

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ENVIRONMENTAL AND RADIATION SAFETY

ЕКОЛОГІЧНА ТА
РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА

1(Number 1)

2023

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНИЙ У 2019 РОЦІ • ВИХОДИТЬ 2 РАЗИ НА РІК

Миколаїв
2023

Започатковано у 2019 році.
Засновник Чорноморський
національний університет
імені Петра Могили.

Свідоцтво про Державну
реєстрацію журналу КВ
№ 23943-13783Р.
Видано 23.04.2019

Рекомендовано до друку
та поширення мережею
рішенням вченої ради
Чорноморського
національного університету
імені Петра Могили
(протокол № 4 від 27.04.2023 р.)

Мови видання:
українська, англійська

Головний редактор: Григор'єва Л. І., доктор біологічних наук
Відповідальний секретар: Алексеева А. О., кандидат технічних наук

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

1. Клименко Леонід Павлович – доктор технічних наук;
2. Липська Алла Іванівна – доктор біологічних наук;
3. Матвеева Ірина Валеріївна – доктор технічних наук;
4. Мітрясова Олена Петрівна – доктор педагогічних наук;
5. Ракша-Слюсарева Олена Анатоліївна – доктор біологічних наук;
6. Рашидов Намік Мамедогли – доктор біологічних наук;
7. Чорна Валентина Іванівна – доктор біологічних наук;
8. Талько Вікторія Василівна – доктор медичних наук;
9. Трохименко Анна Григорівна – доктор технічних наук;
10. Андреєв В'ячеслав Іванович – кандидат технічних наук;
11. Крисінська Діана Олександрівна – кандидат технічних наук;
12. Патрушева Лариса Іванівна – кандидат географічних наук;
13. Смірнов Віктор Миколайович – кандидат геологічних наук;
14. Lupascu Tudor – Dr. Sc., Republic of Moldova;
15. Mariychuk Ruslan – Associated Professor, Slovak republic;
16. Povar Igor – D. Sc. (Doctor Habilitatus), Republic of Moldova.

E45

Environmental and radiation safety : наук. – практ. журн. / [редкол. :
Л. І. Григор'єва (голов. ред.) та ін.]. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра
Могили, 2023. – № 1 (1). – 64 с.

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та
практичні здобутки в галузі екології, екологічної, радіаційної та біологічної безпеки.

УДК 502/504+614.876-049.5](045)
ISSN 2786-8982

© Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2023

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
54003, м. Миколаїв,
вул. 68 Десантників, 10
Тел.: (0512) 76-55-99,
76-55-81.
факс: 50-00-69, 50-03-33,
E-mail: rvv@chmnu.edu.ua

ЗМІСТ

Chvyr V., Mitryasova O., Smyrnov V. Mathematical modeling of comfortable conditions of convective heat exchange of humans and environment.....4

Алєйник В. Г., Білоусов М. В., Черненко Д. О., Григор'єва Л. І. Екологічні наслідки російської агресії проти України в 2022-2023 роках (прикладні та комунікативні аспекти).....12

Андрєєв В. І., Случак О. І., Случак О. І. Еколого-енергетичне обґрунтування потреби в сільськогосподарських площах для забезпечення продовольчої безпеки України.....20

Буровицька Ю. М., Григор'єва Л. І. Канцерогенні ризики для населення Миколаївської області від техногенно-підсилених природних джерел іонізуючого випромінювання.....28

Григор'єв К. В., Макарова О. В., Алексєєва А. О., Григор'єва Л. І. Утилізація забруднених мулів Бузького лиману при ремедіації поверхонь техногенних масивів.....33

Остапенко В. В., Григор'єва Л. І. Екологічні політанти системи дощової каналізації міста Миколаєва.....37

Кузнєцов С. І., Венгер О. О., Безпальченко В. М., Семенченко О. О. Промисловий циклонно-ротаційний пиловловлювач.....43

Ракша-Слюсарєва О. А., Слюсарєв О. А., Боєва С. С., Тарасова І. А., Маричев І. Л., Коваленко П. Г., Усікова З. Л. Стан неспецифічної резистентності у мешканців м. Маріуполя під час війни.....50

Телюра Н. О., Іващенко Ю. І. Спосіб вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України, розташованих на евтрофованих водних об'єктах.....58

CONTENTS

Chvyr V., Mitryasova O., Smyrnov V. Mathematical modeling of comfortable conditions of convective heat exchange of humans and environment.....4

Aleynyk V., Bilousov M., Chernenko D., Grygorieva L. Environmental consequences of russian aggression against Ukraine in 2022-2023 (applied and communication aspects).....12

Andreev V., Sluchak O., Sluchak O. Ecological and energy substantiation of the need for agricultural areas to ensure food security in Ukraine.....20

Burovytska Y., Grygorieva L. Carcinogenic risks for the population of Mykolaiv region from technogenically enhanced natural sources of ionizing radiation28

Grygoriev K., Makarova O., Aleksyeyeva A., Grygorieva L. Disposal of contaminated sludge of Buzky Liman for remediation of the surfaces of technological massives33

Ostapenko V., Grygorieva L. Environmental pollutants of the rainwater drainage system of Mykolaiv.....37

Kuznietsov S., Wenher O., Bezpalchenko V., Semenchenko O. Industrial cyclone-rotary dust collector.....43

Raksha-Slusareva O., Slusarev O., Boieva S., Tarasova I., Marichev I., Kovalenko P., Usikova Z. The state of nonspecific resistance in the residents of Mariupol during the war.....50

Teliura N., Ivashchenko Y. Method of choosing a technological measure of environmentally safe drainage in the settlements of Ukraine located on eutrophic water bodies.....58

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.01

Vadym Chvyr,graduate student of the Department of Ecology,
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine**Victor Smyrnov,**associate professor of the Department of Ecology,
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine**Olena Mitryasova,**professor of the Department of Ecology,
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODELING OF COMFORTABLE CONDITIONS OF CONVECTIVE HEAT EXCHANGE OF HUMANS AND ENVIRONMENT

Estimating environmental characteristics and determining comfortable conditions is a rather complex task that requires powerful mathematical and computer equipment. The purpose of the article is to build a mathematical model and determine the comfortable conditions of convective heat transfer of man and the environment by temperature in the city of Mykolaiv. The article "Mathematical modeling of comfortable conditions of convective heat exchange of humans and the environment" presents experimental studies of the evaluation of the comfortable conditions of convective heat exchange of the human body and the surrounding environment based on mathematical calculations allow to clearly outline the comfort zones in the cold period of the year. The basis of the research is the mathematical modeling of the comfortable conditions of the human body, which is based on the use of the developed algorithm, the basis of which is the synthesis of two software products. The ability to import data made a significant impact on the synthesized work of the programs, which made it possible to transfer the calculations without loss of content without loss of time. Optimal solutions identified during the creation of the algorithm allowed to create a method of mathematical modeling of the comfortable conditions of the human body.

The heat exchange between the human body and the temperature of the atmospheric air is estimated. The graphical dependence of the change of convective heat exchange on the atmospheric air temperature is constructed. An approximation of the curve on the basis of which the derivative of the function is determined. The levels of comfort of convective heat exchange of man with the environment are presented. The optimal temperature conditions for the human body in the cold period of the year are substantiated.

The normal temperature threshold is $1.5-0.5^{\circ}\text{C}$, where the human body is in a comfortable state and there is moderate heat transfer. For the middle level, the temperature is determined in the range of $2.0-1.49$ and $0.49-0^{\circ}\text{C}$, where the increase in heat transfer begins due to the increase in atmospheric air temperature, which leads to sweating. Lowering the temperature, in turn, leads to heat release from the body to warm up.

Key words: mathematical modeling, convective heat transfer, approximation, analytical differentiation, comfort zones, algorithm.

Оцінювання характеристик навколишнього середовища та визначення комфортних умов є досить складним завданням, яке потребує потужного математичного та комп'ютерного обладнання. Метою статті є побудова математичної моделі та визначення комфортних умов конвективного теплообміну людини та навколишнього середовища за температурою в місті Миколаєві. У статті «Математичне моделювання комфортних умов конвективного теплообміну людини та навколишнього середовища» представлено експериментальні дослідження оцінки комфортних умов конвективного теплообміну організму людини та навколишнього середовища на основі математичних розрахунків, які дозволяють чітко окреслити зони комфорту в холодний період року.

Основою дослідження є математичне моделювання комфортних станів організму людини, яке базується на використанні розробленого алгоритму, основою якого є синтез двох програмних продуктів. Можливість імпорту даних значно вплинула на синтезовану роботу програм, що дозволило передавати розрахунки без втрати вмісту без втрати часу. Оптиміальні рішення, виявлені при створенні алгоритму, дозволили створити метод математичного моделювання комфортних станів організму людини.

Оцінено теплообмін між тілом людини і температурою атмосферного повітря. Побудовано графічну залежність зміни конвективного теплообміну від температури атмосферного повітря. Апроксимація кривої, на основі якої визначається похідна функції. Наведено рівні комфортності конвективного теплообміну людини з

навколишнім середовищем. Обґрунтовано оптимальні температурні умови для організму людини в холодний період року.

Нормальним температурним порогом є 1,5-0,5 °C, при якому організм людини перебуває в комфортному стані і є помірна тепловіддача. Для середнього рівня температура визначається в межах 2,0-1,49 і 0,49-0 °C, де починається збільшення тепловіддачі за рахунок підвищення температури атмосферного повітря, що призводить до потовиділення. Зниження температури, у свою чергу, призводить до виділення тепла з організму для зігрівання.

Ключові слова: математичне моделювання, конвективний теплообмін, апроксимація, аналітична диференціація, зони комфорту, алгоритм.

Introduction

The article was prepared as part of the International Project with the support of the EU Erasmus+ Program of Jean Monnet Chair.

An important factor in the normal functioning of the body is the release of heat into the environment.

Body temperature during any external processes is maintained only when there is a balance in heat production and heat transfer of the body. The heat exchange of the human body with the environment is due to thermal conductivity, convection, radiation and evaporation.

The heat balance maintained by the body can be disturbed and lead to hypothermia or over heating of the body, which in turn causes loss of ability to work, consciousness or even death.

Interpretation of the concept of “comfort” is quite conditional and controversial in our time. Basically, this concept is considered as a set of conditions, circumstances that affect normal well-being, mood, which depends on such conditions.

Comfort of environmental conditions for the human body, the concept is narrower and applies to environmental factors that affect the state of the human body.

The authors [12] presented a model that allows to predict the comfortable state of a person in different temperature ranges. She studied the comfortable state of a person in the thermal regime of the room [11], where a mathematical model was proposed and analytical expressions were obtained, which allow to determine the irradiation coefficients and assess the heat exchange of a person with the internal environment. A significant contribution to the study of human heat exchange was made [9], which published the results of theoretical studies related to the heat exchange of the human body and the parameters of the microclimate of the room.

The purpose of the article is to build a mathematical model and determine the comfortable conditions of convective heat transfer of man and the environment by temperature in the city of Mykolaiv.

Experimental researches

Maintaining an acceptable state of health, well-being and ability to work directly depends on the thermal comfort of the environment. It is the heat exchange of the human body and the environment can be assessed by convective heat transfer, determined by the Newton-Richman (formula 1):

$$g_k = \alpha_k F_e (t_{sur} - t_a), \text{ where:} \quad (1)$$

t_{sur} – human body surface temperature,
 t_a – atmospheric temperature,
 F_e – effective surface of the human body, taken 1.8 m²,
 α_k – heat transfer coefficient, taken 4.06 $\frac{W}{m^2 \cdot deg}$.

The surface temperature of the human body was measured with a non-contact thermometer at the time of entry into the room.

Temperature indicators of atmospheric air are taken for the five-day period in December of the city of Mykolaiv (table 1).

Table 1

Convective heat transfer at these temperatures

Atmospheric temperature, °C	Heat transfer coefficient, $\frac{W}{m^2 \cdot deg}$	Effective surface of the human body, m ²	Human body surface temperature, °C	Convective heat transfer, Joule
-3,0	4,06	1,8	32,3	257,97
-2,0			29,6	230,93
0,0			28,3	206,82
0,0			28,3	206,82
2,0			30,3	206,82

In the MS Excel program, it is possible to build environmental characteristics (EC) created on the basis of a selection of tabular data. The approximation of the built environmental characteristics is created using the functional menu built into the program. For a more detailed evaluation of EC, the software components cannot provide the definition of the coefficients, which shows the accuracy of the approximation of the functions and the corresponding level, which is associated with the trend line describing the corresponding function [6].

The environment of the mathematical processor MathCad to a greater extent makes it possible to qualitatively process EC. Using the data import functions, the graphical differences obtained in MS Excel can be transferred to MathCad with further evaluation. Level import allows you to differentiate them and build derivatives on the basis of the received differentials with the subsequent determination of the comfort zone. In addition, the high-quality solution of mathematical expressions carried out in MathCad allows you to quickly and clearly process large volumes of data, which are used a lot of time in MS Excel in their work.

The process of differentiation is performed in the mathematical processor MathCad, which is connected with its automated process. The resulting equation, which was imported from MS Excel, is calculated using a special function button that allows you to calculate the input. MS Excel allows differentiation only manually using built-in functions.

The calculations carried out in the above programs made it possible to develop a clear algorithm for mathematical modeling of human comfort zones. By combining the functionality of the MathCad and MS Excel programs, it is guaranteed to set the comfort zone for environmental characteristics, which gives a complete picture of the impact of the factor on the living organism.

The first stage is the determination of the indicator and the corresponding operating factor. Based on the construction of ecological characteristics, for their further processing, it is necessary to choose environmental parameters as the active factor. These can be: atmospheric air temperature, relative humidity, wind speed, solar radiation, etc. In this case, the object is a living organism, namely a person.

The human body must have a quantitative assessment, that is, it must be calculated using certain numerical values – indicators. Such indicators include: the temperature of the human body, blood pressure, pulse, the amount of heat released, etc. It is important to assess the degree of influence of this or that factor on the indicator, this allows more accurate derivation of environmental safety indices in future processes. The next step is to enter the data bank into the MS Excel spreadsheet. The accuracy of the obtained studies depends on this stage, due to the volume of experimental data, the greater their amount, the more accurate the approximation of EC.

In the algorithm, which is presented in the figure, all the processes of mathematical modeling of human comfort zones are specified, which shows the entire calculation work from beginning to end [1]. All its work is based on mathematical calculations of various nature (fig. 1).

The presented algorithm can be improved by increasing the active factors, which gives a more accurate assessment when determining comfortable conditions for the human body. The introduction of one more active factor will allow us to build and evaluate three-factor environmental characteristics. This will make it possible to comprehensively evaluate, define, characterize and result of the conducted research.

Optimization of computer and mathematical equipment will contribute to increasing the level of accuracy of performed calculations. The possibility of using more advanced programs that will allow you to perform calculations not in several software environments, but in one. Construction of graphical dependencies in mathematical processors operating in automatic mode, due to the introduction of coded processes into the program environment. First of all, the use of software products that allow you to automatically evaluate the function and its derivative, in order to highlight the comfort zones of the ecological characteristics and give a better picture of the experiment [7, 8, 10].

The method of mathematical modeling of human comfort zones, which is presented in the form of an algorithm, allows you to quickly and qualitatively assess environmental characteristics using any amount of information. The computer and mathematical base of which allows to increase the level of accuracy of experimental studies, thanks to automated evaluation methods, which are more perfect compared to manual calculations.

Today, there are no analogues among similar methods and algorithms for mathematical modeling of human comfort zones.

