ — ризики від впливу кожної речовини.

Основним параметром для оцінки канцерогенного ризику є чинник канцерогенного потенціалу, що відображає верхню, консервативну оцінку канцерогенного ризику за очікуваної (середньої) тривалості життя людини (70 років). Канцерогенний потенціал (SF_0) [12] у цьому разі є величиною, яка характеризує міру додаткового індивідуального канцерогенного

ризика або ступінь збільшення імовірності розвитку раку внаслідок впливу канцерогену. Для розрахунку величини середньодобової дози ($LADD$) використовується рівняння:

$$LADD = (C \times CR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365), \quad (3)$$

де C — концентрація речовини у питній воді, мг/дм³; CR — швидкість надходження (кількість за одиницю часу) питної води в організм людини, л/добу (2 л/добу); ED — тривалість впливу, років (70 років); EF — частота впливу, днів/рік (350 днів); BW — маса тіла людини, кг (70 кг); AT — період осереднення експозиції, років (70 років); 365 — кількість днів у році.

Оцінка канцерогенного ризику відбувається із використанням експоненціальної моделі, вираженої за допомогою рівняння:

$$Risk = 1 - \exp(-SF_0 \times LADD), \quad (4)$$

У разі незначних рівнів забруднення води канцерогенами, тобто за значень, близьких до впливу на організм людини, оцінка відбувається за лінійною моделлю, вираженою за допомогою рівняння:

$$Risk = SF_0 \times LADD, \quad (5)$$

Оцінка сумарного канцерогенного впливу відбувається у спосіб складання значень ризику від кожної речовини за допомогою рівняння:

$$Risk_{\text{канц}} = Risk_1 + Risk_2 + \dots + Risk_n, \quad (6)$$

Якщо отримане значення ризику $Risk_{\text{канц}}$ є вищим за 0,001, то сумарний канцерогенний ризик перераховується за рівнянням (2).

Оцінка сумарного ризику органолептичних ольфакторно-рефлекторних ефектів відбувається у спосіб вибору його максимального значення із всієї групи розрахованих величин, характерних для кожної речовини методом розрахунку максимальної концентрації на рівні 98% імовірності забезпечення за рівнянням:

$$Risk_{po} = \max Risk_{po}, \quad (7)$$

Такий підхід базується на загальноприйнятій думці про особливості реакції рецепторів людини, яку формують рефлекторні реакції, описані законом Вебера-Фехнера.

Розрахунок показників, які характеризують ольфакторно-рефлекторні ефекти впливу, відбувається за кількома моделями (пробіт-функціями) оцінки ризику.

Модель оцінки ризику за показником «кольоровість» представлено рівнянням:

$$Prob = -3,33 + 0,067 \times Ц, \quad (8)$$

де $Ц$ — кольоровість питної води (у градусах кольоровості).

Prob — обумовлюється імовірністю (ризиком) у відповідності із законом нормального імовірнісного розподілу, що може бути описаний рівнянням:

$$Risk = \left(1/\sqrt{2\pi}\right)^* \int_{-\infty}^{Prob} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (9)$$

Модель оцінки ризику за показником «каламутність» представлено рівнянням:

$$Prob = -3 + 0,25 \times K, \quad (10)$$

де *K* — каламутність питної води.

Модель оцінки ризику за показником «водневий показник рН» представлено рівняннями:

$$Prob = 4 - pH, \text{ при } pH \leq 7, \quad (11)$$

$$Prob = -11 + pH, \text{ при } pH > 7, \quad (12)$$

Модель оцінки ризику за іншими показниками, які нормуються за їх впливом на органолептичну якість питної води, представлено рівняннями:

$$Prob = -2 + 3,32 \times \lg(\text{концентрація норматив}), \quad (13)$$

За отриманими пробіт-функціями (*Prob*) для всіх речовин визначається ризик відповідних показників, які характеризуються ольфакторно-рефлекторними ефектами впливу за таблицею додатку 5 [13].

Інтегральну оцінку здійснюють у спосіб розрахунку інтегрального показника (ІП) за формулою (14) та порівняння його із допустимим значенням $IP \leq 1$:

$$IP = (Risk_{po}/PZ_{po}) + (Risk_{нек}/PZ_{нек}) + (Risk_{канц}/PZ_{канц}), \quad (14)$$

де PZ_{po} — прийнятне значення ризику рефлекторно-ольфакторних ефектів (0,1); $PZ_{нек}$ — прийнятне значення неканцерогенного ризику (0,05); $PZ_{канц}$ — прийнятне значення канцерогенного ризику (0,00001).

