

16. Олійник О.Я., Зябликов С.В. Особенности моделирования очистки сточных вод в системе аэротенк-відстійник-регенератор // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 4. – С. 46-53.
17. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Теорія і розрахунки біологічної очистки стічних вод в аэротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим на додаткових пристроях біоценозом // Прикладна гідромеханіка. – 2015. – Т.17(89), №3. – С.35–43.
18. Айрапетян Т.С. Теоретические исследования работы аэротенков со взвешенным и прикрепленным биоценозом // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – Т.88, №2 – С. 223–235.
19. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
20. Henze M., Van Loosdrecht M., Ekama V., Bzdjanovic D. Biological Wastewater Treatment // Iwe Publishing, London., 2008 – 511 p.

**Айрапетян Т.С. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ В АЕРОТЕНКАХ-ВИТИСКУВАЧАХ З ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ.** Розроблено дворівневу математичну модель біологічного очищення в аэротенках-витискувачах з закріпленим біоценозом. Математична модель базується на рівнянні переносу по довжині аэротенку концентрації органічних забруднень і концентрації активного мулу, а також рівнянні переносу органічних забруднень по товщині біоплівки.

Швидкість окиснення органічних забруднень зваженим і закріпленим біоценозом описується рівнянням Моно. Представлені результати теоретичних досліджень, в яких вивчено вплив розташування та розподілу елементів з закріпленим біоценозом на ефективність очищення. Обґрунтована ефективність варіанту, в якому закріплений біоценоз зосереджений у другій частині споруди.

**Ключові слова:** стічні води, аэротенки-витискувачі, активний мул, закріплений біоценоз, органічні забруднення, математична модель.

**Airapetian T.S. THEORETICAL STUDIES OF BIOLOGICAL PURIFICATION IN AEROTANKS-DISPLACERS AND WITH FIXED BIOCECENOSIS.** A two-level mathematical model of biological purification in aerotanks-displacers with fixed biocenosis was developed. The mathematical model is based on the equations of transport along the length of the aerotank of the concentration organic pollution and the concentration of activated sludge, and the equation of transport of organic pollution over the thickness of the biofilm. The rate of oxidation of organic pollution by a suspended and fixed biocenosis is described by the Mono equation. The results of theoretical studies of the influence of the location and distribution of elements with an fixed biocenosis on the purification efficiency are presented. The effectiveness of the variant in which the fixed biocenosis is concentrated in the second part of the construction is justified.

**Keywords:** wastewater, aerotank-displacer, active sludge, fixed biocenosis, organic pollution, mathematical model.

УДК 502.5.+614.7:556.531

**Бригада О.В., Рибалова О.В., Росколотько А.В.**

*Національний університет цивільного захисту України*

*(вул. Чернишевська, 94, Харків, 61000, Україна; e-mail: feb.nuczu@mns.gov.ua)*

## **ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПРИ ВЖИВАННІ ПИТНОЇ ВОДИ З ДЖЕРЕЛ м. ХАРКОВА**

В статті запропоновано удосконалення методики оцінки ризику для здоров'я населення при вживанні питної води шляхом доповнення значень рівня небезпеки для деяких забруднюючих речовин. Аналіз якісного стану питної води джерел міста Харків на основі оцінки ризику для здоров'я населення показав ймовірність збільшення захворюваності.

**Ключові слова:** ризик для здоров'я населення, питна вода, джерела, місто Харків.

**Вступ.** Проблема забезпечення населення України якісною питною водою з кожним роком ускладнюється і стає більш гострою. Вживання неякісної питної води є важливим чинником шкідливого впливу на здоров'я людей, причиною виникнення небезпечних інфекційних захворювань та збільшення загальної захворюваності населення.

Цим фактом обумовлена необхідність розробки інструментарію для виміру рівня небезпеки при вживанні питної води з джерел з метою впровадження заходів щодо його зменшення.

Визначення якісного стану джерел питної води в місті Харків на основі удосконаленої методики оцінки ризику для здоров'я населення є дуже актуальною задачею.

**Аналіз публікацій.** Питанню визначення рівня небезпеки використання питної води та його впливу на здоров'я населення присвячено чимало досліджень в усіх країнах світу [1-6].