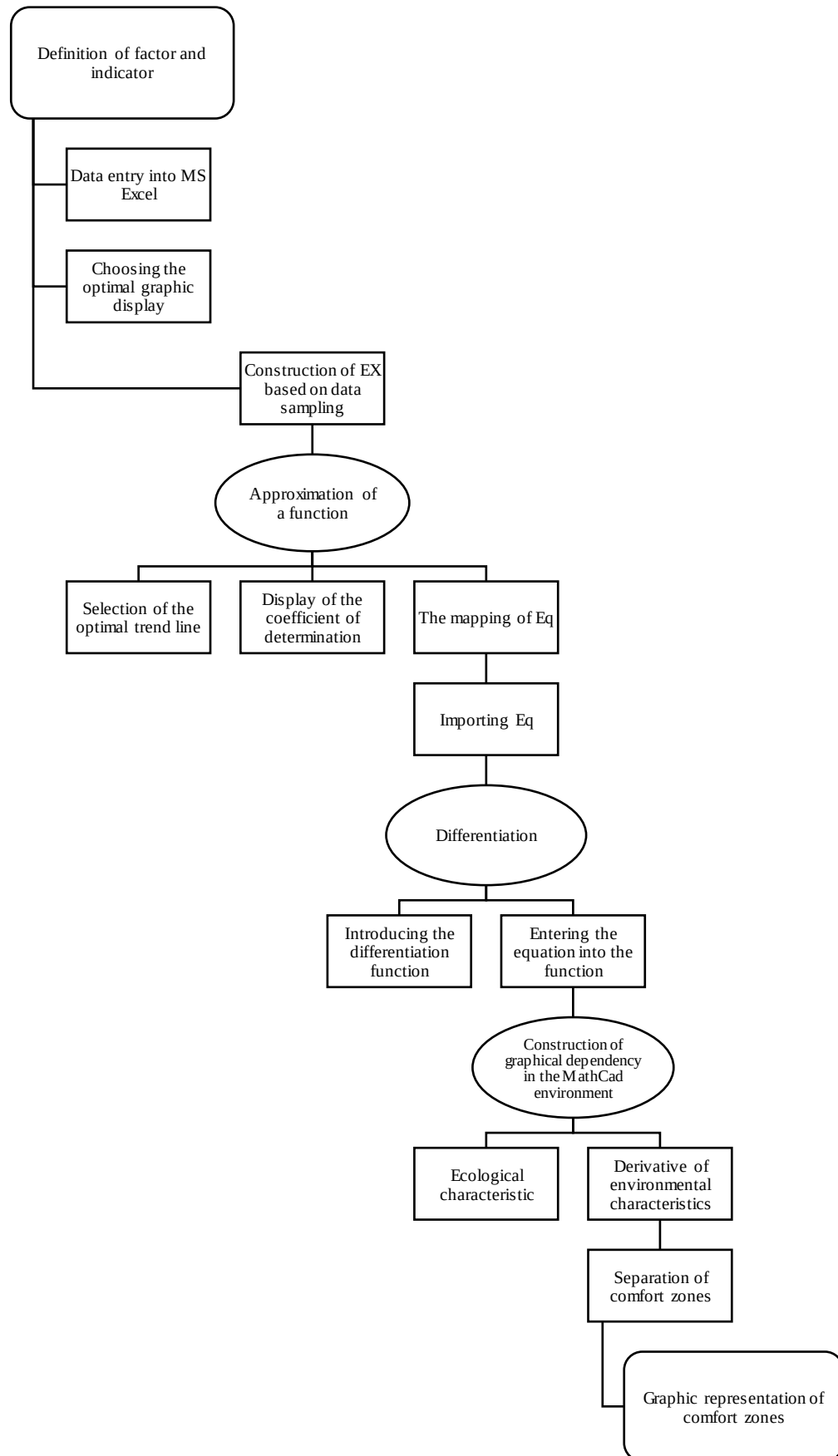


Fig. 1. Algorithm of mathematical modeling of human comfort zones

Results and discussion

First of all, the choice of the optimal graphic display is made, which allows to describe the received EC in more detail. Assessing the two-factor environmental performance, the best solution is to depict it using the MS Excel component "Chart" and select "Point with smooth curves", it allows you to get high quality and detailed display.

Graphic dependence (fig. 2) allows to estimate the heat exchange between the human body and the temperature of the atmospheric air. The constructed curve gives a clear picture of the reaction of the organism (convective heat transfer) to meteorological changes - the temperature of atmospheric air. Finding the derivative of this function, will determine the comfort zones of convective heat transfer of man and the environment [2].

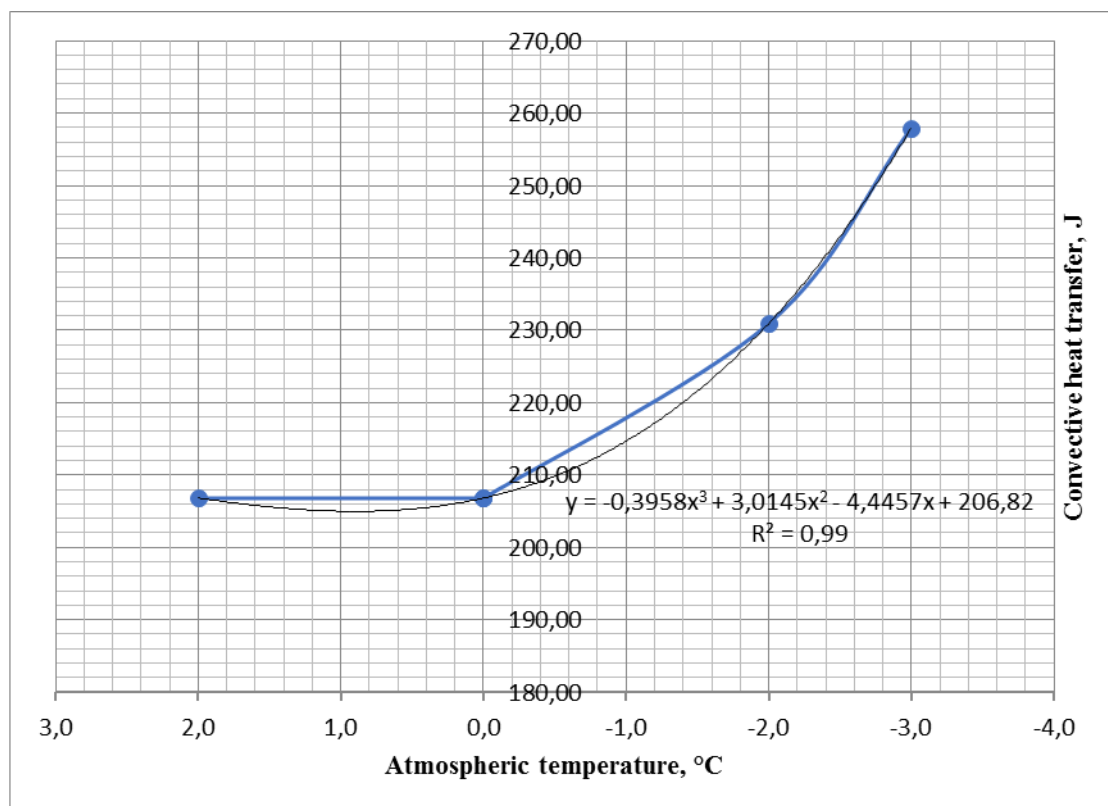


Fig. 2. Dependence of changes in human convective heat transfer on atmospheric air temperature

Approximation of the function in the environment of MS Excel allowed to determine the equation of the function and the coefficient of determination, which is equal to $R^2 = 0.99$. The obtained polynomial of the third degree was transferred to the environment of the mathematical processor MathCad, where analytical differentiation was performed and the derivative was constructed (formula 1,2).

Using the functions of the MathCad mathematical processor, analytical differentiation of this curve was performed and comfort zones were determined accordingly (fig. 3).

$$f(x) = -0.3958x^3 + 3.0145x^2 - 4.4457x + 206.82 \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dx} f(x) = -1.1874x^2 + 6.029x - 4.4457 \quad (3)$$

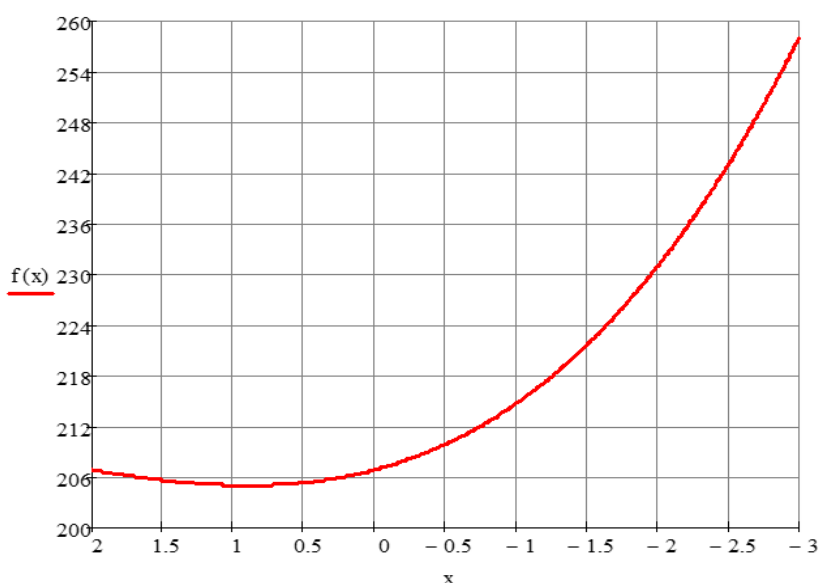


Fig. 3. Dependence of changes in human convective heat transfer on atmospheric air temperature in MathCad environment

The process of differentiation is reduced to automated calculation in the mathematical processor MathCad. By pressing the corresponding function button, which is located in the panel “Calculation”, we create the basis for the calculation. Then we copy the equation in the field of differentiation and get the answer as a derivative (each expression must have a name, this allows the program to determine a particular expression according to its name) (fig. 4,5).

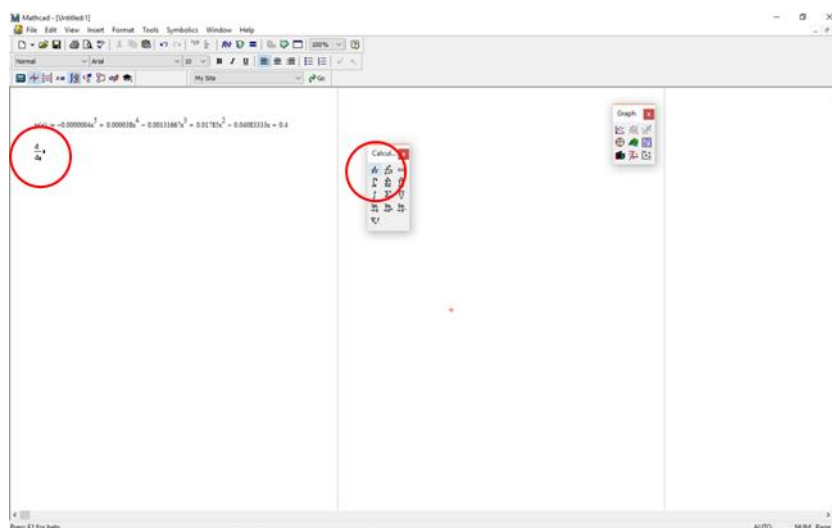


Fig. 4. The differentiation process in MathCad

Each level of comfort is clearly traced by the nature of the change in the derivative function of the dependence of convective human heat exchange on atmospheric air temperature.

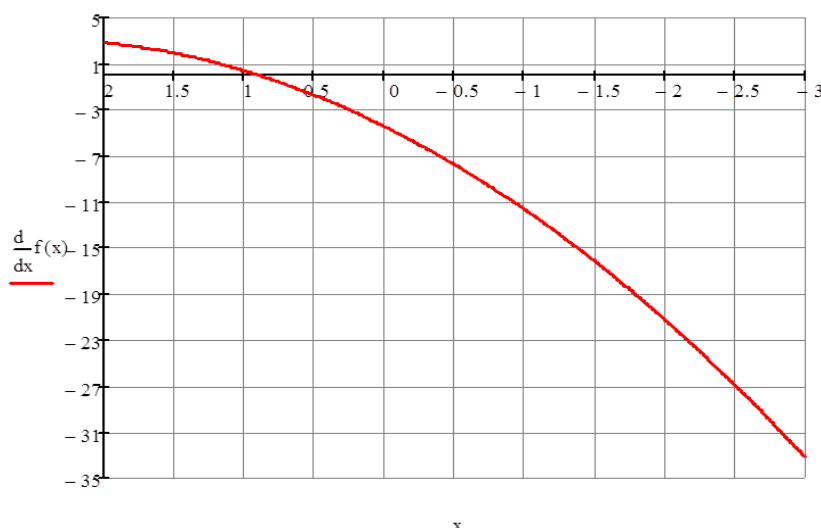


Fig. 5. Derivative functions in the MathCad environment

Graphic dependencies are built on the basis of the received expressions. Select the menu item “Add” and click on the line “Charts”, where in the list click on “X-Y chart”. After that, an empty graph field appears on the workspace, in which the name of the function to which our equation belongs is written along the ordinate axis, and the name related to the sample of values in x is written along the abscissa axis, given that the function and its derivative have the same values of x , it makes sense to build graphical dependencies in one graphic field) [4, 5]. Therefore, it is possible to enter both the function equation and the derivative equation in the field, and to leave x unchanged, but more detailed for the assessment of comfort are graphical dependencies, which are built separately from each other. This allows to clearly and qualitatively characterizing the trend of change of the derivative during the assessment of comfort zones EC.

The separation of comfort zones is based on a graphical dependence, which consists of a function and its derivative. After analyzing the nature of the derivative change, we can distinguish comfort zones: the optimal zone, the middle and low comfort zone. According to these zones, you can select the gradation for each of the developed levels [3].

Based on the constructed derivative, on its basis a graph is constructed with selected comfort zones, where green indicates the optimum zone, yellow - medium, red - low comfort zone.

Normal heat exchange of the organism and the environment is determined by the comfort levels of the constructed derivative (fig. 6):

optimal (comfortable) condition - $1.5-0.5^{\circ}\text{C}$;

moderate condition - $2-1.49$ and $0.49-0^{\circ}\text{C}$;

uncomfortable state - $0,1 - (-3)^{\circ}\text{C}$.

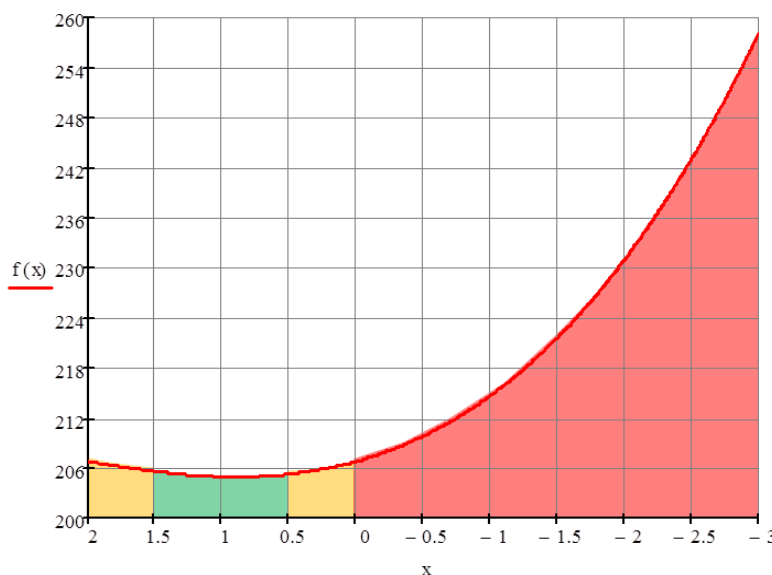


Fig. 6. Comfort levels of convective heat exchange of a person with the environment

Certain levels of comfort of convective heat exchange of the person with environment allow to estimate optimum temperature conditions for a human body in the cold period of year.