Перевищення значення прийнятного ризику навіть за одним з його видів ($Risk_{po} \leq 0,1$; $PZ_{нек} \leq 0,05$; $PZ_{канц} \leq 0,00001$) або значення самого інтегрального показника потребує негайного вжиття додаткових заходів удосконалення технології водопідготовки на водопровідних спорудах для покращення якості питної води. А якщо всі види ризиків та інтегральний показник є у межах прийнятного значення, то такі заходи проводити не потрібно.

Викладення основного матеріалу. Результати оцінки ризику розвитку рефлекторно-ольфакторних ефектів, зумовлених вживанням питної водопровідної води, в основу яких покладено головні органолептичні показники питної води та ті, що впливають на її органолептичну якість, наведено в табл. 2.

Принцип, що використовується як значущий для рефлекторно-ольфакторного ефекту впливу, будується на задоволеності або незадоволеності населення якістю питної водопровідної води. Відповідно до рекомендацій ВООЗ, головний пріоритет водопідготовки в умовах централізованого водопостачання — це забезпечення таких органолептичних параметрів питної води, що задовольнить близько 90% споживачів. Тому як величину прийнятного ризику ольфакторно-рефлекторних ефектів використовують величину 10%, або 0,1 [5; 10].

У наших дослідженнях сумарна оцінка органолептичного ризику від вживання питної водопровідної води становить 0,073. Оскільки оцінка сумарного ризику органолептичних ольфакторно-рефлекторних ефектів відбувається шляхом вибору його максимального значення із всієї групи розрахованих величин, то пріоритетним чинником оцінки був показник кольоровості води. Проте аналіз середніх концентрацій забруднюючих речовин цієї групи за 2005–2018 рр., (табл. 1), засвідчив, що їх уміст,

Таблиця 2

Оцінка ризику розвитку рефлекторно-ольфакторних ефектів щодо питної водопровідної води

№	Показник	Усереднене значення концентрації у питній воді (С), мг/дм ³	<i>Prob</i>	Ризик (<i>Risk</i>)	Сумарний ризик (<i>Risk_{po}</i>)
1	Кольоровість, градуси	22,9	-1,79	0,036	0,073
2	Каламутність	1,84	-2,54	0,006	
3	Водневий показник рН, одиниці рН	8,10	-2,9	0,002	
4	Загальна жорсткість	4,97	-3,14	0	
5	Хлориди	46,85	-8,68	0	
6	Сухий залишок	357,99	-1,92	0,029	

окрім каламутності, не перевищував встановлених нормативів ДСанПіНу 2.2.4-171-10.

Результати оцінки неканцерогенного ризику для здоров'я людини, спричиненого вживанням питної водопровідної води, що постачається з водопровідних споруд комунального підприємства «Житомирводоканал», наведено в табл. 3.

Неканцерогенний ризик засвідчує імовірне збільшення захворюваності населення м. Житомира через вживання питної водопровідної води, що містить в собі вказані вище токсичні забруднюючі речовини. Під час обрання величини прийнятного ризику необхідно орієнтуватися на значення статистичної похибки, за якої рівень захворюваності в групах порівняння не перевищує достовірне значення. За різними оцінками ця величина становить 0,02–0,05. Для обрання прийнятного значення неканцерогенного ризику необхідно приймати до уваги те, що здебільшого забруднюючі речовини, що містяться у питній воді, впливають на організм людини комплексно, а не кожна

окремо. А також треба приймати до уваги, що якість питної води впродовж деякого періоду часу не може бути одноковою, тому як прийнятну величину необхідно використовувати значення 0,05 [5; 10; 14].