Автори роботи [1] провели дослідження чинників небезпеки і просторові варіації вмісту важких металів у джерелах питної води провінції Хузистан на півдні Ірану. Оцінка індексу небезпеки (НІ) показала загрозу здоров'ю місцевих споживачів питної води у довгостроковій перспективі.

Вплив вмісту важких металів річки Тайпу у Китаї, яка використовується для питного водопостачання, на здоров'я населення досліджено в роботі [2]. Аналіз якісного стану річки за три сезони (сухий сезон, на початку сезону дощів, і наприкінці сезону дощів) показав низький і середній рівень ризиків, пов'язаних із вмістом важких металів. Метали, які накопичуються в навколишньому середовищі, є основними можливими джерелами небезпеки в сухий сезон, а викиди від промислових підприємств були основними джерелами небезпеки в сезон дощів.

Дослідження [3] доказали вплив вмісту фтору в питній воді на розвиток синдрому Дауна. Визначено небезпечний рівень вмісту фтору в питній воді.

Автори роботи [4] проаналізували рівень небезпеки нітратів у питній воді і доказали необхідність зміни стандартів для питної води й підземних водних ресурсів з урахуванням потенційних наслідків для здоров'я людини й з урахуванням можливої економії за рахунок зниження витрат для видалення нітратів і запобігання нітратного забруднення.

Дослідження [5] спрямоване на вивчення факторів, пов'язаних з забрудненням в Гані кишковою паличкою, опирається на національно репрезентативне опитування домогосподарств. В 2012-2013 рр. було проведено оцінку якості життя, а також якості води на основі обстеження 3096 ділянок споживання води за вмістом *E. coli*. Зв'язок між здоров'ям населенням і забрудненням питної води досліджували за допомогою поліноміальної регресії. Аналіз результатів дослідження показує необхідність використання фасованої питної води з метою забезпечення захисту здоров'я населення від споживання питної води, що містить кишкову паличку.

Аналіз причин виникнення спалахів захворювань, пов'язаних із забрудненням питної води в Сполучених Штатах, допомогли в зусиллях щодо запобігання виникнення інфекційних хвороб на національному, державному й місцевому рівнях. У статті [6] описується зміна характеру спалахів хвороб у суспільних системах водопостачання в 1971-2008 рр. і обговорюється важливість удосконалення системи моніторингу з метою створення ефективної дослідницької програми й галузевих заходів щодо поліпшення якості питної води. Останні статистичні дані спостереження свідчать, що зусилля з профілактики на основі цих досліджень виявилися ефективними в зниженні ризику спалаху, особливо для поверхневих водних систем.

Проблемі оцінювання якості питної води присвячено чимало досліджень українських вчених [7-9].

Необхідно відзначити, що в багатьох країнах світу з метою визначення рівня екологічної небезпеки застосовують методи оцінки ризику для здоров'я населення [10-12]. Але в нашій країні існує лише одна

офіційно затверджена методика обчислювання величини ризику для здоров'я населення при забрудненні атмосферного повітря [13]. В Росії використовують методику оцінки ризику для здоров'я населення при забрудненні атмосферного повітря, поверхневих вод, ґрунтів, питної води і харчових продуктів [14], яка заснована на концепції ризику для здоров'я населення Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA USA). Адаптація американського наукового підходу до визначення ризику для здоров'я населення є дуже актуальною задачею. В роботах [15-17] удосконалено методику оцінки ризику для здоров'я населення при рекреаційному водокористуванні, а в даній статті вперше адаптовано методику оцінювання ризику для здоров'я населення при вживанні питної води, що представляє наукову новизну роботи.

**Мета та постановка задачі.** Метою роботи є ідентифікація найбільш забруднених джерел питної води в місті Харків на основі оцінки ризику для здоров'я населення для прийняття управлінських рішень щодо пріоритетності впровадження необхідного комплексу природоохоронних заходів.

**Матеріали та методи досліджень.** Метод оцінки ризику для здоров'я населення передбачає окремо визначення канцерогенного ризику та індексу безпеки.

