



Д. О. Крисінська, Л. П. Клименко

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Розглянуто актуальне практичне завдання – оцінювання підходів до визначення рівня екологічної безпеки питного водопостачання з використанням ризик-орієнтованих методів. Проаналізовано різні українські та міжнародні методичні підходи до оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. Використано теоретичні методи системного підходу і порівняльного аналізу під час вивчення взаємозв'язків у системі питного водопостачання та аналізу методик оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання та екологічного ризику. Як основний метод дослідження, під час обчислення значень ризиків для здоров'я населення, використано методи математичного моделювання та прогнозування з реалізацією моделей на ЕОМ (пакели Microsoft Office Excel 2013, Curve Expert). Встановлено, що найефективнішим є використання методики розрахунку екологічного ризику, який є головним інструментом оцінювання екологічної безпеки. Здійснено оцінювання екологічного ризику питної міської водопровідної води. Встановлено, що частина показників концентрації речовин у питній воді була в межах гранично допустимої концентрації, проте виходила за межі безпечного внаслідок розрахунку екологічного ризику. З'ясовано, що наявна система аналізу і контролю нормованих показників якості питної води, заснована на диференційованому визначенні їх концентрації та зіставленні з нормованими значеннями, не завжди є ефективною, оскільки не враховує негативні ефекти для організму людини внаслідок проявів наслідків небезпеки (захворюваність, інвалідність, смертність тощо). Головним перспективним завданням для подальших наукових досліджень є створення методології оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. Удосконалена методологія враховуватиме як відомі підходи з використанням гранично допустимих концентрацій, так і значення розрахованих ризиків для встановлення впливу на здоров'я людини.

Ключові слова: екологічний ризик; методики; гранично допустима концентрація; питна вода.

Вступ

Деградація якості водного середовища та виснаження водних ресурсів є одними з найнагальніших проблем сьогодення, оскільки це стосується кожного окремого індивідууму та й усього суспільства загалом. Роль водних екосистем у соціально-економічному розвитку важко переоцінити. Завдяки своїм унікальним властивостям, вода значно більше, ніж інші природні ресурси, впливає на розвиток та формування людської цивілізації. Вона має ключове значення у формуванні і підтримці життя на Землі, це основна біологічна речовина, з якої складаються живі організми і без якої вони не можуть існувати.

За даними доповіді The United Nations World Water Development Report Організації Об'єднаних націй щодо стану водних ресурсів, у 2019 р. у світі троє людей з десяти позбавлені доступу до якісної питної води [9]. В Огляді стану довкілля та ризиків для людей, здійсненому Всесвітнім фондом дикої природи у 2020 р., до п'яти

найважливіших глобальних ризиків на наступні десять років віднесено водну кризу [8].

В останніх звітах і документах Всесвітнього Банку [1] зазначено, що чиста вода належить до ключових чинників економічного розвитку, а погіршення її якості уповільнює економічне зростання, благополуччя населення, негативно впливає на здоров'я людини та призводить до зростання бідності.

Питання екологічної безпеки питного водопостачання є стратегічною метою для України, що зазначено у Законі "Про національну безпеку України". Незважаючи на це, Україна належить до числа таких, що мають обмежені питні ресурси через підвищений рівень забруднення поверхневих і підземних джерел водопостачання. Особливо актуальною ця проблема є в містах південних областей України, більшість яких використовують для забезпечення господарсько-питних потреб населення воду з поверхневих водних джерел. Для знезараження у процесі водопідготовки на більшості українських підприємств використовують хлоровмісні ре-

Інформація про авторів:

Крисінська Діана Олександрівна, викладач, кафедра екології. **Email:** silfida13@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3117-6039>

Клименко Леонід Павлович, д-р техн. наук, професор, ректор. **Email:** rector@chmnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-3458-9453>

Цитування за ДСТУ: Крисінська Д. О., Клименко Л. П. Експериментальні дослідження якості питної води та оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. Науковий вісник НЛТУ України. 2021, т. 31, № 1. С. 147–151.

Citation APA: Krysinska, D. O., & Klymenko, L. P. (2021). Experimental research of drinking water quality and assessment of environmental safety of drinking water supply. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), 147–151. <https://doi.org/10.36930/40310124>

агенти, що можуть спричинити канцерогенні, неканцерогенні ефекти у людини.