Як видно з таблиці 3, розрахований неканцерогенний ризик погіршення стану здоров'я населення внаслідок вживання питної водопровідної води за кожною окремою забруднюючою речовиною виявився таким, що не перевищував рівня прийнятного ризику (0,05). Зокрема, найвищим значенням *Risk* характеризується марганець (0,0255) та перманганатна окиснюваність (0,0229). Це зумовлено низькою ефективністю технології очищення води на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал» (табл. 1), адже перевищення нормативів ДСанПіНу 2.2.4-171-10 за цими речовинами становить 1,5 та 1,3 раза відповідно. Крім того, величина сумарного неканцерогенного ризику $Risk_{нек}$ для здоров'я населення м. Житомира перевищила рівень допустимого ризику (0,05) у 1,8 раза, що становить 0,0899, і є неприйнятним. Тоб-

Таблиця 3

Розрахунок оцінки неканцерогенного ризику для здоров'я людини від вживання питної водопровідної води м. Житомира

№	Показник	Норматив ДСанПіНу 2.2.4-171-10 (ГДК), мг/дм ³	Усереднене значення концентрації у питній воді ($C_{усеред}$), мг/дм ³	Коефіцієнт запасу (K_z)	Неканцерогенний ризик (<i>Risk</i>)	Сумарний ризик ($Risk_{нек}$)
1	Алюміній	0,5	0,265	100	0,00091	0,089997
2	Амоній	0,5	0,14	10	0,0049	
3	Залізо	0,2	0,129	10	0,0111	
4	Кобальт	0,1	0,007	10	0,001	
5	Марганець	0,05	0,079	10	0,0255	
6	Мідь	1,0	0,0023	10	0,000037	
7	Молібден	0,07	0,0082	10	0,002	
8	Нікель	0,02	0,01	10	0,0087	
9	Нітрати	50	1,44	10	0,00049	
10	Свинець	0,01	0,0015	3	0,002438	
11	Перманганатна окиснюваність	5,0	6,67	10	0,0229	
12	Стронцій	7,0	0,169	10	0,00039	
13	Сульфати	250,0	30,64	10	0,002	
14	Сухий залишок	1000,0	268,22	10	0,00456	
15	Цинк	1,0	0,02897	10	0,000436	
16	Фториди	0,7	0,152	10	0,0037	
17	Хлориди	250,0	33,75	10	0,00234	

то вживання водопровідної води населенням м. Житомира є шкідливим для здоров'я, що неминуче призведе до його погіршення.

Розрахунок оцінки канцерогенного ризику для здоров'я населення під час вживання питної водопровідної води м. Житомира наведено у табл. 4.

За оцінки канцерогенного ризику, відповідно до рекомендацій ВООЗ, величиною прийняттого канцерогенного ризику слід вважати значення 0,00001 [5; 10].

Нами виявлено, що сумарний канцерогенний ризик для здоров'я населення перевищував верхню межу допустимого прийняттого значення у 3,2 раза, в основному, внаслідок одиночного перевищення канцерогенного ризику показників, як-от: хлороформ — у 1,6 та хром — у 1,3 раза (табл. 4).

Результати розрахунку інтегрального показника питної водопровідної води м. Житомира наведено у табл. 5.

Аналіз даних табл. 5 засвідчив, що співвідношення ризику розвитку ольфакторно-рефлекторних ефектів і прийняттого значення становило 0,73; співвідношення сумарного неканцерогенного ризику і прийняттого значення — 1,8; а канцерогенного ризику і прийняттого значення — 3,2. Обрахований інтегральний

показник у такому разі становив 5,728, що перевищує нормативний рівень (1,0) у 5,7 раза.

Величина інтегрального показника демонструє імовірність виникнення захворювання у населення і має варіювати у межах від 0 до 1 ($0 \leq \text{ІП} \leq 1$). Чим ближчим до 1 є значення інтегрального показника, тим вищою є імовірність виникнення негативних наслідків від ризику захворювання внаслідок вживання неякісної питної водопровідної води [7]. У наших дослідженнях $\text{ІП} > 1$ ($5,728 > 1$).

Отже, отримана, розрахована та проаналізована нами інформація оцінки якості питної води свідчить про необхідність термінового вдосконалення існуючих схем водопідготовки на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал», через вжиття заходів, спрямованих на зменшення наслідків техногенного впливу, зокрема, впровадження в технологічну схему очищення води нових сучасних ефективних технологій та методів очистки води від хімічних, органічних, токсичних, канцерогенних забруднюючих речовин. До них належать [16; 17]:

- використання гранульованого та порошкоподібного активованого вугілля для адсорбції органічних речовин на різних стадіях водопідготовки;

Таблиця 4

Розрахунок оцінки канцерогенного ризику для здоров'я населення внаслідок вживання питної водопровідної води