Optimization of computer and mathematical apparatus will help increase the level of accuracy of calculations. Ability to use more advanced programs that will perform calculations not in several software environments, but in one. Construction of graphic dependencies in mathematical processors operating in automatic mode, due to the introduction of coded processes in the program environment. First of all, the use of software products that allow you to automatically evaluate the function and its derivative, in order to identify comfort zones of environmental characteristics and give a better picture of the experiment.

The presented algorithm can be improved by increasing the operating factors, which gives a more accurate assessment when determining the comfortable conditions for the human body. The introduction of another active factor will build and assess the three-factor environmental characteristics. This will allow a comprehensive assessment, determination, characterization and results of research.

Conclusions

At subzero temperatures, the human body begins to give off heat (energy), where there is an increase in values along the y-axis. The normal temperature threshold is 1.5-0.5 °C, where the human body is in a comfortable state and there is moderate heat transfer. For the middle level, the temperature is determined in the range of 2.0-1.49 and 0.49-0 °C, where the increase in heat transfer begins due to the increase in atmospheric air temperature, which leads to sweating. Lowering the temperature, in turn, leads to heat release from the body to warm up.

References

1. Chvyр V. (2021). Algorithm of process of mathematical modeling and estimation of ecological characteristics. *Mohylyans'ki chytannya – 2021, Problems of ecology: theory and practice*, 84-86.
2. Chvyр V. (2021). Assessment of the Thermal Comfort of People for the Equivalent-Effective Temperature in Mykolaiv. *International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century*, 19 p.
3. Chvyр V., Andreev V. (2019). Research of urban comfort by regression methods on evaluation of meteorological indicators. *Scientific works: science. magazine. Petro Mohyla Black Sea National University*, 328(316), 31-34.
4. Kravchenko I. V., Mykytenko V. I. (2018). *Information technologies: Systems of computer mathematics*. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
5. Kundrat, A. M. and Kundrat, M. M. (2014). *Scientific and technical calculations using MathCAD and MS Excel*. Rivne: NUWEE.
6. Lopotko O.V. (2018). *Informatics: Excel and Basic for Application: teaching manual*. Kyiv: Caravela.
7. Makhney O. V. (2015). *Mathematical modeling: study guide*. Ivano-Frankivsk: V. P. Suprun.
8. Matviychuk V.A., Veselovska N.R., Shargorodskiy S.A. (2021). *Mathematical modeling of the latest technological systems*. Vinnytsia: VNAU.
9. Mironyuk H., Sukholova I. (2010). *Influence of indoor microclimate parameters on human heat exchange, Heat Power Engineering, Environmental engineering*. Lviv: LPNU.
10. Pavlenko P.M., Filonenko S.F., Cherednikov O.M., Tretyak V.V. (2017). *Mathematical modeling of systems and processes: teaching manual*. Kyiv: NAU.
11. Petrenko A. (2013). Ensuring optimal microclimate conditions considering the modeling of the thermal regime of the room. *Construction. Materials science. Mechanical engineering*, 47(68), 266-271.
12. Stasevych S., Kazymyра I., Plavaika M. (2018). *Modeling of the human body under external temperature*. Lviv: Panorama.

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.02

Білоусов Микита Валерійович

аспірант кафедри соціології та політології

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

Миколаїв, Україна

ORCID: 0000-0002-1008-9649

Алєйник Віталій Геннадійович

аспірант кафедри соціології та політології

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

Миколаїв, Україна

ORCID: 0000-0001-5319-7212

Черненко Дмитро Олександрович

аспірант кафедри екології

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

Миколаїв, Україна

ORCID: 0009-0000-7449-2413

Григор'єва Людмила Іванівна

професор, доктор біологічних наук,

завідувач кафедри екології Навчально-наукового медичного інституту

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

Миколаїв, Україна

ORCID: 0000-0001-9452-2982

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ В 2022-2023 РОКАХ (ПРИКЛАДНІ ТА КОМУНІКАТИВНІ АСПЕКТИ)

Анотація. В статті піднімається резонансна проблема екологічних наслідків агресивних воєнних дій Російської Федерації проти України у 2022-2023 роках, зокрема в контексті необхідності їх документування та достатнього висвітлення для привертання уваги профільних організацій, що займаються питаннями захисту довкілля, та світового співтовариства. Автори надають конкретні приклади руйнівного впливу на українську природу та екосистему, включаючи обстріли об'єктів житлої та критичної інфраструктури, мінування значної частини територій півдня та сходу країни, забруднення ґрунту та водойм снарядами. У статті також робиться спроба прогнозувати, скільки часу буде потрібно для ліквідації наслідків зазначених впливів.

Автори також аналізують рівень висвітлення цієї проблематики у світових та українських засобах масової інформації та комунікації, а також пропонують механізми для більшого висвітлення зазначеного спектру проблем, включаючи залучення до проблеми профільних природоохоронних організацій, активістів та лідерів думок.

Стаття є важливим внеском у вивчення екологічних наслідків воєнних конфліктів і може бути корисною для дослідників у галузі як екології, так і політичних наук, громадських і державних діячів, які працюють у цій галузі, а також представників політичного істеблішменту.

Ключові слова: забруднення навколишнього середовища, екологічні наслідки війни в Україні, відновлення довкілля, міжнародна коаліція, світові ЗМІ, засоби масової комунікації.

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF RUSSIAN AGGRESSION AGAINST UKRAINE IN 2022-2023 (APPLIED AND COMMUNICATIVE ASPECTS)

Abstract. The article raises the resonant issue of the environmental consequences of the aggressive military actions of the Russian Federation against Ukraine in 2022-2023, in particular in the context of the need to document them and provide sufficient coverage to attract the attention of specialized organizations dealing with environmental protection and the international community.

The authors provide concrete examples of the devastating impact on Ukrainian nature and ecosystem, including the shelling of residential and critical infrastructure, mining of a large part of the country's south and east, and contamination of soil and water bodies by shells. The article also attempts to predict how long it will take to eliminate the consequences of these impacts.

The authors also analyze the level of coverage of this issue in the global and Ukrainian media and communication and propose mechanisms for greater coverage of this range of problems, including the involvement of specialized environmental organizations, activists, and opinion leaders.

The article is an important contribution to the study of the environmental consequences of military conflicts and may be useful for researchers in both environmental and political sciences, public and government officials working in this field, as well as representatives of the political establishment.

Keywords: environmental pollution, environmental consequences of the war in Ukraine, environmental restoration, international coalition, world media, mass communication.

Мета. Проаналізувати масштаби завданої шкоди довкіллю України внаслідок воєнної агресії РФ та рівень висвітлення зазначеної проблематики в українських та світових засобах масової комунікації, а також окреслити напрями співпраці України з країнами-партнерами та профільними організаціями в подоланні екологічних наслідків війни.

Постановка проблеми (вступ). Повномасштабне вторгнення військ РФ та численні обстріли України в 2022-2023 роках призводять до суттєвого погіршення екологічного й економічного стану країни. Подальше зростання рівня забруднення навколишнього середовища населених пунктів і територій країни становить суттєву загрозу не тільки для України, а й для багатьох сусідніх держав. Внаслідок воєнної агресії окупаційних військ майже щодня спостерігаються факти умисних дій окупантів, що спричиняють техногенні аварії та загрожують екологічній безпеці тисяч людей.

Зрозуміло, що в ситуації, яка склалась, увага представників вищого військово-політичного керівництва значним чином зосереджена на питаннях, що потребують нагального вирішення, серед яких фінансування та забезпечення всіма необхідними засобами сил оборони, влаштування біженців, надання невідкладної допомоги пораненим тощо. Однак критичні екологічні наслідки російської агресії можуть відчутно ускладнити післявоєнну реконструкцію та розвиток країни, а також вирішення проблем соціального характеру (повернення біженців і внутрішньо переміщених осіб, відновлення роботи підприємств та інших бізнес-суб'єктів). Тому важливо приділяти увагу й питанням захисту навколишнього середовища, розмінування територій тощо.

Необхідність комплексного вивчення, систематизації та аналізу перспектив вирішення екологічних проблем, завданих агресією РФ, і привернення уваги світових засобів масової комунікації до стану довкілля в Україні, на думку авторів, є актуальною та потребує подальшого практичного втілення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, проблема екологічних наслідків російської агресії проти України є однією з найактуальніших у сфері екології. Останні дослідження та публікації свідчать про те, що російська агресія проти України має серйозні наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людей, населення загалом.

Дослідник Перга Т.Ю. у своїй статті перераховує такі екологічні загрози [1]:

- Загроза радіаційній безпеці України.
- Бойові дії на території природно-заповідного фонду площею 12,4 тис. кв. км.
- Пошкодження ґрунтів.
- Збільшення кількості та розширення площі лісових пожеж.
- Атаки російських військ на об'єкти критичної інфраструктури.
- Внаслідок припинення електропостачання Чорнобівської птахофабрики, розташованої поблизу Херсона,

на якій на момент початку війни знаходилося 3 мільйони курей, виникла масштабна біологічна та екологічна катастрофа, спричинена неможливістю їх утилізувати.

Важливим внеском у аналіз комунікативного аспекту досліджуваної проблематики є матеріал дослідниці Діани Костюк «Екологічні наслідки війни в Україні: що пишуть світові ЗМІ», де були перелічені міжнародні джерела, які висвітлюють руйнівний вплив російської воєнної агресії на стан довкілля в Україні [2].

Але на думку авторів важливим є комплексне дослідження прикладного, комунікативного та міжнародного аспектів подолання наслідків екологічної кризи в Україні, спричиненою воєнною агресією Російської Федерації.

Формулювання цілей статті. Авторами дослідження поставлені такі цілі:

1. Вивчення конкретних екологічних наслідків російської агресії проти України у 2022-2023 роках, включно з аналізом наукових даних і наведенням конкретних прикладів.

2. Оцінка часу і витрат, необхідних для ліквідації наслідків обстрілів, мінування і забруднення ґрунту і водойм, а також розробка планів боротьби з проблемами довкілля. Вивчення рівня висвітлення цієї проблематики у світових та українських ЗМІ та ЗМК, а також оцінка ефективності такого висвітлення для привернення уваги до екологічних наслідків війни.

3. Розробка рекомендацій для українського уряду, міжнародних організацій та світової спільноти щодо максимально ефективної боротьби з екологічними наслідками російської агресії.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Матеріально-прикладні аспекти проблематики.

Згідно публічного звіту т.в.о Голови Державної екологічної інспекції України за 2022 рік можна окреслити такі сфери негативного впливу російської агресії проти України у 2022-2023 роках [3]:

1. Шкода, завдана ґрунтам та земельним ділянкам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану. Забруднення ґрунтів речовинами, які негативно впливають на їх родючість та інші корисні властивості;

2. Шкода, завдана ґрунтам та земельним ділянкам внаслідок засмічення сторонніми предметами, матеріалами, відходами та/або іншими речовинами;
3. Збитки, заподіяні внаслідок забруднення та засмічення вод;
4. Збитки, заподіяні внаслідок самовільного, зокрема незаконного, користування водними ресурсами;
5. Збитки, заподіяні навколишньому природному середовищу в межах територіального моря, виключної (морської) економічної зони та внутрішніх морських вод України в Азовському та Чорному морях;
6. Шкода, завдана атмосферному повітрю, – напрям, що включає шкоду, завдану викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Основним показником, який оцінюється, є обсяг неорганізованих викидів;
7. Збитки, завдані природно-заповідному фонду, – напрям, що включає збитки, завдані територіям та об'єктам природно-заповідного фонду, та пов'язані із ними витрати.
8. Шкода та збитки, заподіяні лісовому фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації.
9. Збитки, заподіяні державі внаслідок самовільного користування надрами.
- За 10 місяців війни фахівцями Держекоінспекції та Оперативного штабу було проведено розрахунки збитків, заподіяних довіклію відповідно до затверджених Методик розрахунку збитків, завданих внаслідок збройної агресії російської федерації та бойових дій у період з 24.02.2022 по 30.12.2022 року (табл.1).

Таблиця		1.	Збитки		довкіллію
	Найменування територіального/міжрегіонального територіального органу Держекоінспекції	Загальна сума збитків, завданих забрудненням ґрунтів та засміченням земель, тис. грн	Загальна сума збитків, завданих забрудненням атмосферного повітря, тис. грн	Загальна сума збитків, завданих забрудненням, засміченням вод, самовільного користування водними ресурсами тис. грн	
1	Вінницька	1 370 941,881	215,766	0,00	
2	Волинська	190 253,601	67 650,360		
3	Донецька	6 362 590,989	645 307 734,857	0	
4	Закарпатська	1 384,339			
5	Луганська	262 518 354,000	180 284 353,777	0	
6	Львівська	33 817 461,109	2 205,301	0	
7	Сумська	24 139,540	200 342,691	153626,002	
8	Тернопільська	5 540 208,400	0,000	0	
9	Харківська	161 535 066,512	9 277 642,200	0	
10	Хмельницька	124 187,060	37 616,960		
11	Чернігівська	9 032 884,614	5 615 137,377	72586,759	
12	Поліський округ (Житомирська, Рівненська область)	311 398,832	14 919 316,486	0	
13	Столичний округ (м. Київ, Київська область)	669 276,421	46 815 085,821	0	
14	Центральний округ (Полтавська, Черкаська області)	145 417 369,224	409 028,761		
15	Карпатський округ (Івано-Франківська, Чернівецька області)	921,825	13 259,949	0	
16	Придніпровський округ (Дніпропетровська, Кіровоградська області)	78 470,788	434 526,830	77061,457	
17	Південний округ (Запорізька, Херсонська області)	2 745 711,257	71 721 943,902	2663,819	
18	Південно-Західний округ (Миколаївська, Одеська області)	12 737 947,796	22 951 239,362	39928515,92	
19	Центральний апарат			15 489 314,750	
	ВСЬОГО	642 478 568,188	998 057 300,400	55 723 768,705	

Загальна сума збитків по земельним, водним ресурсам та атмосферному повітрю, тис.грн

1 696 259 637,293

В той самий час сукупні збитки вже становлять понад 46 мільярдів доларів чи 1 696 355 202 000,000 грн. (один трильйон шістсот дев'яносто шість мільярдів триста п'ятдесят п'ять мільйонів двісті дві тисячі грн.), які Україна з часом вимагатиме від Росії як військові репарації, за словами Руслана Стрільця, міністра екології України [4]. Основну частину суми становить забруднення повітря, яке становить 27 мільярдів доларів.

Загальна сума збитків відносно тривалості конфлікту

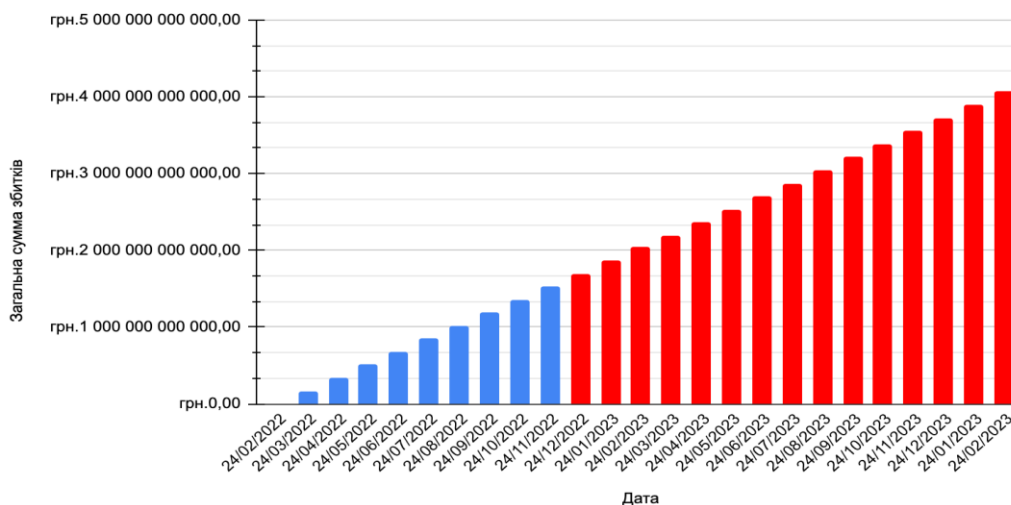


Рис. 1. Очікувана сума збитків при тривалості конфлікту у 2 роки.