Оцінювання канцерогенного ризику здійснюється поетапно:

- узагальнення й аналіз усієї наявної інформації про шкідливі фактори, особливості їх дії на організм людини, рівнях експозиції.

- розрахунки індивідуального канцерогенного ризику для кожної речовини, що надходить в організм людини аналізованими шляхами;

- розрахунки індивідуального канцерогенного ризику для кожного канцерогенного компонента досліджуваної суміші хімічних речовин, а також сумарного канцерогенного ризику для всієї суміші.

- розрахунки сумарних канцерогенних ризиків для кожного з аналізованих шляхів потрапляння, а також загального сумарного канцерогенного ризику для всіх

речовин і всіх аналізованих шляхів їх потрапляння в організм.

Для оцінки канцерогенного ризику для кожної забруднюючої речовини розраховуються показники ризику [14-16]:

$$CR = SF \cdot LADI, \quad (1)$$

де CR – ймовірність занедужати раком, безвимірний (звичайно виражається в одиницях 1:1000000); SF – ймовірність одержання ракового захворювання у випадку прийому одиначної дози LADI, 1/мг/кг·доба.

Середньодобова доза потрапляння забруднюючих речовин з питною водою розраховується за формулою [14-16]:

$$LADI = \frac{C_w \times V \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}, \quad (2)$$

де  $C_w$  – концентрація речовини у питній воді, мг/л;  $V$  – величина водоспоживання, л/доб; для дорослих – 2 л/доб; для дітей – 1 л/доб;  $EF$  – частота впливу, діб/рік; 350 діб/рік;  $ED$  – тривалість впливу, років; для дорослих – 30 років; для дітей – 6 років;  $BW$  – маса тіла, мг/кг; для дорослих – 70 кг; для дітей – 15 кг;  $AT$  – період експозиції, роки; для дорослих – 30 років; для дітей – 6 років; канцерогенний ризик – 70 років.

При оцінці канцерогенного ризику доцільно орієнтуватися на класифікацію рівнів небезпеки, представлену в табл. 1 [14-16].

Оцінка ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин проводиться на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки за формулою:

$$HQ = \frac{LADDI}{RfD}, \quad (3)$$

де  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;  $RfD$  – референтна (безпечна) доза, мг/кг.

Американська система моніторингу якості поверхневих і підземних вод дуже відрізняється від української, тому для деяких забруднюючих речовин відсутня інформація щодо референтних доз.

Таким чином, американська методика оцінювання ризику для здоров'я населення при вживанні питної води потребує адаптації для застосування її при сучасній системі державного моніторингу навколишнього природного середовища.

Таблиця 1 - Класифікація рівнів ризику

Рівень ризику	Ризик протягом життя
Високий: не прийнятний для виробничих умов і населення. Необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику	$> 10^{-3}$
Середній: припустимий для виробничих умов; за впливу на все населення необхідний динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів для вирішення питання про заходи з управління ризиком	$10^{-3}-10^{-4}$
Низький: припустимий ризик (рівень, на якому, як правило, встановлюються гігієнічні нормативи для населення)	$10^{-4}-10^{-6}$
Мінімальний: бажана (цільова) величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів	$< 10^{-6}$

В роботах [16-18] запропоновано адаптувати американську методику оцінювання ризику для здоров'я населення при рекреаційному водокористуванні. В цій статті пропонуємо для забруднюючих речовин, для яких відсутня інформація щодо референтних доз, визначати індекс небезпеки за наступною формулою:

$$HQ = \frac{C_w}{ГДК}, \quad (4)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація для питних вод, мг/л.

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів при комбінованому й комплексному впливі хімічних сполук проводиться на основі розрахунку індексу небезпеки (HI).

Індекс небезпеки для умов одночасного надходження декількох речовин тим самим шляхом (наприклад, інгаляційним або пероральним) розраховується за формулою [14-16]:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (5)$$

де  $HQ_i$  - коефіцієнти небезпеки для окремих забруднюючих речовин.

В роботах [16, 19] запропонована класифікація рівнів небезпеки залежно від значення індексу небезпеки (табл. 2).