№	Показник	Усереднена концентрація у питній воді (C), мг/дм ³	Чинник потенціалу ризику (SF _o)	Середньо-добова доза (LADD)	Канцеро-генний ризик (Risk)	Сумарний ризик (Risk _{канц})
1	Кадмій	0,00012	0,38	0,00000274	0,00000125	0,000032
2	Свинець	0,00154	0,047	0,0000384	0,00000198	
3	Хлороформ	0,0984	0,0061	0,00263	0,00001644	
4	Хром	0,0011	0,42	0,0000274	0,0000127	

Таблиця 5

Розрахунок інтегрального показника питної водопровідної води

Вид ризику	Значення за сумарною оцінкою	Величина прийняттого значення	Співвідношення ризику і прийняттого значення
Ризик появи рефлекторно-ольфакторних ефектів	0,073	0,1	0,73
Неканцерогенний ризик	0,0899	0,05	1,8
Канцерогенний ризик	0,000033	0,00001	3,2
Інтегральний показник			5,728

- методи мембранної фільтрації (ультрафільтрація та нанофільтрація);
- окислення озоном з подальшим біофільтруванням;
- повітряна флоатація;
- методи деструкції (озонування на різних стадіях коагуляційної обробки, з можливим використанням ультрафіолетового опромінення).

Методами зменшення утворення хлороформу у питній воді на стадії хлорування можуть бути: попереднє вилучення з води органічних речовин за допомогою реагентів-окисників (перманганату натрію), зменшення доз хлору і застосування дробового хлорування на різних стадіях водопідготовки та використання преамонізації.

Щоб позбутися проблеми утворення хлороформу у питній воді загалом, необхідно етап знезараження питної води хлоровмісними реагентами замінити на інші, як-от: застосування реагенту-окисника (перманганату натрію), озону, ультрафіолетового опромінення, діоксиду хлору, суміші оксидантів тощо.

Висновки. Використання методики інтегральної оцінки якості питної води за показниками хімічної нешкідливості підтвердило наші висновки стосовно отриманих результатів якості питної води та її впливу на здоров'я населення м. Житомира, що були викладені у попередній статті [15]. Ми пересвідчилися, що водопровідна вода, яку подає у розподільчу мережу КП «Житомирводоканал», не є безпечною для здоров'я населення за величиною канцерогенного та неканцерогенного ризиків (0,000032 та 0,0899) відповідно. Значення канцерогенного ризику перевищує величину прийнятного значення у 3,2 рази, в основному через уміст по-

наднормативних концентрацій хлороформу у воді, утворення якого, своєю чергою, зумовлено постійним органічним забрудненням джерела водопостачання та використанням великих доз хлору у технологічному процесі водопостачання. Традиційні технології водопідготовки, які вже довгий час без істотних змін використовуються на водопровідних спорудах КП «Житомирводоканал» технічно та морально застаріли, оскільки не справляються з повним очищенням поверхневої води з водосховища «Відсічне» від забруднюючих речовин марганцю та перманганатної окиснюваності. Про це свідчить підвищене значення величини неканцерогенного ризику, яке перевищувало прийнятне значення (0,05) у 1,8 рази, і становило 0,0899, в основному, внаслідок перевищення нормативів ДСанПіНу щодо марганцю та перманганатної окиснюваності. Розрахований інтегральний показник становив 5,728, що перевищував нормативний рівень (1,0) у 5,7 рази.

Така ситуація потребує негайного впровадження сучасних водоочисних технологій, методів та реагентів для покращення якості питної водопровідної води у м. Житомирі. Тому в подальших роботах будуть викладені результати серій лабораторних експериментів та виробничих впроваджень реагенту-окисника перманганату натрію (торгова форма CARUSOL) в технологічний процес приготування водопровідної питної води на водоочисних спорудах КП «Житомирводоканал», завдяки якому можна знизити концентрації марганцю, перманганатної окиснюваності, фітопланктону ще на стадії первинного очищення води на 1 підйомі, а також концентрацію хлороформу завдяки виключенню фази попереднього передокислення хлором.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про питну воду та питне водопостачання». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2918-14>.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2013 році / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. К., 2014. 454 с.
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2014 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. Київ, 2016. 350 с.
4. Гончарук В.В. Хімія води і проблеми водопостачання // Світогляд. 2009. № 4. С. 18–24.
5. Ерастова Н.В. Гигиеническое обоснование метода интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности: автореф. дис...канд. мед. наук / СЗГМУ им. И.И. Мечникова. Санкт-Петербург, 2014. 143 с.
6. Василенко С.Л., Кобилянський В.Я. Інтегральне оцінювання якості питної води в сильно розгалуженій водопровідній мережі // Комунальне господарство міст. 2015. вип. 121. С. 21–25.
7. Рой І.О., Пляцук Л.Д. Оцінка екологічної безпеки систем централізованого питного водопостачання в Україні // Журнал інженерних наук. Journal of engineering sciences. 2014. Том 1. № 1. С. 7–14.
8. Михайличенко К.Ю., Коршунова А.Ю., Курбатова А.И. Интегральная оценка качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 99–106.