Скориставшись екстраполяцією даних від Держекоінспекції можна отримати очікувані збитки на кінець другого року війни на цифру: 4 071 252 484 800,000 грн. (чотири трильйони сімдесят один мільярд двісті п'ятдесят два мільйони чотириста вісімдесят чотири тисячі вісімсот грн.).

За інформацією начальника відділу екологічного контролю Управління екологічного контролю та методології Міндовкілля Олександра Ставнійчука станом на березень 2023 року сума завданих збитків довкіл्लю України вже становить майже 2 трлн гривень. Ще не обрахованими є збитки нанесені лісам та природно-заповідному фонду. За словами держслужбовця, у питанні, що стосується шкоди, завданої українським надрам, лише за попередніми оцінками сума збитків складає близько 10 трлн гривень [5]

2. Комунікаційний аспект проблематики.

Неспровокована злочинна агресія Російської Федерації проти України, що почалась у 2014 році з анексії АР Крим і значної частини східних територій й отримала повномасштабне продовження в 2022 році, має серйозний негативний вплив на екологічну ситуацію майже в усіх регіонах країни.

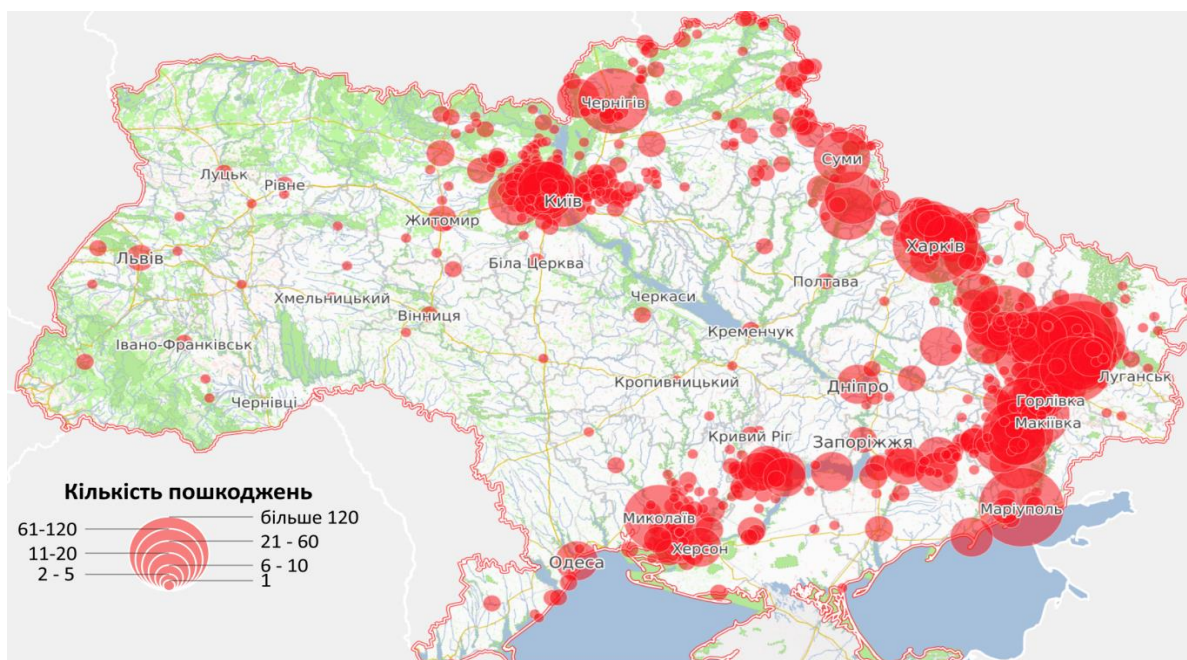
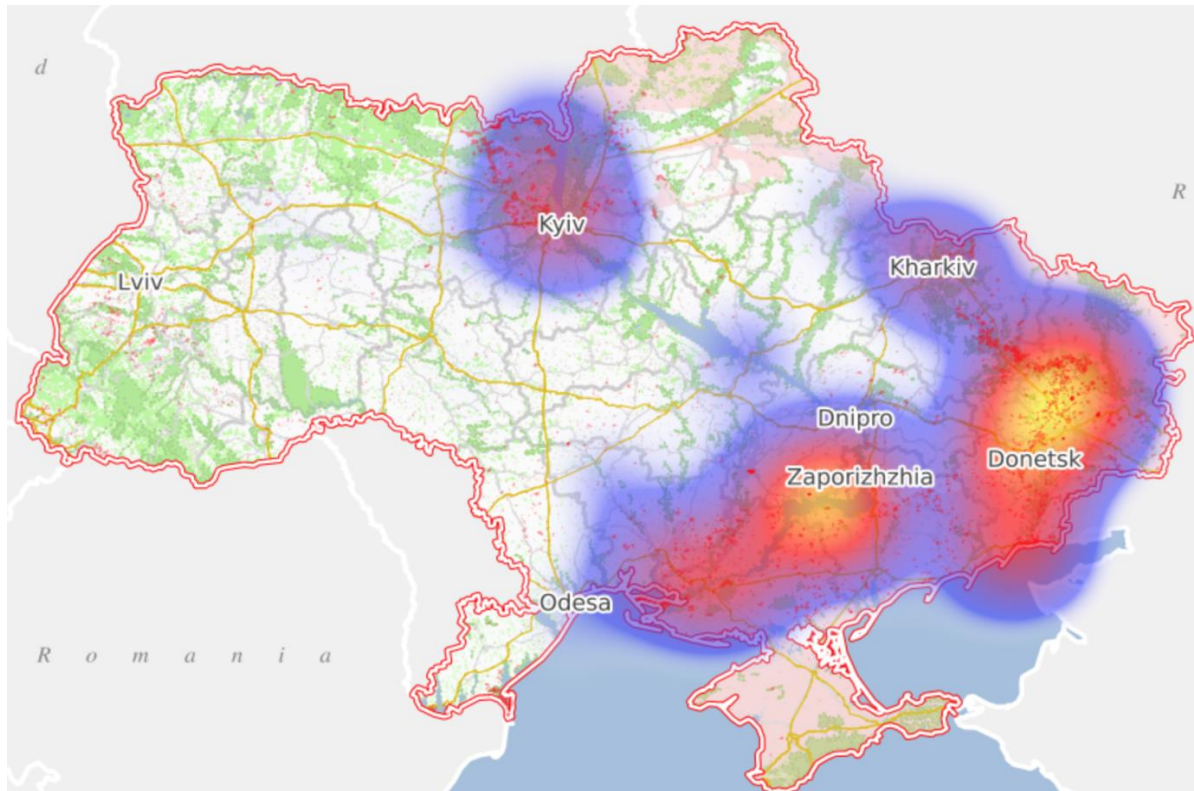


Рис. 2. Пошкодження інфраструктури за даними zoinet.org [6].

Обстріли лісових масивів, наземних і морських екосистем, промислових об'єктів, транспортної інфраструктури та житлових будівель, руйнування систем водопостачання, каналізаційних мереж та погіршення ситуації з поводженням із відходами провокують широкомасштабну та серйозну шкоду з довгостроковими наслідками для довкілля, здоров'я людей, господарської та підприємницької діяльності.

**Рис.3.** Пожежі та екологічні небезпеки за даними Ecodozor platform [7].

Світова екологічна спільнота переймається подіями в Україні, адже питання екології та зміни клімату – це не проблема однієї країни. Тож про війну та її наслідків для екології неодноразово писали світові ЗМІ [2].

Деякі світові ЗМІ, такі як FRANCE 24, The Guardian, Bloomberg, Green European Journal, Radio Free Europe/Radio Liberty, Polskie Radio, Business Insider та інші, розглядають екологічні аспекти російсько-української війни в своїх матеріалах. Вони висвітлюють наслідки руйнування екосистем та забруднення навколишнього середовища країни, а також наголошують на проблемах водного та атмосферного забруднення, пов'язані з діями Російської Федерації.

Проте, на думку авторів, масштаби висвітлення й привертання уваги до екологічних проблем в Україні, створених агресивними діями РФ, є недостатніми. Ситуація довкілля, акваторій і атмосфери в Україні мають отримати значно більший резонанс в першу чергу в профільних виданнях, а також серед лідерів думок і таким чином привертати більше уваги міжнародної спільноти.

Безумовно, в різних країнах світу проблеми екології в Україні розглядаються по-різному, залежно як від рівня висвітлення цієї проблематики, так і від їхньої безпосередньої значущості для конкретних соціальних груп, спільнот людей і народів.

Українське громадянське суспільство та державні інституції мають активно працювати над тим аби про злочини Російської Федерації (зокрема щодо нанесення значної шкоди природним масивам і всьому довкіл्लю) світова спільнота була поінформована в максимальних обсягах. Хоча в багатьох містах світу досі проходять акції на підтримку України, збирається допомога для громадян та українських сил оборони, спостерігаємо недостатній рівень залученості світових представників наукової еліти в сфері захисту довкілля, кліматичних змін тощо.

Експерт з комунікацій Іветта Делікатна зазначає, що в Міндовкілля також повідомляють про роботу із західними партнерами, які допоможуть у фіксації наслідків та відбудови. Серед останніх можна виділити угоди з Польщею, Італією, Швейцарією, Румунією, Чехією. Крім того, у Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів України звертають увагу на приєднання до програми LIFE, яка допоможе країні фінансувати проекти розвитку довкілля ще до вступу в Євросоюз [8].

Важливо комунікаційне завдання для України полягає в тому аби проблеми та потреби мінімізації шкоди довкіллю та природним ресурсам розуміли не лише уряди світових держав, а й пересічні громадяни.

Іветта Делікатна зазначає: «Якщо ми хочемо бути більш близькими та зрозумілими – варто говорити про вплив війни на клімат, глобальне потепління, забруднення повітря. Це те, що близько, про що звикли чути і над вирішенням яких проблем працюють мешканці Заходу» [8].

Також на думку авторів питання руйнування та забруднення природи може бути одним із плацдармів для побудови діалогу з країнами, з якими Україна має поки що слабкі дипломатичні відносини, оскільки збереження природи є загальнолюдською проблемою й має вирішуватись світовим співтовариством у тісній співпраці.

3. Міжнародні аспекти проблематики.

Також на думку авторів важливим аспектом проведеного дослідження є висвітлення та ретроспектива **домовленостей зі стратегічними партнерами України** стосовно допомоги країні в *економічній і гуманітарній* сферах та зокрема в подоланні *екологічних* наслідків російської воєнної агресії.

Україна продовжує розвивати свої стратегічні партнерства в економічній, гуманітарній і екологічній сферах у 2022-23 роках. У гуманітарній та екологічній сферах Україна співпрацює з численними міжнародними організаціями, такими як ООН, Європейський Союз та Рада Європи, а також НАТО.

Починаючи з 2014 року внаслідок війни в Україні в рамках програми «Наука заради миру і безпеки» (НМБ) було активізовано багатовекторну співпрацю. Пріоритетними галузями співробітництва з Україною в рамках програми НМБ є такі:

- передові технології;
- боротьба з тероризмом;
- захист від хімічних, біологічних, радіоактивних та ядерних (ХБРЯ) речовин;
- енергетична безпека;
- безпека довкілля.

Варто особливо відзначити внесок України до програми «DEXTER» під егідою НМБ, спрямованої на розробку інтегрованої системи виявлення вибухівки і вогнепальної зброї у громадських місцях [9].

Європейська Комісія допоможе в процесах моніторингу стану довкілля і екологічних наслідків від війни на основі супутникових даних системи Copernicus – лісові пожежі, незаконні вирубки лісу, забруднення ґрунтів, якість повітря, екологічний стан моря, радіаційний моніторинг. Попередньо є домовленість про підключення України до програми ЄС із захисту довкілля LIFE. Для України реалізація проєктів у рамках програми LIFE може стати ефективним методом подолання наслідків військових дій росії на територіях природно-заповідного фонду: відновлення та збереження біорізноманіття, природоохоронних територій та природних екосистем України у цілому. З 1992 року LIFE співфінансувала понад 5000 проєктів. На 2021-2027 роки загальний бюджет LIFE становить 5,43 мільярда євро. [10]

Важливим внеском у майбутнє відновлення довкілля стала Ukraine Recovery Conference, яка відбулася 4-5 липня 2022 року у швейцарському Лугано. На конференції було заплановано реалізацію проєкту «Відбудова чистого та захищеного середовища». В межах проєкту планують втілити 76 природоохоронних ініціатив на 25,5 млрд євро. Практичними результатами реалізації програми мають стати: будівництво понад 100 сучасних об'єктів управління відходами, 10 національних парків, організованих за стандартами ЄС, 9 лісонасіннєвих центрів з вирощування саджанців дерев та ін. [11].

4. Пропозиції щодо подолання екологічної кризи.

Міністр захисту довкілля та природних ресурсів України Руслан Стрілець, зазначає що екологічні наслідки воєнної агресії РФ проти України торкнуться не тільки її, але і всіх інших країн [4]. Екосистеми не можуть існувати відірвано від інших загальносвітових процесів та не обмежуються кордонами країни. РФ веде бойові дії на заповідних територіях міжнародного та європейського значення, чим знищує середовища існування рідкісних і ендемічних видів та оселищ. Це може змінити поведінку птахів, включаючи їх міграцію. Знищення та пошкодження лісів позначається на кліматі та може призвести до значних ерозійних процесів. Зокрема, на півдні України наслідками можуть бути вітрова ерозія та опустелювання. Це, звичайно, вплине на сільське господарство що може спричинити продуктову кризу. Під час детонації ракет та снарядів утворюється низка хімічних сполук – чадний газ, бурий газ, діоксид азоту, формальдегід тощо. Під час вибуху всі речовини проходять повне окиснення, а продукти хімічної реакції вивільняються в атмосферу. При цьому забруднене повітря не має кордонів. Викиди в атмосферне повітря, що були спричинені воєнною агресією РФ на території України, переносяться, осідають та мають вплив на території інших держав, іноді на відстані в тисячі кілометрів. Відновлення потребуватиме десятків років.

Створення ефективної системи моніторингу якості води, повітря, ґрунту та всебічне дослідження наслідків, які, як можна побачити, відбуваються не тільки на території України, допоможе фіксувати прогрес поліпшення екологічного стану у післявоєнний час.

Для привернення уваги світової спільноти на екологічні проблеми можуть бути використані такі методи:

- організація профільних конференцій;
- формування наукової бази за допомогою статей, монографій та інфографік для концентрації уваги на цій проблематиці профільних науковців з розвинених країн світу;

- залучення зірок кінематографа до зйомок документальних фільмів;
- створення та поширення соціальної реклами, зокрема відеороликів, із простим меседжами для населення різних країн світу для привернення уваги до досліджуваної проблематики;
- створення відповідних петицій всесвітнього рівня та позовів до міжнародних юридичних інституцій із доказовою базою екологічних злочинів РФ.