Дослідження взаємозв'язку між появою канцерогенних, неканцерогенних проявів у населення внаслідок споживання питної води, оцінювання екологічних ризиків та їх наслідків, враховуючи рівень людських потреб, що постійно зростають, є своєчасним і доцільним. З кожним роком ситуація з водопостачанням у містах загострюється, оскільки методи очищення води, системи водопроводів морально і фізично зношені, тому вивчення екологічної безпеки питного водопостачання та пошук шляхів поліпшення якості питної води є актуальними і життєво необхідними.

Об'єкт дослідження – екологічна безпека питного водопостачання.

Предмет дослідження – оцінювання рівня екологічної безпеки системи питного водопостачання із застосуванням ризик-орієнтованих методів.

Мета роботи – провести експериментальні дослідження якості питної води та здійснити оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання та екологічного ризику з використанням ризик-орієнтованих методів.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: провести аналіз останніх досліджень та публікацій; проаналізувати сучасні підходи до оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання; довести ефективність використання підходів щодо оцінювання питної води з використанням екологічного потенційного ризику; здійснити оцінювання екологічного ризику питної міської водопровідної води в місті Миколаєві.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше здійснено оцінювання екологічного ризику питної міської водопровідної води, у якій частина показників концентрації речовин була в межах гранично допустимої, проте виходила за межі безпечного внаслідок розрахунку екологічного ризику.

Практична значущість результатів дослідження – наявна система аналізу і контролю нормованих показників якості питної води, яка заснована на диференційованому визначенні їх концентрації та зіставленні з нормованими значеннями, не завжди є ефективною, оскільки не враховує негативні ефекти для організму людини внаслідок проявів наслідків небезпеки (захворваність, інвалідність, смертність тощо).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання підвищення рівня екологічної безпеки питної води та систем питного водопостачання досліджують такі українські вчені: С. Л. Василенко, Н. Г. Насонкіна, О. А. Ткачук, М. М. Гіроль, В. В. Гончарук, Ф. В. Стольберг, А. В. Яцик та ін.

В Україні та за її межами здійснюють роботи, що спрямовані переважно на підвищення надійності та ефективності функціонування систем водопостачання. Цьому передували дослідження таких дослідників і вчених, як: П. І. Гвоздяка, Л. І. Глоби, О. М. Грабовського, С. С. Душкіна, О. Г. Євдокимова, Л. А. Кульського, П. Д. Хоружего та ін.

Насонкіна Н. Г. [4] пропонує оцінювати екологічну безпеку систем питного водопостачання, використовуючи методику комплексного оцінювання стану джерела водопостачання, що включає послідовне визначення параметрів: оцінювання лімітуючих показників, їх взаємо-

зв'язок, вірогідність появи і тривалість несприятливих подій та ін..

Стольберг Ф. В. [7] вважає доцільним використання біологічних методів очищення стічних вод. Учений схиляється до думок про те, що для підвищення екологічної безпеки питної води, питного водопостачання необхідно запобігати забрудненню водних об'єктів, що є джерелами водопостачання. Душкін С. С. [3] пропонує зосередити увагу на очищенні стічних вод методами магнітних полів, адже проблема відсутності якісної питної води виникає через скиди неочищених стоків у водне середовище.

Василенко С. Л. [10] зосереджує увагу на управлінні екологічною безпекою питного водопостачання способом контролю техногенного навантаження на комунальні водогосподарські підприємства з використанням картографічного моделювання забруднення поверхневих джерел. У нашому дослідженні оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання виконуватимемо через розрахунки екологічного ризику, як основного інструмента оцінювання екологічної безпеки, враховуючи наявність моніторингових даних та існування достатньої методологічної бази.

Матеріали та методи дослідження. Вивчення стану екологічної безпеки екосистем, методів її оцінювання є актуальним питанням, що спричинено динамічністю природних систем. Проте, незважаючи на складність процедури оцінювання стану екологічних систем чи навколишнього середовища загалом, основними методами оцінювання залишаються як загальнонаукові: емпіричні (експеримент, спостереження та ін.) та теоретичні (аналіз-синтез, індукція-дедукція, абстрагування та ін.), так і системний метод, як один з найважливіших методів наукових досліджень в екології.