Таблиця 2 - Класифікація рівнів небезпеки

Рівень небезпеки	Коефіцієнт / індекс небезпеки (HQ/HI)	Характеристика ризику
Мінімальний	$\leq 0,1$	Ризик виникнення шкідливих ефектів відсутній
Низький	0,1-1	Ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим
Середній	1-5	Ризик розвитку шкідливих ефектів в особливо чутливих групах населення
Високий	5-10	Ризик розвитку несприятливих ефектів у більшій частини населення
Надзвичайно високий	$\geq 10$	Масові скарги, виникнення хронічних захворювань

Розрахунок індексів небезпеки проводять з урахуванням критичних органів та систем, які зазнають негативного впливу досліджуваних речовин. Для забруднюючих речовин, які не спостерігаються американською системою моніторингу, пропонуємо на основі аналізу літературних джерел визначати критичні органи і системи людини, на які має вплив вживання питної води (табл. 3).

В роботі [20] наведено інформацію щодо результатів лабораторних досліджень якості води популярних джерел м. Харків. На основі удосконаленої методики оцінки ризику для здоров'я населення визначено рівень небезпеки вживання питної води з джерел м. Харків. Оцінка канцерогенного ризику показала, що він є прийнятним (рис. 1).

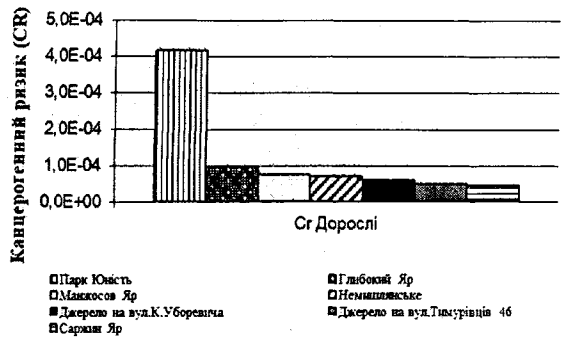
Ранжування джерел питної води в м. Харків за величиною індексу небезпеки для

дітей і дорослих показало, що в найгіршому стані є джерело, що знаходиться в парку Юність (рис. 2, табл. 4).

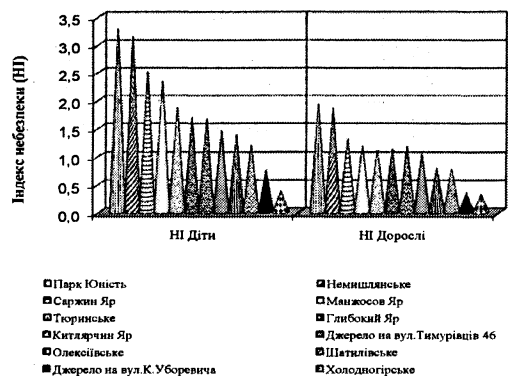
*Таблиця 3 - Ймовірнісний вплив вживання неякісної питної води (за окремими забруднюючими речовинами) на здоров'я людини*

Назва речовини	Органи та системи організму людини
Сухий залишок	ендокринна система
БСК <sub>5</sub>	ендокринна система, органи травлення
ХСК	ендокринна система, органи травлення
Хлориди	центральна нервова система, печінка, шлунок
Сульфати	кров, ендокринна система, косна система
Магній	ендокринна система, органи травлення
Кальцій	нирки
Азот амонійний	анемія, різні дерматити
Азот нітритний	кров
Азот нітратний	кров, серцево-судинна система
Фосфати	косна система
Залізо загальне	слизуваті, шкіра, імунітет
Мідь	шлунково-кишковий тракт, печінка
Марганець	центральна нервова система, кров
Цинк	кров, ендокринна система
Хром загальний	печінка, нирки, слизуваті, шлунково-кишковий тракт
Нафтопродукти	нирки
СПАР	органи дихання, шкіра

Відповідно до класифікації рівнів небезпеки (табл. 2) до джерел з незначним ризиком для здоров'я населення можна віднести лише 2: джерело на вул. К. Уборевича і Холодногірське джерело. Найбільший ризик збільшення захворюваності населення існує при вживанні питної води з джерела, що знаходиться в парку Юність.