Висновки

Перед Україною стоїть комплексна та багатокомпонентна екологічна проблема, яка є наслідком збройної агресії РФ. Зазначена проблема прямо та опосередковано зачіпає як власне українські інтереси, так і інтереси європейського і всього світового співтовариства у багатьох сферах. Ліквідація цих наслідків є складним і довготривалим завданням, до виконання якого, безумовно, мають бути залучені ресурси та інструменти, як власні українські, так і країн-партнерів і світових профільних організацій. Має бути залучений увесь світовий практичний досвід подолання таких кризових екологічних ситуацій і налагоджена конкретна системна політика відновлення довкілля. На думку авторів, таку проблему можливо подолати лише імплементуючи такі ключові аспекти:

1. Створення та розвиток автоматичної системи екомоніторингу.
2. Привернення уваги світової спільноти до екологічних проблем, які є наслідком воєнної агресії РФ.
3. Створення відповідних петицій всесвітнього рівня та позовів до міжнародних юридичних інституцій із доказовою базою екологічних злочинів РФ.
4. Залучення коштів від країн партнерів на подолання цих наслідків.
5. Створення дієвих інструментів та формування системної політики ліквідації наслідків забруднення довкілля та знищення українських природних багатств.

Україна продовжує розвивати свої стратегічні партнерства в економічній, гуманітарній і екологічній сферах у 2022-2023 роках, співпрацюючи з численними країнами-партнерами та міжнародними організаціями для досягнення своїх стратегічних цілей.

Список використаних джерел

1. Перга Т. Ю. Екологічні наслідки війни Росії проти України. URL: <https://ivinas.gov.ua/viina-rf-proty-ukrainy/ekologichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html> (дата звернення: 24.02.2023).
2. Костюк Д. Екологічні наслідки війни в Україні: що пишуть світові ЗМІ. URL: <https://eco.rayon.in.ua/blogs/551461-ekologichni-naslidki-viyni-v-ukraini-shcho-pishut-svitovi-zmi> (дата звернення: 22.02.2023).
3. Публічний звіт т.в.о Голови Державної екологічної інспекції України за 2022 рік. URL: <https://dei.gov.ua/post/2515> (дата звернення: 11.03.2023).
4. The war has devastated Ukraine's environment, too. URL: <https://www.economist.com/europe/2023/01/12/the-war-has-devastated-ukraines-environment-too> (дата звернення: 12.03.2023).
5. У Міндовкіллі підрахували, що війна завдала надрам України збитків на \$10 трильйонів. URL: <https://news.pn/uk/RussiaInvadedUkraine/288496> (дата звернення: 12.03.2023).
6. Damage to settlements. URL: <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2022/06/Cities1.pdf> (дата звернення: 12.03.2023).
7. Інтерактивна мапа екологічних наслідків та ризиків бойових дій в Україні. URL: <https://ecodozor.org/index.php?lang=en> (дата звернення: 13.03.2023).
8. Делікатна І. Україна, війна, довкілля. Чи знає Захід про екологічні наслідки війни. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/09/8/691294/> (дата звернення: 20.03.2023).
9. Відносини з Україною. URL: https://www.nato.int/cps/uk/natohq/topics_37750.htm (дата звернення: 21.03.2023).
10. Міндовкілля: Україна отримує доступ до європейських програм LIFE та Copernicus. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillya-ukrayina-otrimaye-dostup-do-yevropejskih-program-life-ta-copernicus> (дата звернення: 22.03.2023).
11. Прощук Е. Екологічні реформи України на шляху до ЄС. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/08/10/690226/> (дата звернення: 24.03.2023).

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.03

Андрєєв В'ячеслав Іванович

кандидат технічних наук., доцент кафедри екології
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1143-8043>

Случак Олександр Ігорович

старший науковий співробітник Науково-дослідної частини,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5051-0648>

Случак Олена Ігорівна

аспірантка кафедри екології
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4065-7707>

ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПЛОЩАХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

В статті розглянуто енергетичний еквівалент потреб в посівних площах для забезпечення продовольчої безпеки України. Визначено, що інтеграція до WFE-стратегій продовольчої політики потребує всесторонньої оцінки енергетичної складової виробництва сільгосппродукції відносно площ орних земель, що включатиме і продуктивність основних культур в аспекті перетворення сонячної енергії на калорійність продовольства. Створено методологію та розраховано ККД перетворення сонячної енергії в товарну енергетичну цінність продукції продуктової кошика: 0,15-0,8% для зернових та овочів, 0,042-0,054% для м'яса, 0,015-0,035% для напоїв і спецій, 0,12% для молочних виробів, 0,37-0,93% для яєць. Загальний ККД споживання сонячної енергії людиною через харчовий ланцюг становить 0,22%. Для забезпечення цих потреб необхідно 1831,3 м² на які за вегетаційний період надходить 545,8 МВт сонячної енергії. Визначено, що коливання урожайності основних культур є синусоїдами і їх застосування в моделюванні потреби посівних площ дозволить в перспективі розробити динамічну модель керування пільгами та квотами для стимулювання покриття можливого дефіциту певних основних продуктів. Також оцінено обсяг енергії, що може бути без впливу на врожайність відібраний відновлюваною енергетикою при застосуванні мобільних конфігурацій її розміщення (або навпаки направлено на штучне освітлення врожаю під стаціонарними системами). Як результат, отримано базові показники, на які можна спиратись при розробці стратегії продовольчої безпеки міст, а також визначено, що стандартна при будинкова ділянка в 0,25 га повністю покриває потреби однієї людини з залишком.

Ключові слова: орні землі; продовольча безпека; WFE-стратегія; ККД фотосинтезу; урожайність; продовольчий кошик; енергетика екосистеми.

ENVIRONMENTAL AND ENERGY JUSTIFICATION OF THE NEED FOR AGRICULTURAL AREAS TO ENSURE FOOD SECURITY OF UKRAINE

The article examines the energy equivalent of the needs in cultivated areas to ensure food security of Ukraine. It was determined that integration into WFE-strategies of food policy requires a comprehensive assessment of the energy component of agricultural production relative to the area of arable land, which will include the productivity of the main crops in the aspect of converting solar energy into food calories. A methodology was created and the efficiency of converting solar energy into the commodity energy value of the products of the grocery basket was calculated: 0.15-0.8% for cereals and vegetables, 0.042-0.054% for meat, 0.015-0.035% for drinks and spices, 0.12 % for dairy products, 0.37-0.93% for eggs. The overall efficiency of human consumption of solar energy through the food chain is 0.22%. To meet these needs, 1,831.3 m² is needed, which receives 545.8 MW of solar energy during the growing season. It was determined that the yield fluctuations of the main crops are sinusoidal and their use in modeling the need for sowing areas will in the future allow to develop a dynamic model of management of benefits and quotas to stimulate the coverage of a possible shortage of certain main products. Also estimated is the amount of energy that can be used without affecting the yield by renewable energy when using a mobile configuration of its placement (or, on the contrary, directed to artificial lighting of the crop under stationary systems). As a result, basic indicators were obtained, which can be relied upon when developing a food

security strategy for cities, and it was also determined that a standard household plot of 0.25 hectares fully covers the needs of one person with a surplus.

Keywords: arable land; food safety; WFE strategy; Efficiency of photosynthesis; crop capacity; food basket; ecosystem energy.

Вступ. Продовольча безпека є одним з ключових елементів розвитку людства. Постійний ріст населення, що вже сягнуло 8 млрд, змушує задуматись над тим, чи вистачить продовольства для забезпечення базових потреб кожного.

В даному аспекті особливо важливими лишаються: ефективність фотосинтезу продовольчих культур; потреба в посівних площах на душу населення при існуючій урожайності; конфігурація споживчого кошика і продовольча культура споживання; способи підвищення ефективності забезпечення продовольством.

В даному дослідженні питання ефективності сільського господарства та потреб людини за продовольчою корзиною розглянуто з точки зору енергетичного балансу з визначенням ККД отримання харчової продукції першої ланки (рослинна їжа) та другої (м'ясо після перерахунку через норми кормів).

В основі розрахунків лежать дані про склад продуктової корзини, урожайність культур, що в ній задіяні, прихід сонячної енергії на одиницю площі поля, відсоток маси урожаю від маси всієї рослини, енергію, що витрачається на обробку урожаю, норми годівлі свійських тварин на одиницю маси та ряд інших факторів.

Для автоматизації необхідно максимально наблизити отримуваний ресурс до вказаного в нормах. Це дозволить дізнатись яка площа сільськогосподарських земель потрібна для прогодування однієї людини, ККД фотосинтезу ряду основних рослин, та оцінити реальність автономної системи самозабезпечення в надзвичайних ситуаціях для домогосподарства з огородньою ділянкою в 25 соток.

Крім того, врахування динамічної моделі урожайності основних культур дозволить розробити прогноз коливань потреб в сільськогосподарських площах, та оцінити можливості гідропоніки в автономному забезпеченні міст в умовах надзвичайних ситуацій.

Постановка проблеми. В світовій практиці оцінка проблематики потреб в посівних площах тісно пов'язана з кліматичною політикою та моделлю WEF (water-energy-food) [1]. Це особливо важливо в рамках продовольчої політики ООН щодо Африки та інших регіонів з недостатньою урожайністю для самозабезпечення [2].

В дослідженні [3], автори чітко демонструють, що хоча проблема такого характеру для Європи, і зокрема одного з регіонів Італії – Сардинії не стоїть, але кількість площ, що припадає на виробництво пшениці, м'яса та молока за останні 50 років скоротилась з 6 тис м² до 5 тис м² на душу населення при загальних площах сільськогосподарських земель близько 0,7 га на людину. Це об'єктивно свідчить про дві речі: підвищення продуктивності сільгоспвиробництва та займання частини площ під інші потреби (зокрема відновлювану енергетику).

Автори [4] вказують на те, що на душу населення для забезпечення продовольчої безпеки припадає біля 0,1 га в країнах, що розвиваються та 0,03 га в розвинених країнах. Така велика різниця не може бути обумовлена урожайністю, а тому очевидно прив'язана до реальної статистики структури землекористування, без врахування експорту та імпорту.

До такої структури, зокрема, не відносять площі акваторії та прісних водойм, відведені під рибицтво [5], так як аквакультура вносить все більш суттєвий вклад в продовольчу безпеку людства. До того ж, нормативи посадки та споживання продовольства у ставовому господарстві є меншими, ніж для м'ясних ферм [6].

Варто, також враховувати площі, зайняті під енергетичні культури [7] та біомасу [8]. Біоенергетика поступово розширює свій вклад в загальну структуру енергоспоживання Європи, що неминуче міняє її в світовому масштабі. Знаходження балансу між продовольчим, енергетичними культурами, та площами, зайнятими під фотоселектричні і вітрові системи [9] є одним з основних завдань WEF-логістики найближчого майбутнього.

Особливо важливим це виглядає при розробці в майбутньому заходів з одночасного використання цих площ при застосуванні вітряків та СЕС повітряного базування, що даватимуть часткове затінення, або відведенні частини енергії СЕС для штучного освітлення площ під ними.

Мета та методи дослідження. Метою дослідження є розробка еколого-енергетичного обґрунтування потреби в площах сільськогосподарських земель для забезпечення продовольчої безпеки України.

Об'єкт дослідження: Енергетичний еквівалент урожайності основних продовольчих культур та ефективність перетворення кормів в живу масу худоби.

Предмет дослідження: Потреба в сільськогосподарських землях для забезпечення базових потреб людини за харчовою корзиною України.

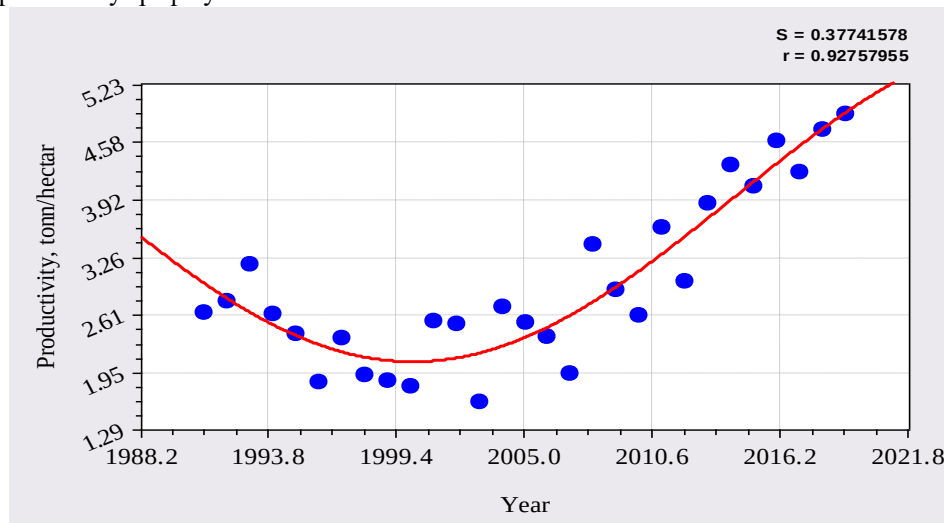
Основні завдання дослідження:

1. Оцінити потребу в посівних площах на душу населення за середньою урожайністю та коливання урожайності основних продуктів харчової корзини;
2. Визначити ККД фотосинтезу для продукції основних продовольчих культур за енергетичним еквівалентом приходу енергії сонця;
3. Визначити ККД вторинного перетворення енергії через корми в інші продукти харчової корзини та відповідно, потребу в них.

В основі дослідження є побудова моделі приходу сонячної енергії та перетворення її на харчову продукцію в первинній ланці, а також через корми в вторинній ланці сільгоспвиробництва. Для цього використано статистику Укрстату [10], створену раніше модель приходу сонячної енергії на одиницю площі [11] та нормативні акти щодо продовольчого кошику [12].

Результати дослідження. Для початку треба перевести всі готові продукти в їх складові: хліб це 0,8 кг муки на кілограм, а також 0,0048 кг дріжджів, 0,0144 кг солі, 0,0192 кг рослинної олії. При цьому 0,8 кг муки виходить з 1 кг пшениці, а з 1 кг соняшнику можна отримати 0,44 кг олії, що дає 0,044 кг насіння соняшнику на кг хліба. А також 1,32 кВт електроенергії, що за ККД хлібопічки 0,8 становитиме 1,65 кВт тепла.

Урожайність пшениці (Рис 1) в середньому становила 4,65 т/га. В випадку з пшеницею (Рис 1) ми отримуємо синусоїду з дуже великим періодом коливань (28 років між максимумом та мінімумом), тому без додаткової статистичної інформації складно гарантувати що це саме синусоїда, а не квадратична функція, яка знаходилась на 2 місці. Проте, звичайна логіка вказує на обмеженість ємності середовища, а тому неможливість необмеженого росту по квадратичному графіку.



Отримана функція (1) має медіану на рівні 4,65 т/га, що застосована в розрахунках. Сама ж функція дозволяє отримати динамічну модель.

$$P_{\text{wheat}} = 3,93 + 1,86\cos(0,11Y - 1,36) \quad (1)$$

Це означає, що на один кг пшениці припадає площа 2,15 м², а на один кг соняшнику при урожайності 2,31 т/га площа становитиме 4,33 м². За нормами споживацької корзини на одну працездатну людину на рік припадає 62 кг хлібу пшеничного та 9,4 кг пшеничної муки. Крім того для отримання 1,19 кг олії з виходом 0,35 маси, потрібно 3,4 кг соняшнику, або 13,5 м². Також на закладені в корзині 4 кг макарон потрібно 5,18 кг пшениці (1,036 кг муки на кг макарон), що потребує для росту 2,41 м². Крім того в нормах закладено 39 кг житнього хліба, що потребує 0,6 кг житньої муки та 0,4 кг пшеничної на кг. Тобто на пшеницю для житнього хліба потрібно буде 15,6 кг пшениці або м². При перемелюванні вихід муки з жита 75%, тому на 23,4 кг житньої муки буде потрібно 31,2 кг жита, тобто 2,94 м²/кг дає 10,6 м².