Залежно від об'єкта, оцінювання впливу на який вивчають, сучасні методи оцінювання безпеки екологічних систем можна поділити на антропоцентричний, біоцентричний та комплексний. Перший полягає у визначенні безпечності певного впливу на організм людини та кількісному встановленні ступеня впливу через оцінку ризиків проявів захворюваності чи смертності. Це так званий "гігієнічний" підхід, який передбачає регламентацію, спрямовану на захист здоров'я людини, як об'єкта піклування в соціоекосистемах. Метод ґрунтується на зіставленні показників впливу з нормативами ГДК та визначенні потенційних ризиків. Приклади застосування антропоцентричного методу оцінювання описано в наукових статтях Н. В. Карасової, О. В. Лотоцької, В. О. Прокопова, В. Г. Петрука, Л. Д. Романчука, І. О. Роя та ін., а також у методиках українського та зарубіжного законодавства.

Основним методом нашого дослідження, для обчислення значень екологічних ризиків, використано методи математичного моделювання та прогнозування з реалізацією моделей на ЕОМ (пакели Microsoft Office Excel 2013, Curve Expert). Встановлено, що найефективнішим є використання методики розрахунку екологічного потенційного ризику, який є головним інструментом оцінювання екологічної безпеки.

Результати дослідження та їх обговорення

Розвиток системних методів аналізу стану екологічних систем на сучасному етапі є актуальним завданням. Методи оцінювання ризику виходять на перше місце,

завдяки тому, що сучасне законодавство щодо техногенної та екологічної безпеки визначає необхідність аналізу ризиків. Сьогодні в різних країнах світу загальноприйняті методи оцінювання ризику застосовують у багатьох сферах моніторингу навколишнього середовища: екологічному, соціально-гігієнічному, кризовому моніторингу і т. ін. У цьому аспекті методологію оцінювання ризику можна розглядати як один з основних, системотвірних елементів моніторингу довкілля.

Загальноприйнятою шкалою оцінювання екологічного ризику є така, що базується на вимірюванні прояву ризику від тієї чи іншої діяльності, де під терміном "ризик" визначаються кількісні показники, такі як: величина збитку від подій, явищ (це різні економічні збитки, кількість захворювань, травм, смертей тощо) та ймовірність виникнення цих подій або явищ.

У роботі [3] під екологічним ризиком розуміють ймовірність несприятливих для навколишнього середовища наслідків, будь-яких змін природних об'єктів і факторів. Ризик розглядають як ймовірність виникнення надзвичайних подій у певний проміжок часу, виражена кількісними параметрами. Частіше розглядають техногенний аспект екологічного ризику – ймовірність виникнення техногенних аварій, що здатні завдати істотної шкоди навколишньому середовищу або здоров'ю людей. Одні ризики конкретні, інші не можуть бути конкретно визначені.

У теоретичній частині нашого дослідження екологічний ризик розглядатимемо у двох аспектах: потенційному та реальному. Проте під час формування комплексного методу оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання, надамо перевагу потенційному екологічному ризику.

У роботі [3, 6] автор пояснює зміст понять потенційного та реального екологічного ризику так. Потенційний екологічний ризик – це явище небезпеки порушення стосунків живих організмів з навколишнім середовищем внаслідок дії природних чи антропогенних чинників. Реальний екологічний ризик утворюється потенційним з урахуванням ймовірної частоти його реалізації. За характером прояву екологічний ризик може бути раптовим (техногенна аварія, землетрус тощо) і повільним (зсув, підтоплення, ерозія тощо).

У табл. 1 наведено комплексну класифікацію екологічних ризиків, запропоновану в роботі [3].

У джерелі [5] автори визначають, що традиційно в англійській літературі здійснюється розподіл понять ризиків погіршення здоров'я людини (human health risk) і ризиків порушення стану природного навколишнього середовища (environmental risk). У російсько- та україномовній літературі ці поняття об'єднуються за загальною назвою "екологічний ризик", оскільки, зазвичай, стан природного навколишнього середовища цікавить нас у плані його впливу на здоров'я та благополуччя людини.

Про те, що розподіл ризиків на "людський" і "природний" доволі умовний говорить те, що експерти Американського агентства з охорони навколишнього природного середовища (USEPA) відзначали, що на кінець ХХ ст. основними ризиками загрози стану природного навколишнього середовища були:

- глобальна зміна клімату;
- збіднення озонового шару в стратосфері;
- зміна складових середовища проживання;
- загибель популяцій і втрата біологічної різноманітності.