*Рис. 1. Ранжування джерел питної води в м. Харків за величиною канцерогенного ризику*



*Рис. 2. Ранжування джерел питної води в місті Харків за величиною індексу небезпеки*

*Таблиця 4 - Ранжування джерел питної води в м. Харків за величиною індексу небезпеки*

Адреса чи найменування джерела	Індекс небезпеки (НІ) для дітей	Індекс небезпеки (НІ) для дорослих
Парк Юність	3,28	1,91
Немишлянське	3,15	1,85
Саржин Яр	2,50	1,30
Манжосов Яр	2,33	1,18
Тюринське	1,84	1,10
Глибокий Яр	1,69	1,12
Китлярчин Яр	1,65	1,17
Джерело на вул. Тимурівців 46	1,45	1,04
Олексіївське	1,38	0,78
Шатилівське	1,19	0,77
Джерело на вул. К.Уборевича	0,75	0,36
Холодногірське	0,38	0,32

Ймовірність збільшення захворюваності населення при вживанні питної води з джерела, що знаходиться в парку Юність, представлено на рис. 3.

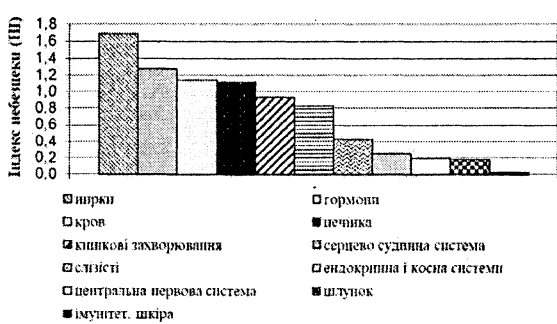


Рис. 3. Ймовірність збільшення захворюваності населення при вживанні питної води з джерел парку Юність м. Харків

Розрахунок індексу небезпечки показав, що при вживанні питної води з джерела, що знаходиться в парку Юність, найбільше ймовірність виникнення хвороб нирок, крові та печінки.

Проведені дослідження свідчать про необхідність впровадження природоохоронних заходів щодо зменшення ризику для здоров'я населення при вживанні питної води з джерел м. Харкова.

**Висновки.** В роботі вперше представлено удосконалену методику оцінки ризику для здоров'я населення при вживанні питної води, яка дозволяє визначити рівень небезпечки і пріоритетність заходів з управління факторами ризику.

Визначення ризику для здоров'я від вживання забруднених питних вод дозволяє прогнозувати ймовірність збільшення захворюваності, а також встановлювати першочерговість впровадження необхідних природоохоронних заходів.

Оцінка ризику для здоров'я людини при вживанні питної води з популярних джерел міста Харків показала, що більшість з них потребують впровадження профілактичних заходів.

В статті вперше наведено кількісну характеристику залежностей шкідливих ефектів від рівнів впливу конкретних забруднюючих речовин, що дозволяє оцінити ймовірну загрозу здоров'ю населення, що представляє наукову новизну роботи.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Mohamad Sakizadeh, Rouhollah Mirzaei. (2016). Health Risk Assessment of Fe, Mn, Cu, Cr in Drinking Water in some Wells and