Такі ж розрахунки для кожної з основних культур продовольчого кошику наведено в таблиці 1:

Таблиця 1

Потреба в площі для основних продовольчих культур продуктового кошика

Продукт	Урожайність, т/га	Площа м ² на кг	Потреба за прод. Корзиною, кг	Загально потрібно, м ²
Пшениця на хліб	4,65	2,15	62	133,3
Пшениця на макарони	4,65	2,25	4	8,6
Пшениця на муку	4,65	2,15	9,4	20,21
Пшениця на житній хліб	4,65	2,15	15,6	33,54
Соняшник на олію для пшен., хліба	2,52	3,97	3,4	13,5

Продовження таблиці 1

Соняшник на олію для житн. хліба.	2,52	3,97	2,14	8,49
Жито	3,8	2,94	39	10,6
Рис	6,2	1,61	2,5	4,03
Просо	5	2	1	2
Гречка	1,32	7,58	2	15,15
Овес	2,6	3,85	1,1	4,23
Ячмінь	3,51	2,85	0,5	1,425
Бобові	2,5	4	1,9	7,6
Картопля	20	0,5	95	47,5
Капуста	50	0,2	28	5,6
Томати та огірки	40	0,25	25	6,25
Морква	19,52	0,51	9	4,59
Бурак	46	0,22	9	1,96
Часник	8	1,25	0,9	1,125
Кабачки	20	0,5	13	7,5
Бахчеві	40	0,25	16	4
Ягоди (журавлина)	20	0,5	60	30
Сухофрукти (яб-лука)	20	0,5	4 (40)	20
Соняшникова олія	2,52	3,97	7,1(20,29)	80,53
Чай	1,3	7,69	0,4	3,08
Кава	0,6	16,7	0,5	8,33
Спеції (базилік)	4	2,5	0,3	0,75

Враховуючи розроблений нами графік (рис 2.) приходу сонячної енергії, калорійність, урожайність, а також вегетаційний період кожної з вказаних рослин, ми можемо розрахувати їх корисний ККД (тобто ту частину сонячної енергії, яка переходить в біомасу).

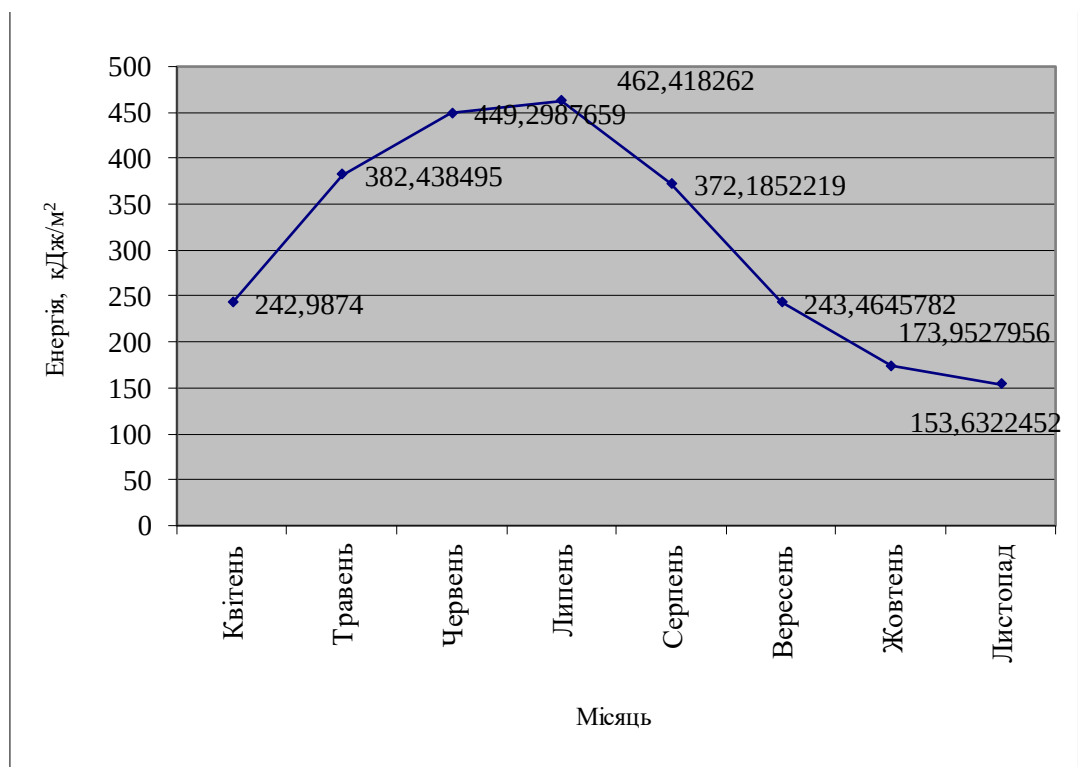


Рис 2. Помісячний прихід енергії сонця всередньому для України (Дж/м²)

Зокрема прихід енергії на кг маси розраховуватиметься за формулою (2):

$$E = E_{\omega} \cdot T \cdot S_m, \quad (2)$$

Де T – середня тривалість світлового дня в вегетаційний період 13,05 год, E_{ω} – середній прихід енергії 210,5 Вт/м², S_m – питома площа м² на кг маси продукту.

При розрахунку ККД продуктивності урожаю (Табл. 2), ми спираємось на отримані дані по приходу енергії за вегетаційний сезон, розраховані за рис 2, та калорійність кожного з зазначених продуктів, за нормами продовольчого кошика [12].

Таблиця 2

ККД продуктивного врожаю

Продукт	Урожайність, т/га	Калорійність, ккал/100 г	Прихід енергії Вт/кг маси	ККД, %
Пшениця	4,65	198	708732,45	0,325
Соняшник	2,52	379	1199625,82	0,367
Жито	3,8	287	2099825,91	0,159
Рис	6,2	335	486498,13	0,8
Просо	5	298	549405	0,63
Гречка	1,32	343	1457571,47	0,27
Овес	2,6	316	846083,7	0,43
Ячмінь	3,51	354	861192,338	0,48
Бобові	2,5	343	1098810	0,36
Картопля	20	88	151086,375	0,68
Капуста	50	24,6	71422,65	0,4
Томати та огірки	40	17,7	65241,8438	0,32
Морква	19,52	41,3	84058,965	0,57
Буряк	46	43	72521,46	0,69
Часник	8	130	377715,938	0,4
Кабачки	20	16,5	82410,75	0,23
Бахчеві	40	30,4	109881	0,32
Ягоди (журавлина)	20	28	192291,75	0,17
Сухофрукти (яблука)	20	52,1	293931,675	0,21
Чай	1,3	140,9	4647416,9	0,035
Кава	0,6	200	16744490,9	0,014
Спеції (базилік)	4	22,5	1098810	0,024

Означені розрахунки дають нам загальну потребу в площі 483,89 м² та прихід енергії 168637258,2 Вт.

Крім безпосередньо рослинної їжі в харчовій корзині присутні вторинні тваринні продукти, енергоефективність яких можна розрахувати на основі ефективності перетворення кормів в масу. Так норма в 220 яєць на рік, в цілому, задовольняється однією куркою, якій на рік потрібно 40 кг зернових в співвідношенні (16 кг пшениці, 8 кг ячменю, 6 кг вівса, 3 кг бобових та стільки ж суміші крейди або кісткового м'яса, 7 кг іншого (морква) та 16 кг зелені. Відповідно отримуємо такі затрати (Табл. 3):

Таблиця 3

Потреби в посівних площах для кормів курей

Продукт	Урожайність, т/га	Площа м ² на кг	Потреба за прод. Корзиною, кг	Загально потрібно, м ²	Надходження енергії, Вт
Пшениця на корм курей (яйце)	4,65	2,15	16	34,4	15332862,6
Ячмінь на корм курей (яйце)	3,51	2,85	8	22,8	831475,3
Овес на корм курей (яйце)	2,6	3,85	6	23,1	7488142,2
Бобові на корм курей (яйце)	2,5	4	3	12	6321159
Морква на корм курей (яйце)	19,52	0,51	7	3,57	588412,755
Люцерна на корм курей (яйце)	58	0,17	16	2,76	1342030,68

Загалом отримуємо 98,63 м² та 31909082,5 Вт сонячної енергії на 220 яєць, або 145018,6 Вт на яйце. З калорійністю 155,1 ккал на 10 г 30-75 г, ми маємо ККД перетворення енергії 0,37-0,93%.

Норма маргарину 2 кг на рік, 39% якого складає олія, це означає що на його виробництво піде 2,23 кг ріпакового чи соняшникового зерна, а це додаткова потреба в 8,85 м².

На виробництво 60 л молока в однієї корови йде 2 дні, що означає, що розрахунок ведеться по кормам, але з поправкою на те, що з 300 днів лактації на одну людину вистачає еквіваленту двох, тобто 0,0067 одна корова може забезпечити молоком 149 чоловік. Середня корова важить 720 кг, добова норма годування на 100 кг маси 3 кг концентратів (зернові 1,5 кг пшениці, по 0,5 ячменю, бобових та вівса), 10 кг зелені та коренеплодів (8 та 2 відповідно). Це означає 21,6 кг пшениці по 7,2 кг ячменю, бобових та вівса, 16 кг люцерни та 4 кг моркви на річний молочний раціон однієї людини (Табл. 4).

Таблиця 4

Потреби в посівних площах для кормів корів

Продукт	Урожайність, т/га	Площа м ² на кг	Потреба за прод. Корзиною, кг	Загально потрібно, м ²	Надходження енергії, Вт
Пшениця на корм корові (молоко)	4,65	2,15	21,6	46,44	15308620,9
Ячмінь на корм корові (молоко)	3,51	2,85	7,2	20,52	6200584,83
Овес на корм корові (молоко)	2,6	3,85	7,2	27,72	6091802,64
Бобові на корм корові (молоко)	2,5	4	7,2	28,8	7120288,8
Морква на корм корові (молоко)	19,52	0,51	4	2,04	336235,86
Люцерна на корм корові (молоко)	58	0,17	16	2,76	1342030,68

Відповідно ми отримуємо потребу в 128,8 м² та прихід 36399563,71 Вт енергії на 60 л молока (606659,395 Вт/л), калорійністю 64 ккал на 100 г, що дає ККД перетворення 0,12%.

Для 60 кг величини становитимуть 0,99 від таких для молока, але враховуючи, що ми оперуємо цілими числами в плані днів, то варто знехтувати 1% різниці, а ККД вказати як ті самі 12%.

Сир м'який, що в споживчому кошику вказаний в обсязі 10 кг становить 0,3 від маси молока, що означає, що для обчислення тих же величин по сиру достатньо всі величини домножити на 0,56. Це дає нам потребу в 71,84 м² площі та прихід 17866286,2 Вт енергії. Для обчислення тих же величин для сметани домножимо всі величини на 0,83, це дає потребу в та 106,5 м² площі та прихід 26480388,5 Вт енергії. Те саме для масла, що отримується шляхом збивання сметани. Проте, варто враховувати, що молоко, з якого було видалено сметану може бути застосованим для отримання сиру та сироватки, що дозволяє накладати затрати, щоб не рахувати їх окремо. З розрахунками для твердого сиру ми застосовуємо коефіцієнт 0,58 розрахований на основі того, що 3,5 кг становить 0,0058 від 60 кг молока, а коефіцієнт перетворення сиру 1 до 10. Отримуємо 74,4 м² площі та 18504367,9 Вт енергії.

Останніми лишаються розрахунки по м'ясній продукції тваринництва.

Використаємо дані всесвітньої продовольчої програми та визначимо, що один кілограм кормів перетворюється в 0,1 кг яловичини, або 0,3 кг свинини, або 0,5 кг курятини. Таким чином для отримання зазначених в продуктивній корзині 16 кг яловичини потрібно 160 кг кормів, для 8 кг свинини 26,7 кг кормів, плюс додамо ще 6,675 для 2 кг сала, для 14 кг курятини 28 кг кормів та ще 8 кг для 4 кг субпродуктів. Знаючи пропорцію кормів для курятини, ми отримуємо 0,5 від значень для прогодування на виробництво яєць та ще 0,14 для субпродуктів і ще 0,32 для ковбасних виробів. Сумарно це дає 87,03 м² та 38792142,38 Вт для пшениці, 57,68 м² та 2103632,509 Вт для ячменя, 58,443 м² та 18944999,77 Вт для вівса, 30,36 м² та 15992532,27 Вт для бобових, 9,03 м² та 1488684,27 Вт для моркви, 6,98 м² та 3395337,62 м² для люцерни. Сумарно це 249,53 м² та 80717328,81 Вт енергії, що за калорійності курятини 239 ккал на 10 г дає ККД перетворення енергії 0,054%.

Знаючи пропорцію кормів для молочних порід корів, ми отримуємо 2,53 від зазначених значень. Це 117,5 м² та 38730810,88 Вт для пшениці, 51,92 м² та 15687479,62 Вт для ячменю, 70,13 м² та 15412260,68 Вт для вівса, 72,86 м² та 18014330,66 Вт для бобових, 5,16 м² та 850676,73 Вт для моркви, 6,98 м² та 3395337,62 Вт для зелені. Тобто сумарно 324,5 м² та 92090896,19 Вт, що за калорійності 250,5 ккал на 10 г дає ККД перетворення 0,049%.

Для свинини потрібен окремий розрахунок. Так, за типовою схемою в селах Миколаївщини до раціону свиней додають пшеницю, ячмінь та зелень в пропорції 2:1:4, доповнюючи це відходами в вигляді очисток овочів.

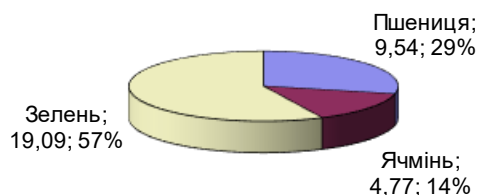


Рис 3. Структура споживання кормів свинями на 1 кг маси

Це означає, що на 33,4 кг кормів буде припадати 9,54 кг пшениці (20,5 м², 6197865,28 Вт енергії), 4,77 кг ячменю (13,6 м² та 3360998,82 Вт енергії) та 19,09 кг зелені (3,25 м² та 1069790,43 Вт). Загалом це 37,35 м² та 10628654,5 Вт енергії. За калорійності в 380 (8 до 1 м'ясо з калорійністю 250 та сало з калорійністю 900) ккал на 100 г ми отримуємо ККД перетворення енергії 0,042%.

Окремим пунктом йде риба та морепродукти, що на рік становить 13 кг, що потребує водойму площею 13 м² та дає вихід маси 1 до 4 відносно внесених кормів, тобто потрібно 52 кг кому, для якого застосовується соняшниковий шрот та залишки висівків після перемелювання муки [6], тому додаткової потреби в площі для вирощування кормів немає.

Відповідно ми отримуємо потребу в 1831,3 м² на людину та загальну витрату енергії сонця на прогодування однієї людини в 545,8 МВт на рік. Це всього лише 0,18 гектара. Так як нормативно це 2790 калорій на день, ми маємо ККД перетворення сонячної енергії в калорійність їжі 0,22%.

Обговорення. Проведені дослідження дозволили скласти загальне уявлення про енергоємність людського організму в харчовому ланцюзі сільгоспвиробництва для України. Використовуючи модель (1) та подібні ж моделі для інших сільгоспкультур, ми можемо створити прогноз коливань таких потреб в посівних площах, що дозволить мобільно резервувати їх та здійснювати інтелектуальне управління стимулами для посівів тих чи інших культур у вигляді квот при плануванні бюджету кожного року.