У табл. 2 наведено характеристики видів ризику, які сформовано з використанням праць [3, 5].

Табл. 1. Класифікація екологічних ризиків

Назва ризику	Об'єкт ризику	Особливості ризику
Індивідуальний	Живий організм	Ризик захворюваності чи смертності людини, тварини, рослини
Груповий	Сукупність живих організмів	Ризик захворювання чи смерті сукупності живих організмів – популяції тварин чи рослин, людського соціуму (територіального, професійного, родинного тощо)
Екосистемний	Екологічна система	Ризик часткової чи повної втрати функціональності екологічної системи
Природний абіотичний	Природна складова	Ризик часткової чи повної втрати цілісності чи функціональності будь-якої природної складової екосистеми, крім організму та популяції
Господарський	Штучна абіотична складова система	Ризик часткової чи повної втрати функціональності підприємства, споруди, механізму, транспортного засобу тощо

Табл. 2. Характеристики видів ризику

Вид ризику	Об'єкт ризику	Джерело ризику	Наслідки
Ризик для здоров'я людини	Людина	Умови життєдіяльності людини	Хвороба, травма, інвалідність, смерть
Техногенний	Технічні системи	Технічна недосконалість, порушення правил експлуатації	Аварія, катастрофа
Ризик порушення стану НПС	Екологічні системи	Антропогенне втручання у довкілля, техногенні надзвичайні ситуації	Антропогенні екологічні катастрофи, стихійні лиха
Соціальний	Соціальні групи	Надзвичайна ситуація, погіршення якості життя	Групові травми, захворювання, збільшення смертності
Економічний	Матеріальні ресурси	Підвищена небезпека виробництва або довкілля	Збільшення затрат на безпеку, збитки від недостатньої захищеності

Для оцінювання потенційного ризику для здоров'я людини, пов'язаного із забрудненням питної води, використовуємо модель оцінювання потенційного ризику [6]:

$$R = 1 - \exp(\ln(0,84)/MAC \cdot C_s) \cdot C_r,$$

де: R – ймовірність розвитку токсичних ефектів; C_s – концентрація речовини у питній воді, мг/дм³; MAC – гранично допустима концентрація, мг/дм³; C_r – коефіцієнт запасу (для всіх речовин – 10, для свинцю – 3, для канцерогенних речовин – 100).

Межі потенційного ризику у запропонованій методиці визначають так:

- 0-0,02 – прийнятний;
- 0,02-0,16 – задовільний;
- 0,16-0,50 – незадовільний;
- 0,50-0,84 – небезпечний;
- 0,84-1,0 – надзвичайно небезпечний.

Проте межі у цій методиці перекриваються, тому їх потрібно поділити на такі діапазони:

- 0-0,02 – прийнятний;
- 0,021-0,16 – задовільний;
- 0,161-0,50 – незадовільний;
- 0,51-0,84 – небезпечний;
- 0,85-1 – надзвичайно небезпечний.

Використовуючи дані Журналу обліку результатів дослідження питної води централізованого водопостачання Миколаївської СЕС за 2003-2013 рр. та дані лабораторії МКП Миколаївводоканал на станції РЧВ № III за 2013-2018 рр. побудовано графіки динаміки середньорічної концентрації за показниками, значення яких періодично або постійно перевищують гранично допустимі концентрації (рис. 1-4).