9. Кенесариев У.И., Досмухаметов А.Т., Амрин М.К., Ержанов А.Е., Баймухамедов А.А. Интегральная оценка риска здоровью при использовании питьевой воды, производимой опреснительным заводом «Каспий» // Анализ риска здоровью. 2013. №1. С.58–64.
10. МР 2.1.4.0032-11. 2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности [Электронный ресурс]. URL: http://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/5a5/mr_2.1.4.0032_11.pdf.
11. Бардина Д.А., Михайлова П.Г. Разработка алгоритма оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих питьевую воду // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Том 29. № 4 (163). С. 57–59.
12. Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». [Электронный ресурс]. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/246220/.
13. Инструкция 2.1.4.10-11-2-2005. Оценка риска здоровью населения от воздействия химических веществ, загрязняющих питьевую воду. [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic30/text794/index3.htm>.
14. Галимова А.Р., Тунакова Ю.А. Оценка риска потребления водопроводной питьевой воды по зонам в г. Казани установленного катионного состава // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 347–351.
15. Башинська І.Л. Екологічна оцінка ефективності очищення питної на водопровідних спорудах комунального підприємства «Житомирводоканал» // Наукові горизонти. Scientific horizons. 2018. 7–8 (70). С. 50–58.
16. Полищук А.А., Гольцов В.И. О проблемах ХОС при обеззараживании воды хлорсодержащими агентами // Водопостачання та водовідведення. 2015. № 6. С. 8–13.
17. Сліпченко В.О., Сліпченко О.О. Сучасні методи видалення з води органічних речовин та розробка технології доочищення водопровідної води до вимог ДержСанПіНу «Вода питна» // Водопостачання та водовідведення. 2009. № 3. С. 31–37.

Інформація про автора

Романчук Людмила Донатівна — доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку (Україна, 10008, м. Житомир, Старий бульвар, 7; e-mail: ludmilaromanchuck14@gmail.com)

Башинська Ірина Леонідівна — аспірант, Житомирський національний агроекологічний університет (Україна, 10008, м. Житомир, Старий бульвар, 7; e-mail: bashinskaya77@ukr.net).

L.D. Romanchuck
 Doctor of Agricultural Sciences, Professor
 Zhytomyr National Agroecological University
 (Ukraine, Zhitomir; e-mail: ludmilaromanchuck14@gmail.com)

I.L. Bashinskaya
 Postgraduate
 Zhytomyr National Agroecological University
 (Ukraine, Zhitomir; e-mail: bashinskaya77@ukr.net)

INTEGRAL ESTIMATION OF DRINKING TAP WATER QUALITY BY CHEMICAL HARMLESSNESS INDICATORS

The calculation results of the integral estimation of drinking tap water quality in Zhytomyr city according to the chemical harmless indicators are given in the article with the help of the method of a non-threshold model, based on probable estimates of the adverse effects development in the human body. This approach is based on an assessment of the potential risk to the human health, taking into account the negative chronic (long-term) effects of hazardous toxic compounds contained in the drinking tap water on its body. This brings to a gradual increase of the population morbidity, which constantly consumes the non-normative quality water. The list of pollutants was formed from 24 indicators. Carcinogenic and non-carcinogenic risks were calculated, as well as an integral indicator of the risk of drinking water. It was found that the tap water supplied to the Zhytomyr Vodokanal distribution network is not safe for the city's population health and requires the immediate introduction of new effective water treatment technologies to improve the quality of drinking tap water in Zhytomyr. The quantities of carcinogenic and non-carcinogenic risks were 0.000032 and 0.0899 respectively. The value of carcinogenic risk exceeded the size acceptable value (0.00001) in 3.2 times, mainly due to the content of excess concentrations of chloroform in water, the formation of which, in turn, is due to the presence of stable organic contamination of the

water supply source and the use of large doses of chlorine in the purification technology water. The value of non-carcinogenic risk exceeded the acceptable value (0.05) in 1,8 times due to exceeding the manganese and permanganate oxidation standards established by DSANPin. The calculated integral index was 5.728 and it is 5.7 times higher than the normative level (1.0). The laboratory results and production experiments on the introduction of a reagent — an oxidizer of sodium permanganate (commercial form CARUSOL) into the technological process of preparing drinking water in water treatment plants of the Communal Enterprise «Zhytomyr Vodokanal» will be illustrated in the direction of further work.