Крім того, спираючись на енергоємність та ККД фотосинтезу та сонячної енергетики ми можемо створити динамічну модель відбору сонячної енергії через часткове затінення, що дозволило б співіснувати сонячним батареям з рослинами. Так середня норма відбору енергії становить біля 46%, що майже зрівнює споживання рослинами та енергетикою.

В подальшому планується розробка динамічної моделі поєднання відновлюваної енергетики та сільгоспвиробництва в рамках WEF-логістики для надзвичайних ситуацій.

Внесок авторів:

Андрєєв В.І.: Пошук та аналіз наукових джерел, загальне керівництво, формулювання теми.

Случак О.І.: Формулювання мети, завдань та основної концепції роботи, математичне моделювання;

Случак О.І.: Оформлення статті, перевірка адекватності моделей, формулювання перспектив дослідження.

Висновки. Таким чином, було проведено математичне моделювання ефективності перетворення сонячної енергії в продукцію сільського господарства.

Оцінено потребу в посівних площах для повного продовольчого забезпечення за продуктовою корзиною України.

Визначено, що на забезпечення однієї людини нормативно в 2790 ккал на добу потрібно близько 545,8 Мвт сонячної енергії на рік, що в еквіваленті посівних площ в наших широтах становить 0,18 гектара з ККД перетворення енергії в калорійність їжі в 0,22%.

Список використаних джерел

- Herrera-Franco, G., Bollmann, H. A., Lofhagen, J. C. P., Bravo-Montero, L., & Carrión-Mero, P. (2023). Approach on water-energy-food (WEF) nexus and climate change: A tool in decision-making processes. *Environmental Development*, 100858. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100858>
- Muhirwa, F., Shen, L., Elshkaki, A., Chiaka, J. C., Zhong, S., Bönecke, E., Hirwa, H., Seka, A. M., Habiyaakare, T., Tuyishimire, A., & Harerimana, B. (2023). Alert in the dynamics of water-energy-food production in African countries from a nexus perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 106990. <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2023.106990>
- Lombardi, G. V., Atzori, R., Acciaioli, A., Giannetti, B., Parrini, S., & Liu, G. (2019). Agricultural landscape modification and land food footprint from 1970 to 2010: A case study of Sardinia, Italy. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118097>

4. Zhen, L., Cao, S., Cheng, S., Xie, G., Wei, Y., Liu, X., & Li, F. (2010). Arable land requirements based on food consumption patterns: Case study in rural Guyuan District, Western China. *Ecological Economics*, 69(7), 1443-1453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.008>
5. Bosma, R. H., & Verdegem, M. C. J. (2011). Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livestock Science*, 139(1-2), 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.017>
6. Andryushchenko, A. I., & Alimov, S. I. (2008). *Stavove rybnytvo*. Kyiv: NAU. Retrieved from <https://uteka.ua/ua/publication/agro-4-gospodarski-operacii-v-agro-sektori-35-praktichni-rekomendacii-shhodo-zaribleniya-viroshhuvalnix-staviv>
7. Miyamoto, K. (1997). Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production. *FAO Agricultural Services Bulletin* (Issue 128). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/3/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1>
8. Sonnino, A. (1994). Agricultural biomass production is an energy option for the future. *Renewable Energy*, 5(5-8), 857-865. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90105-8](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90105-8)
9. Bao, K., Thrän, D., & Schröter, B. (2023). Land resource allocation between biomass and ground-mounted PV under consideration of the food–water–energy nexus framework at regional scale. *Renewable Energy*, 203, 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.027>
10. Ukrstat. (2021). Plantation. Sown areas for the harvest of 1991-2020. Official website of the State Statistics Service. Retrieved from ukrstat.gov.ua
11. Andreev, V., Sluchak, O., Sluchak, O., Alekseeva, A., & Krysinska, D. (2022). Development of a methodology for modeling the state of the water ecosystem based on the methods of ecological stoichiometry, taking into account the energy approach. *Herald of Khmelnytskyi National University*, (315), 10-23. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-315-6-10-23.
12. Verkhovna Rada of Ukraine. (2011). On adoption as a basis of the draft Law of Ukraine on Food security of Ukraine: resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine dated 14.06.2011 No. 3498 -VI. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3498-17>

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.04

Григор'єва Людмила Іванівна

професор, доктор біологічних наук,
завідувач кафедри екології Навчально-наукового медичного інституту
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0001-9452-2982

Буровицька Юлія Миколаївна

аспірантка кафедри екології,
Чорноморський Національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0009-0009-5260-1151

КАНЦЕРОГЕННІ РИЗИКИ ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД ТЕХНОГЕННО-ПІДСИЛЕНИХ ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

У статті висвітлено матеріали власних досліджень щодо оцінки канцерогенного ризику від техногенно-підсилених природних джерел іонізуючого випромінювання. Дослідження виконано для Миколаївщини, геологічні особливості на півночі якої сприяють підвищеному навантаженню на населення від природних джерел іонізуючого випромінювання. У дослідженні використано матеріали відомих радіоекологічних і дозиметричних досліджень на Миколаївщині.

Підтверджено наявність канцерогенного ризику від джерел іонізуючого випромінювання, які зустрічаються у повсякденному житті людини. Визначено та проаналізовано показники онкозахворюваності та смертності серед населення з різних регіонів Миколаївської області, які відрізняються величиною дозового навантаження на населення від природної та штучної радіації. Існує різниця у середньорічних темпах приросту онкозахворюваності і смертності від неї для регіонів з різним рівнем навантаження на людину від техногенно-підсилених джерел іонізуючого випромінювання природного походження.

Ключові слова: канцерогенний ризик, опромінення, джерела іонізуючого випромінювання.

CARCINOGENIC RISKS FOR THE POPULATION OF MYKOLAIV REGION FROM TECHNOGENICALLY ENHANCED NATURAL SOURCES OF IONIZING RADIATION

The article highlights the materials of our own research on the assessment of carcinogenic risk from technogenically enhanced natural sources of ionising radiation. The study was carried out for the Mykolaiv region, whose geological features in the north contribute to an increased burden on the population from natural sources of ionising radiation. The study used materials from well-known radioecological and dosimetric studies in the Mykolaiv region.

The presence of a carcinogenic risk from ionising radiation sources encountered in everyday life was confirmed. The cancer incidence and mortality rates among the population from different regions of the Mykolaiv region, which differ in the magnitude of the dose load on the population from natural and artificial radiation, were determined and analysed. There is a difference in the average annual growth rates of cancer incidence and mortality for regions with different levels of human exposure to man-made and artificially enhanced sources of ionising radiation of natural origin.

Keywords: carcinogenic risk, exposure, sources of ionising radiation

Вступ. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) 20% економічного збитку від захворювань, інвалідності та смертності обумовлені якістю довкілля. При цьому біля 7% смертності серед міського населення (в середньому 16 тис. випадків смертей для 15-мільйонного населення), що проживає на найбільш забруднених територіях, обумовлено впливом забрудненого атмосферного повітря.

Визначення факторів ризику, доведення їх ролі у порушенні здоров'я людини, а також кількісна характеристика залежностей шкідливих ефектів від рівнів впливу конкретних факторів дозволяє оцінити реальну загрозу здоров'ю населення, що проживає на певних територіях, і дає об'єктивні підстави для впровадження профілактичних заходів [3].

Для чинників іонізуючого випромінювання відомо, що радіаційні біологічні ефекти відбуваються при дії не лише високих доз іонізуючого випромінювання. Іонізуюча радіація може виступати не тільки як ініціатор канцерогенезу, а і як його прискорювач: якщо перший етап канцерогенезу індукований хімічно, то радіація може відігравати роль «останньої краплини» [2]. За літературними джерелами, до ефектів впливу «малих доз» іонізуючого випромінювання відносяться генетичні порушення, захворювання крові, лейкози і злоякісні

новоутворення [2]. Постчорнобильські події свідчили, що саме опромінення обумовило значну частину усієї ракової проблеми серед населення у постчорнобильські часи, і одним із шляхів її призупинення є зменшення опромінення людей малими дозами іонізуючого випромінювання. Крім того, при наявності сьогодні в середовищі мешкання людини цілого пулу небезпечних факторів, хронічне опромінення населення малими дозами іонізуючого випромінювання не може бути не врахованим при оцінці загальної захворюваності населення та при визначенні причин, що її викликають. В межах цього для оцінки канцерогенного ризику слушною є оцінка дозового навантаження на населення від існуючих джерел іонізуючого випромінювання.

Метою статті є оцінка ризику виникнення онкозахворювань залежно від рівня впливу техногенно-змінених природних джерел іонізуючого випромінювання у північних і східних районах Миколаївщини. Як відомо [1], для цих районів Миколаївщини особливим є рельєф і геологічний склад земної поверхні з переважанням гранітних порід, які є відповідальними за дозове навантаження на населення від природних джерел радіоактивності, головним чином — від радону.

Методика дослідження. Дослідження базувалися на вивченні змін та аналізі показників онкозахворюваності та смертності від неї серед населення з різних регіонів Миколаївської області, які відрізняються величиною дозового навантаження на населення від природної та штучної радіації. Цей підхід запозичений нами згідно [2], де показано, що одним з головних показників впливу на людину опромінення виступає збільшення смертності від онкозахворювань.

Нами враховано, що середнє значення індивідуальної ефективної дози опромінення людини на Миколаївщині, з урахуванням розкиду значень, становить 6.7 ± 2.5 мЗв/рік [1]. В той же час існує регіональний розподіл території за дозовим навантаженням на населення в залежності від радіаційного фактору [1]. Це обумовлене різницею у величинах впливу природних джерел та існуванням додаткових штучних джерел іонізуючого випромінювання. Нами обрано чотири регіони, котрі відрізняються між собою за перевагою одного-двох факторів (табл. 1):

- *північний* (Новобузький, Казанківський, Братський райони) — території з більш високими рівнями радону у повітрі житлових та виробничих приміщень, дозове навантаження від якого майже у 10 разів вище за південні райони;
- *центральний* (Арбузинський, Вознесенський, Первомайський, Доманівський райони) – регіон з тим же «радоновим» фактором та додатково з можливим впливом газоаерозольних викидів та скидів ПУ АЕС, за рахунок чого внутрішнє опромінення населення від штучних джерел на 20–40% вище за аналогічні показники для південного регіону [1];
- *східний* (Снігурівський, Баштанський, Жовтневий, м. Миколаїв) – регіон, де протягом багатьох років для господарських і питних потреб використовується дніпровська вода з підвищеним вмістом стронцію-90, за рахунок чого маємо підвищене у 3–3,5 рази внутрішнє опромінення населення від цього радіонукліду;
- *південний* (Очаківський, Березанський, Миколаївський) — контрольний регіон, де зазначені вище радіаційні фактори незначні чи зовсім відсутні.

Таблиця 1

Регіональні особливості рівнів дозового навантаження на населення Миколаївщини від природних і штучних джерел іонізуючого випромінювання.

Регіон	Дозове навантаження від природних джерел, мЗв/рік						Дозове навантаження від штучних джерел, мЗв/рік				Сумарна доза опромінення, мЗв/рік
	Рентген-процедури	Гамма-фон приміщень	Гамма-фон вулиці	При надходженні з їжею	Радон у повітрі	сума	Стронцій-90	Цезій-137	Тритій	Сума	
Північний	1,0	2,1	0,3	0,4	5,2	8,0	3,8	2,9	0,1	6,8	~8,0
Центральний	1,0	1,8	0,3	0,4	4,9	7,4	4,3	3,1	2,1	9,5	~7,5
Східний	1,0	1,7	0,3	0,4	0,6	3,0	10,6	2,9	0,1	13,6	~3,1
Південний	1,0	1,7	0,3	0,4	0,6	3,0	3,8	2,9	0,1	6,8	~3,0

Метеорологічні, кліматичні, соціально-побутові умови, умови харчування та інші життєзабезпечуючі фактори не відрізнялися між собою в усіх визначених чотирьох регіонах.

У зв'язку з тим, що у таблиці наведено усереднені величини індивідуальної ефективної дози, і можливі коливання цих величин для окремих населених пунктів і для окремої людини, вважаємо цей розподіл території області на регіони за дозовим навантаженням попереднім і потребує подальшого уточнення та коректування.

Дані по онкозахворюваності взято з матеріалів щорічних статистичних показників здоров'я населення Миколаївської області за період 1999-2020 рр.

Результати досліджень. На першому етапі досліджень проведений аналіз матеріалів щорічних статистичних показників здоров'я населення Миколаївської області за період 1999-2020 рр. з вивчення даних онкозахворюваності та смертності від неї серед населення області.

Результати математичного порівняння показників смертності від ракових захворювань (СРЗ) серед обраних регіонів за 1999-2020 рр. свідчили про наявність вірогідного перевищення показників смертності від онкозахворювань для населення «центрального» регіону над відповідними показниками «південного» регіону майже кожного року. Розмах цього перевищення склав від 10-15% у 2000-2005 рр. до 40-60% – у 2008-2012 рр. Для показників СРЗ серед населення «північного» регіону вірогідне перевищення над показниками «південного» регіону реєструвалося не постійно, але протягом більшого строку. Збільшення показників СРЗ серед населення «східного» понад відповідні показники серед населення «південного» регіону відбулося лише у деякі роки.

Результати порівняння показників СРЗ для «центрального» регіону відносно усіх трьох інших регіонів ще раз продемонстрували ймовірну різницю, при цьому перевага показників СРЗ для населення Арбузинського, Вознесенського та Первомайського районів істотна відмінність ($p < 0.05$) спостерігалася кожного року. По відношенню до показників СРЗ для населення «східного» регіону ця перевага характерна була лише на початку 2000-х років.

Треба відмітити характерну перевагу СРЗ ($p < 0.01$) для населення Первомайського району по відношенню до районів південного та східного регіонів майже у всі роки. Виняток склали показники порівняння результатів СРЗ для Доманівського району з південними районами: істотні розходження отримано лише у деякі роки. При цьому порівняння з СРЗ для «центрального» районів показало про відсутність цієї різниці.

На другому етапі досліджень проведено аналіз динамік змін онкозахворюваності та смертності від неї за досліджений період (рис. 1). При загальній тенденції збільшення з часом смертності від ракових захворювань, існує різниця у темпах росту її між районами.