Рис. 1. Динаміка середньорічної концентрації ПО, мг/дм³

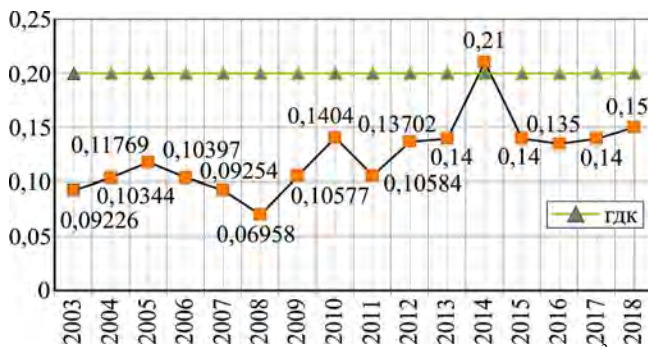


Рис. 2. Динаміка середньорічної концентрації заліза, мг/дм³

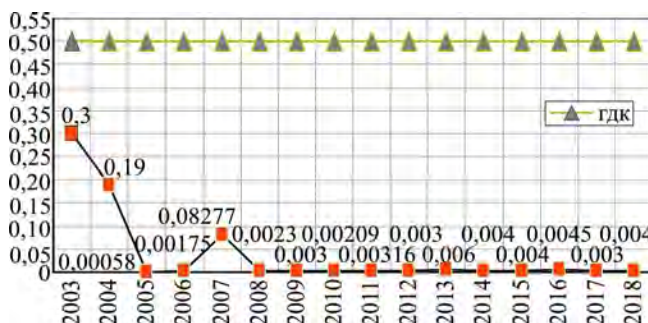


Рис. 3. Динаміка середньорічної концентрації нітритів, мг/дм³

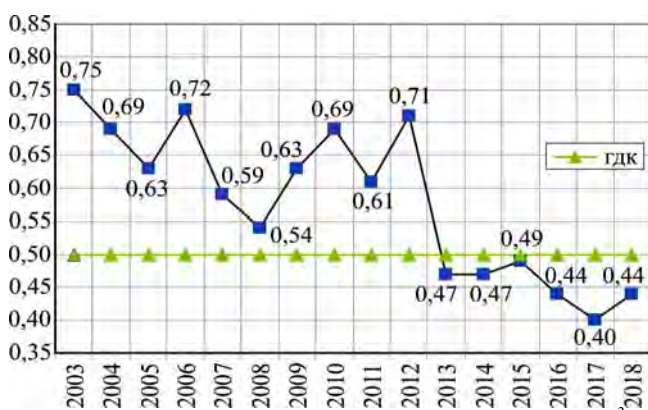


Рис. 4. Динаміка середньорічного залишкового хлору, мг/дм³

Використовуючи методику розрахунку екологічних ризиків [6] встановлено значення потенційного ризику для жителів м. Миколаєва, результати якого наведено в табл. 3.

Табл. 3. Значення потенційного ризику водопровідної води

Рік	Потенційний ризик, доля одиниці			
	ПО	Залишковий хлор	Залізо	Нітрити
2003	0,936	1,0	0,552	0,649
2004	0,924	1,0	0,594	0,484
2005	0,927	1,0	0,641	0,002
2006	0,936	1,0	0,596	0,006
2007	0,959	1,0	0,554	0,251
2008	0,922	1,0	0,455	0,008
2009	0,936	1,0	0,602	0,012
2010	0,953	1,0	0,706	0,007
2011	0,938	1,0	0,602	0,011
2012	0,957	1,0	0,697	0,011
2013	0,932	1,0	0,705	0,022
2014	0,947	1,0	0,839	0,014
2015	0,914	1,0	0,705	0,014
2016	0,912	1,0	0,692	0,016
2017	0,897	1,0	0,705	0,011
2018	0,941	1,0	0,729	0,014

Проаналізувавши отримані дані встановлено, що потенційний ризик для здоров'я населення міста Миколаєва знаходиться в межах небезпечного і надзвичайно небезпечного (за весь період дослідження для ПО, залишкового хлору, заліза; періодично – нітритів). Візуалізацію результатів розрахунків потенційного ризику зображено на рис. 5-8.



Рис. 5. Графік встановлених ризиків (за концентрацією ПО)



Рис. 6. Графік встановлених ризиків (за концентрацією заліза)



Рис. 7. Графік встановлених ризиків (за концентрацією нітритів)



Рис. 8. Графік встановлених ризиків (за концентрацією залишкового хлору)

Висновки

Отже, проаналізувавши сучасні підходи до оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання, доведено ефективність використання підходів оцінювання з використанням екологічного потенційного ризику, як головного інструменту оцінювання. Здійснено оцінювання екологічного ризику питної міської водопровідної води в місті Миколаєві. Виявлено, що незважаючи на те, що частина показників концентрації речовин у питній воді була в межах гранично допустимих концентрацій, проте виходила за межі безпечного стану внаслідок розрахунку екологічного ризику.

Це свідчить про те, що система нормування показників якості питної води, заснована на диференційованому визначенні їх концентрації та зіставленні з нормованими значеннями, не завжди є ефективною, оскільки не враховує негативні ефекти для організму людини внаслідок проявів наслідків небезпеки (захворюваність, інвалідність, смертність тощо).