Keywords: integral assessment, the quality of drinking water, carcinogenic risk, non-carcinogenic risk, olfactor-reflex effect, integral index.

REFERENCES

1. *The Law of Ukraine: On Drinking Water and Drinking Water Supply (2002)*. [Electronic source]. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2918-14>.
2. *National Report on the Quality of Drinking Water and the State of Drinking Water Supply in Ukraine in 2013*. (2014). 454.
3. *National report on the state of the natural environment of Ukraine in 2014*. (2016). 350.
4. Honcharuk, V.V. (2009). Khimiiia vody i problemy vodopostachannia. [Chemistry of water and water supply problems]. *Svitohliad*, 4, 18-24. (In Ukr.)
5. Erastova, N.V. (2014). Gigiyenicheskoye obosnovaniye metoda integral'noy otsenki pit'yevoy vody po pokazatelyam khimicheskoy bezvrednosti. *North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov*. St. Petersburg. 143. (In Russ.)
6. Vasylenko, S.L. & Kobylianskyi, V.Ya. (2015). Intehrálne otsiniuvannia yakosti pytnoi vody v syl-no rozghaluzhenii vodoprovodnii merezhi [Integral assessment of the quality of drinking water in a highly branched network]. *Komunalne hospodarstvo mist [Municipal economy of cities]*, 121, 21-25. (In Ukr.)
7. Roi, I.O. & Pliatsuk, L.D. (2014). Otsinka ekolohichnoi bezpeky system tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia v Ukraini [Assessment of ecological safety of centralized drinking water supply systems in Ukraine]. *Zhurnal inzhenernykh nauk [Journal of engineering sciences]*, 1, 1, 7-14. (In Ukr.)
8. Mikhaylichenko, K.YU. et al. (2014). Integral'naya otsenka kachestva pit'yevoy vody tsentralizovannykh sistem vodosnabzheniya [Integrated assessment of the quality of drinking water from centralized water supply systems]. *Vesnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 4, 99-106. (In Russ.)
9. Kenesariyev, U.I., Dosmukhametov, A.T., Amrin, M.K., Erzhanov, A.E., Baymukhamedov, A.A. (2013). Integral'naya otsenka riska zdorov'yu pri ispol'zovanii pit'yevoy vody, proizvodimoy opresnitel'nyim zavodom «Kaspiy» [Integral health risk assessment when using drinking water produced by the Caspian desalination plant]. *Analiz riska zdorov'yu [Health risk analysis]*, 1, 58-64. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2013.1.08.
10. MR 2.1.4.0032-1. Pit'yevaya voda i vodosnabzheniye naselennykh mest. Integral'naya otsenka pit'yevoy vody tsentralizovannykh sistem vodosnabzheniya po pokazatelyam khimicheskoy bezvrednosti [Drinking water and water supply of populated areas. Integral assessment of drinking water of centralized water supply systems by chemical safety indicators]. (2012). (In Russ.) [Electronic source]. URL: http://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/5a5/mr_2.1.4.0032_11.pdf.
11. Bardina, D.A., Mikhaylova, P.G. (2015). Razrabotka algoritma otsenki riska zdorov'yu naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh pit'yevuyu vodu [Development of an algorithm for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute drinking water]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]*, 29, 4(163), 57-59. (In Russ.)
12. R 2.1.10.1920-04 «Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu». *Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals*. (2004). (In Russ.) [Electronic source]. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/246220/.
13. *Instruktsiya 2.1.4.10-11-2-2005. Otsenka riska zdorov'yu naseleniya ot vozdeystviya khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh pit'yevuyu vodu*. (2005). (In Russ.) [Electronic source]. URL: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic30/text794/index3.htm>.
14. Galimova, A.R., Tunakova, YU.A. (2014). Otsenka riska potrebleniya vodoprovodnoy pit'yevoy vody po zonam v g.Kazani ustanovlennogo kationnogo sostava. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*, 347-351. (In Russ.)
15. Bashynska, I.L. (2018). Ekolohichna otsinka efektyvnosti ochyshchennia pytnoi vody na vodoprovodnykh sporudakh komunalnoho pidpriemstva «Zhytomyrvodokanal» [Environmental estimation of efficiency of drinking water purification on plumbing of UC «Zhytomyrvodokanal»]. *Naukovi horyzonty [Scientific horizons]*, 7-8(70), 50-58. (In Ukr.)