2. Hong Yao, Xin Qian, Hailong Gao, Yulei Wang, Bisheng Xia. (2014) Seasonal and Spatial Variations of Heavy Metals in Two Typical Chinese Rivers: Concentrations, Environmental Risks, and Possible Sources. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2014, 11(11), 11860-11878; doi:10.3390
3. Marian McDonagh, Jos Kleijnen. (2001). Association of Down's syndrome and water fluoride level: a systematic review of the evidence. *BMC Public Health* 2001;6 https://doi.org/10.1186/1471-2458-1-6© Whiting et al; licensee Biomed Central Ltd. 2001
4. Hans JM van Grinsven et al, Mary H Ward, Nigel Benjamin, Theo M de Kok. (2006). Does the evidence about health risks associated with nitrate ingestion warrant an increase of the nitrate standard for drinking water? *Environmental Health* 2006;5:26 https://doi.org/10.1186/1476-069X-5-26© van Grinsven et al; licensee Biomed Central Ltd. 2006
5. Jim Wright, Mawuli Dzodzomenyo, Nicola A. Wardrop, Richard Johnston, Allan Hill, Genevieve Aryeetey, Richard Adanu. (2016). Effects of Sachet Water Consumption on Exposure to Microbe-Contaminated Drinking Water: Household Survey Evidence from Ghana. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13(3), 303; doi: 10.3390/ijerph13030303.
6. Gunther Franz Craun. (2012). The importance of waterborne disease outbreak surveillance in the United States. *Ann. Ist. Super. Sanità* vol.48 n.4 Roma Oct./Dec. 2012.
7. Бригадир М. І. Стан якості питної води в Україні // Матеріали конгресу «ЭКВА-ТЕК-2005». – М., 2005. – С. 116 - 119.
8. Дмитренко Т. В. Родники в городской черте // Экология города: Уч. по-собие. – К.: Либра, 2000. – С. 65-68.
9. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води К.: Вища школа. 2005.– 671с.
10. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.epa.gov/iris>
11. California Environmental Protection Agency (EPA). Toxicity Criteria Database [Електронний ресурс].– Режим доступу:

- <http://www.oehha.org/risk/chemicalDB/index.asp>.
12. Киселев А.Ф. Оценка риска здоровью [Текст] / А. Ф. Киселев, К. Б. Фридман. – СПб.: Питер, 1997. – 100 с..
  13. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затв. Наказом МОЗ України від 13.04.07 № 184. Київ, 2007. - 40 с.
  14. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. – М. Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. – 2004. – 143с.
  15. Рыбалова, О.В. Оцінка небезпеки рекреаційного використання водотоків Харківської області як важливого показника якості життя [Текст] / О.В. Рыбалова, С.В. Белан., Є.О. Варивода // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – Харьков, 2011. – № 3/11 (51). – С. 30-33.
  16. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія /О.Г. Васенко, О.В. Рыбалова, С.Р. Артем'єв і др. – Х.: НУГЗУ, 2015. – 419 с
  17. Васенко, О.Г. Методичні засади визначення екологічної небезпеки рекреаційного водокористування [Текст] /О.Г. Васенко, О.В. Рыбалова, Г.В. Коробкова // Научн. – произв. журнал «Экология и промышленность» Харьков, №4- 2013, с.42-49
  18. Рыбалова О.В. Новий підхід до комплексної оцінки ризику для здоров'я населення при забрудненні навколишнього природного середовища / О.В. Рыбалова, С.В. Белан // Актуальные достижения европейской науки: тезисы між. наук.-практ. конф. (17-25.06.2014) – Болгарія, 2014– С.76–82.
  19. Мовчан Я.І. Оцінка екологічного ризику погіршення сучасного стану урбанізованих територій / Мовчан Я.І., Рыбалова О.В., Гулевець Д.В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 3/11 (63) - 2013. – С. 37–41.
  20. Гарбуз А.Г. Водопостачання у місті Харків [Текст] / Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія», вип. 15 – 2016 ). – С. 99-105.

**Бригада Е.В., Рыбалова О.В., Росколотко А.В. ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ РОДНИКОВ г. ХАРЬКОВА.** В статье предложено усовершенствование методики оценки риска для здоровья населения при употреблении питьевой воды путем дополнения значений уровня опасности для некоторых загрязняющих веществ. Анализ качественного состояния питьевой воды родников города Харьков на основе оценки риска для здоровья населения показал вероятность увеличения заболеваемости.

**Ключевые слова:** риск для здоровья населения, питьевая вода, родники, город Харьков.

**Bryhada O., Rybalova O., Roskolotko A. RISK ASSESSMENT FOR THE POPULATION HEALTH WHEN USING DRINKING WATER FROM KHARKOV SPRINGS.** The article suggests the methodology improvement for risk assessment to the public health when drinking water is used by supplementing the hazard level values for some pollutants. The analysis of drinking water quality in the Kharkov springs based on the assessment of the population health risks showed a probability of incidence increase. Ranking of the Kharkov springs by the value of the hazard index allowed to identify drinking water sources unsuitable for use.

**Keywords:** public health risk, drinking water, springs, Kharkov city.