References

1. Damania, R., et al. (2019). Quality unknown. *The invisible water crisis*. Washington (DC): World Bank Group. Retrieved from:

https://www.researchgate.net/publication/335959160_Quality_Unknown_The_Invisible_Water_Crisis. [In English].

2. Dobrovolskyi, V. V. (2010). *Ekolohichniy ryzyk: otsiniuvannia i upravlinnia: navchalnyi posibnyk*. Mykolaiv: Vydavnytstvo MDHU im. Petra Mohyly, 216 p. [In Ukrainian].

3. Dushkin, S. S., & Tihonyuk-Sidorchuk, V. O. (2004). Problemy ustoychivogo razvitiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya g. Kharkova. *Kommunalnoe hozyaystvo gorodov: nauch.-tehn. sb.*, vol. 57, (pp. 254–257). Kyiv. Retrieved from: <http://eprints.kname.edu.ua/3809/>. [In Russian].

4. Nasonkina, N. H. (2006) *Pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky system pytnoho vodopostachannia. Doctoral Dissertation for Technical Sciences* (21.06.01 – Ecological safety). Retrieved from: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/348690.html>

5. Orel, S. M., Malovanyi, M. S., & Orel, D. S. (2013). *Otsiniuvannia ekolohichnoho ryzyku. Vplyv na zdorovia liudyny: navch. posib.* Lviv Vyd-vo nats. un-tu "Lvivska politekhnika", 224 p. [In Ukrainian].

6. Rekomendatsii. (1997). Kompleksnaya gigienicheskaya otsenka stepeni napryazhennosti mediko-ekologicheskoy situatsii razlichnykh territoriy, obuslovennoy zagryazneniem toksikantami sredi obitaniya naseleniya: metodicheskie rekomendatsii ot 30.05.1997 g. RF no. 2510/5716-97-32. Retrieved from: http://www.lawrussia.ru/texts/legal_744/doc744a498x422.html. [In Russian].

7. Stolberh, F. V., & Vystavna, Yu. Yu. (2007). Ekoloho-ekonomichni osnovy vodokorystuvannia na urbanizovanykh terytoriakh. *Visnyk SumDU. Seriya: Ekonomika*, 2, 81–90. [In Ukrainian].

8. Ukraina. (2020). Ohliad stanu dokillia ta ryzykiv dlia liudei i biznesu. *WWF–World Wide Fund For Nature*. Retrieved from: https://wwf.ua/materials/special/ukraine_2020/. [In Ukrainian].

9. UNESCO. (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019 : leaving no one behind*. Retrieved from: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019>. [In English].

10. Vasylenko, S. L. (2007). *Ekolohichna bezpeka system vodopostachannia mist: metodolohiia vyvchennia ta upravlinnia. Doctoral Dissertation for Technical Sciences* (21.06.01 – Ecological safety). Retrieved from: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/349242.html>. [In Ukrainian].

D. O. Krysinaka, L. P. Klymenko

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolayiv, Ukraine

EXPERIMENTAL RESEARCH OF DRINKING WATER QUALITY AND ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER SUPPLY

The article describes an urgent practical task – the assessment of approaches to determining the level of environmental safety of drinking water supply using risk-oriented methods. Various Ukrainian and international methodological approaches to assessing the environmental safety of drinking water supply are analysed. Theoretical methods of the system approach and the comparative analysis at studying of interrelations in the system of drinking water supply and the analysis of methods of estimation of ecological safety of drinking water supply and ecological risk are used. The main method of research, when calculating the values of risks to public health, used methods of mathematical modelling and forecasting with the implementation of models on a computer (Microsoft Office Excel 2013, Curve Expert). It is established that the most effective is the use of methods of calculating environmental risk, which is the main tool for assessing environmental safety. An assessment of the ecological risk of drinking urban tap water was carried out. It was found that part of the indicators of the concentration of substances in drinking water was within the maximum permissible concentration but went beyond the safe because of the calculation of ecological risk. It was found that the existing system of analysis and control of normalized indicators of drinking water quality, based on the differentiated determination of their concentration and comparison with normalized values, is not always effective because it does not consider the negative effects on the human body due to danger (morbidity, disability, mortality, etc.). The main promising task for further research is to create a methodology for assessing the environmental safety of drinking water supply. The improved methodology will take into account both known approaches using the maximum allowable concentrations and the value of the calculated risks to determine the impact on human health.

Keywords: ecological risk; methods; maximum allowable concentration; drinking water.