16. Polishchuk, A.A., Gol'tsov, V.I. (2015). O problemakh KHOS pri obezzarazhivanii vody khlorosoderzhashchimi agentami [About the problems of HOS in disinfecting water with chlorine-containing agents]. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia [Water supply and drainage]*, 6, 8–13. (In Russ.)
17. Slipchenko, V.O., Slipchenko, O.O. (2009). Suchasni metody vydalennia z vody orhanichnykh rehovyn ta rozrobka tekhnolohii doochyshchennia vodoprovodnoi vody do vymoh DerzhSanPiNu «Voda pytna» [Modern methods of removal of organic substances from water and development of the technology of water purification to the requirements of DSanPiN «Drinking water»]. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia [Water supply and drainage]*, 3, 31–37. (In Ukr.)

Autors

Romanchuk Lyudmila Donatovna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice Rector for Research and Innovative Development, Zhytomyr National Agroecological University (Ukraine, Zhitomir, Old Boulevard, 7; e-mail: ludmilaromanchuk14@gmail.com)

Bashinskaya Irina Leonidovna — Postgraduate, Zhytomyr National Agroecological University (Ukraine, Zhitomir, Old Boulevard, 7; e-mail: bashinskaya77@ukr.net).

УДК 631.51 : 634.467

ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ АГРОТЕХНОЛОГІЙ НА СПРЯМОВАНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ АЗОТНИХ СПОЛУК У ЧОРНОЗЕМІ ТИПОВОМУ

Л.В. Центило

кандидат сільськогосподарських наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

(Україна, м. Київ; e-mail: agrokolos@i.ua)

Досліджено чорноземи типові малогумусні, органічні і мінеральні добрива, способи обробітку ґрунту. Застосовано методи: польовий, лабораторний, статистичний. Встановлено зміни чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп, напряму інтенсивності мінералізаційних процесів чорнозему типового за різного обробітку і удобрення ґрунту. Проаналізовано актуальність і важливість дослідження мікробного ценозу ґрунту з метою оцінки ефективності застосування систем основного обробітку і удобрення. Вивчено стан мікробоценозу ґрунту на основі показників чисельності мікроорганізмів, відповідальних за трансформацію азотних сполук та їх співвідношень у чорноземі. Встановлено спрямованість мікробіологічних процесів чорнозему типового глибокого за умов антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище і різних технологій обробітку ґрунту та удобрення. Встановлено, що застосування компосту разом із мінеральними добривами збільшує загальну чисельність мікробного різноманіття ґрунту і створює умови для посилення мобілізаційних процесів порівняно із варіантами, де добрив не вносили. Ця закономірність добре прослідковується на прикладі варіантів, де застосовується полицевий обробіток ґрунту під просапні культури сівозміни.

Ключові слова: чорнозем типовий, мікробоценоз ґрунту, удобрення, обробіток ґрунту, коефіцієнт мінералізації-імобілізації.

Постановка проблеми. Сільське господарство — одна з життєво необхідних галузей народного господарства, що забезпечує населення продуктами харчування. Ґрунт відіграє особливу роль у природі, адже є головним засобом виробництва у сільському господарстві і виконує санітарну функцію у біосфері [4]. У системі «ґрунт – мікроорганізми – рослини» ґрунтова мікрофлора є невід’ємною складовою. Мікроорганізми забезпечують перетворення складних сполук у низькомолекулярні роз-

чинні та газоподібні форми. Завдяки діяльності мікрофлори відбувається мінералізація органічних залишків і безперервне надходження в атмосферу діоксиду вуглецю, що обумовлює фотосинтез рослин. Отже, саме мікроорганізми ґрунту виконують головну функцію у формуванні родючості ґрунту [3].

Мікроорганізми є також і зручним об’єктом спостережень. Вони тісно контактують із середовищем існування, характеризуються високою швидкістю росту і розмноження, що