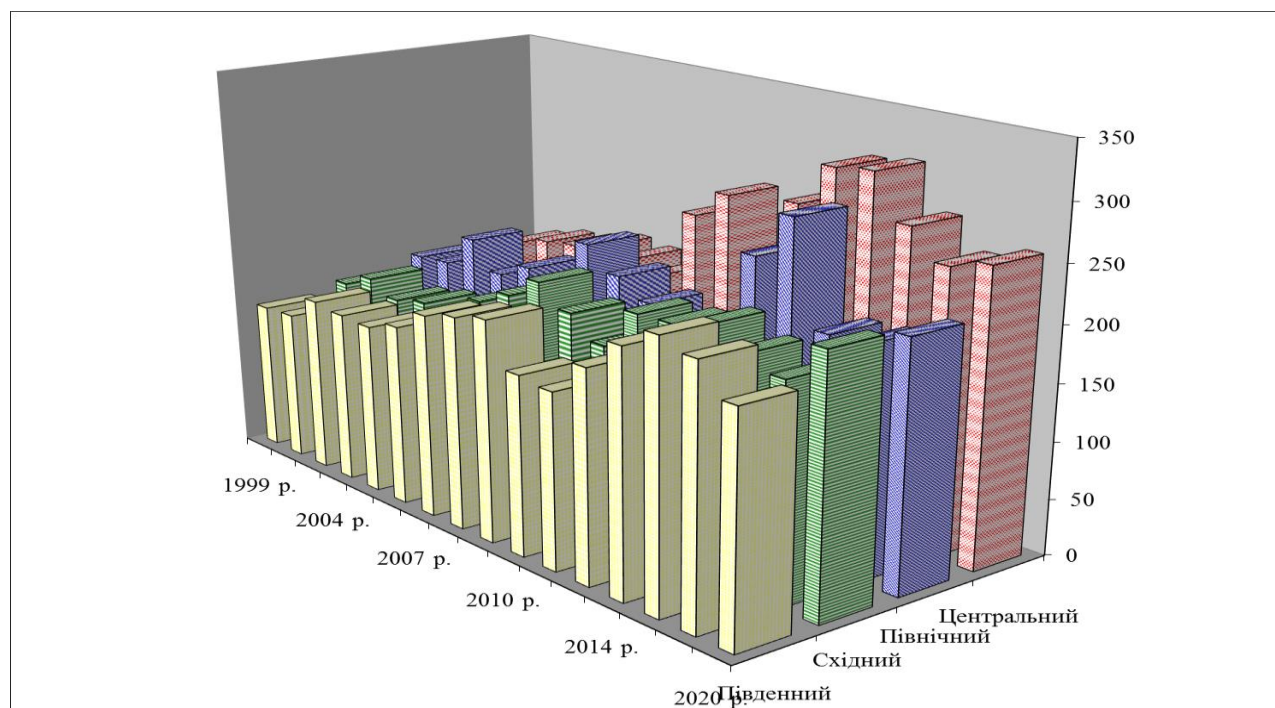


Рис. 1. Динаміка зміни показників СРЗ серед регіонів Миколаївщини протягом 1999-2020 рр.

Розраховано темпи середньорічного приросту за 21-річний період показників онкозахворюваності та смертності від неї серед населення обраних x регіонів. При середньому для області зростанні онкозахворюваності 1,26% на рік, є райони, де за цей період приріст онкозахворюваності складав менше 1% (Очаківський, Березанський, Новоодеський та райони «північного» регіону). В той же час в окремих районах приріст онкозахворюваності був вищий за середньообласний і складав, наприклад, для Арбузинського району 1,63%, Вознесенського – 1,37%, Доманівського – 1,56%, Первомайського – 2,47%, Снігурівського – 2,54%.

Результати розрахунку приросту смертності від онкозахворювань показали ще більшу різницю за регіонами. При середньообласному показнику 3,27% на рік, майже у всіх районах «центрального» регіону (крім Доманівського) приріст смертності від онкозахворювань був вищий за середньообласний, у районах «північного» регіону,

навпаки – менший, а у східному регіоні більш високі темпи середньорічного приросту виявлені у двох районах (Снігурівський, Жовтневий).

Цей факт підтверджується результатами проведеної за допомогою методів регресійного аналізу оцінки динаміки смертності від ракових захворювань у кожному районі за 21-річний період (рис. 2). Так, апроксимація показників смертності від ракових захворювань показала, що з достатнім ступенем наближення для усіх чотирьох регіонів характерним є експоненційна форма росту онкосмертності з часом, але з різними для кожного регіону показниками експоненційного росту. Майже вдвічі більшими показниками відзначилися Арбузинський, Вознесенський, Первомайський, а також Снігурівський райони, у порівнянні з «південними» районами, де зростання майже не відбувалося.

Результати оцінки по Новобузькому та Казанківському районам, навпаки, свідчать про меншу (як у «південних районах») інтенсивність росту онкосмертності з часом, хоча за кількістю онкосмертності ці райони займають одно з перших місць. Це можливо пояснити тим, що у цих районах головним дозонавантажувачим радіонуклідом є радон: доза від нього складає 4-6 мЗв/рік – у «південних» районах вона не більше 1 мЗв/рік.

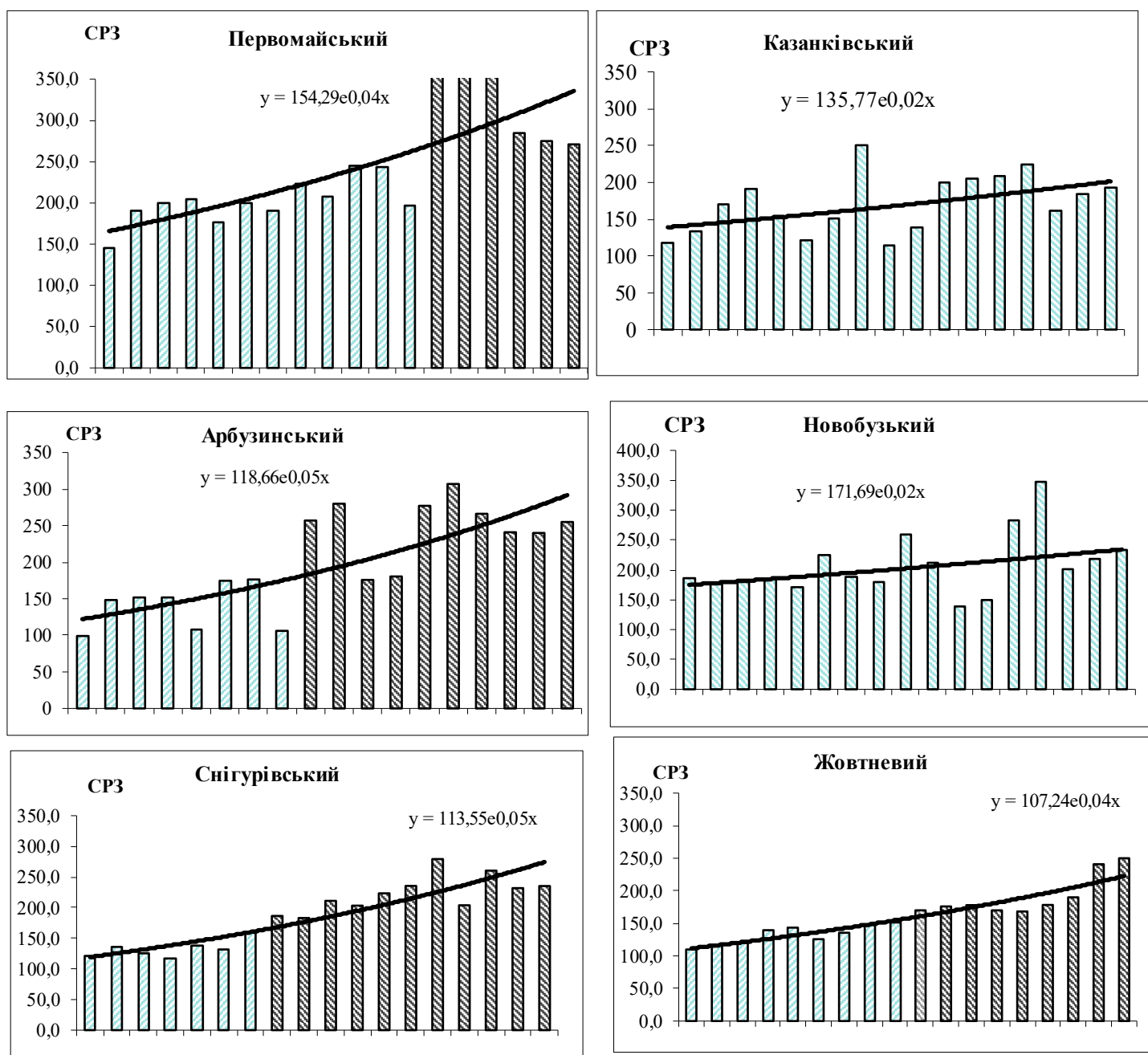


Рис. 2. Динаміка зміни смертності від ракових захворювань у окремих районах Миколаївської області за 1999-2020 рр.

Ці дози від радону були однаковими протягом часу спостережень, вони не змінюються, бо не змінюються умови мешкання людей та характер життєдіяльності людини у цих районах. Різниця між регіонами у дозових навантаженнях від радону, як ми вважаємо, позначилася на різниці онкосмертності у цих регіонах. Змін у величинах дозового навантаження від радону з часом не відбувалося, тому і темпи росту онкосмертності для цих регіонів (рис. 2) майже однакові. Це ще раз підкреслює наявність зв'язку між величиною дозового навантаження від радону та онкозахворюваністю серед населення.

Висновки. Підтверджено наявність канцерогенного ризику від джерел іонізуючого випромінювання, які зустрічаються у повсякденному житті людини. Для регіонів з підвищеним опроміненням від радону визначається тенденція збільшення кількості смертельних ракових захворювань, ніж у районах з відсутнім «радоновим» фактором.

Існує різниця у середньорічних темпах приросту онкозахворюваності і смертності від неї для регіонів з різним рівнем навантаження на людину від техногенно-підсилених джерел іонізуючого випромінювання природного походження.

Визначилися деякі напрямки подальших досліджень:

- потрібно розглянути додаткові статистичні дані захворюваності населення у конкретному населеному пункті, у родині;
- необхідно продовжувати дослідження у напрямку аналізу онкозахворюваності серед населення при розподілі її за статтю та віком, у першу чергу, серед дитячого населення, як найбільш чутливої до радіації вікової групи населення.

Список використаних джерел

1. Grygoryeva L. I., Formation of radiation load per person in the south of Ukraine: factors, forecasting, counter-measures. Monograph. Mykolaiv: PMBNSU Center, 2009. 332 p.
2. Гофман Дж. Рак, вызываемый облучением в малых дозах: независимый анализ проблемы. Пер. с англ. 1994. 288 с.
3. Караєва Н. В., Варава І. В. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря: [Електронний ресурс] Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 56 с.

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.05

Григор'єв Костянтин Володимирович

аспірант кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0003-2804-2758

Макарова Олена Валеріївна

старший викладач кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0001-8560-5145

Алексєєва Анна Олександрівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0003-0345-8538

Григор'єва Людмила Іванівна

Професор, доктор біологічних наук,
завідувач кафедри екології Навчально-наукового медичного інституту
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0001-9452-2982

УТИЛІЗАЦІЯ ЗАБРУДНЕНИХ МУЛІВ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ПРИ РЕМЕДІАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ТЕХНОГЕННИХ МАСИВІВ

Стаття присвячена дослідженню проблеми утилізації мулів Бuzького лиману, які забруднені хімічними і радіонуклідними поллютантами внаслідок чималого антропогенного навантаження на його гідроекосистему: використання у транспортній логістиці та через скиди каналізаційних вод. Через те, що ці мули можуть бути цінним добривом для вирішення багатьох екологічних проблем, які потребують забезпечення/внесення органічних речовин/добрив, у статті досліджено можливість використання вилучених забруднених лиманних мулів при ремедіації поверхні шламосховищ ТОВ «Миколаївський глиноземний завод». Запропоновано спосіб одночасного вирішення двох відокремлених екологічних проблем м. Миколаєва (утилізація забруднених мулів Бuzького лиману та дефляція токсикантів з поверхні шламосховищ червоних шламів).

Ключові слова: донні мули, ремедіація, Бuzький лиман, шламосховище

DISPOSAL OF CONTAMINATED SLUDGE OF BUZKO LIMAN FOR REMEDIATION OF THE SURFACES OF TECHNOLOGICAL MASSIVES

The article is devoted to the study of the problem of utilisation of the Buzky estuary sludge contaminated with chemical and radionuclide pollutants due to a significant anthropogenic load on its hydro ecosystem: use in transport logistics and through sewage discharges. Since these sludges can be a valuable fertiliser for solving many environmental problems that require the provision/introduction of organic matter/fertilisers, the article investigates the possibility of using dredged contaminated estuarine sludges for remediation of the surface of sludge pits at Mykolaiv Alumina Plant LLC. A method of simultaneously solving two separate environmental problems of Mykolaiv (disposal of contaminated sludge from the Buzky estuary and deflation of toxicants from the surface of red sludge pits) is proposed.

Keywords: bottomsludge, remediation, Bugestuary, sludgepit

Вступ. Завдяки сприятливому географічному розташуванню Бuzький лиман у довоєнні часи інтенсивно використовувався як транспортна магістраль. Розташовані на його узбережжі порти м. Миколаєва, Ольвії та приватні морські термінали утворюють портову галузь регіону, в якій у довоєнні часи працювала низка найбільших світових інвесторів: Bunge (США), Cofco Agri (КНР), Arcelor (ЄС) тощо. На першому місці виступав експорт зернових, олійних культур та продуктів їх переробки, будівельних матеріалів. Також на береговій лінії розташовані стивідорні компанії та морські перевантажувальні термінали, зокрема – ТОВ СП «НІБУЛОН» та ТОВ «Миколаївський спеціалізований порт НІКА-ТЕРА», який спеціалізується на перевалці мінеральних добрив. Розвиток Бuzько-Дніпровського-лиманського каналу (БДЛК) – каналу державного значення (81,3 км, шириною 100 м, з

прохідним осіданням суден у 10,3 м), що сполучає Чорне море з портами, морськими терміналами, суднобудівними та судноремонтними заводами Миколаївської та Херсонської області, а також Дніпра – дозволяє використовувати канал для заходження багатотоннажних суден. Це свідчить, що темпи використання Бузького лиману для судноплавства у повоєнні часи будуть тільки зростати.

Одночасно широко розвинене у регіоні судноплавство і вантажні перевезення суднами несуть загрозу забруднення лиманських вод небезпечними речовинами: через скиди з суден при постановці у док; скиди у причалах, включаючи бункерні операції; скиди з льяльними водами та відходами палива; побутові забруднення з суден тощо. За результатами вибіркового дослідження у р. Південний Буг у районі м. Миколаєва спостерігалось перевищення гранично-допустимих концентрацій за вмістом нафтопродуктів, фенолів, важких металів; реєструвалися амонійний азот, нітрати, поверхнево-активні речовини, які можуть створювати осадові комплекси і накопичуватись на дні гірл річок Бузького лиману. Це створює небезпеку для водної біоти і може пригнічувати здатність екосистеми Бузького лиману до самоочищення.

У районі м. Миколаєва забруднення Бузького лиману відбувається також через винесення поллютантів із дощовими стоками: нафтопродуктів (більше 100 тон), заліза (300 тон), свинцю (7 тон), органічних сполук (5 тон), а також завислих речовин. Великі об'єми винесення завислих речовин з каналізаційними дощовими стоками призводять до того, що дощові каналізаційні стоки до Бузького лиману сприяють замуленню днища, а при зміні кислотності середовища води можуть відбуватися процеси десорбції поллютантів. Це вказує на необхідність очищення днища Бузького лиману від утвореного мулу (особливо у районі місць витоку стоків міської дощової каналізації). Також потрібно враховувати можливе перенесення до лиману радіонуклідних поллютантів через винесення останніх з рідкими скидами розташованої вище за течією Південно-Української АЕС.

Донні відкладення водою є своєрідним «підводним ґрунтом», який визначає особливості екології водних об'єктів. Вони відіграють роль своєрідних «депо», де відбувається накопичення хімічних і радіонуклідних поллютантів [1]. З одного боку, це сприяє самоочищенню водного середовища, оскільки акумулюються різні екотоксиканти, а з іншого боку – є джерелом вторинного забруднення водою. Тому довготривалі перспективи комплексного використання гідроекосистеми гірла р. Південний Буг і Бузького лиману ймовірно потребуватимуть очищення днища лиману від забруднених мулів, хоча б у місцях постійного хронічного осадження поллютантів на днищі (у районах портів, стоків міської каналізації, дощової каналізації, інших несанкціонованих стоків). А через це виникне питання утилізації цих забруднених мулів.

Через те, що лиманні мули можуть бути цінним добривом для вирішення багатьох екологічних проблем, які потребують забезпечення/внесення органічних речовин/добрив [3], *метою статті* є вивчення можливості застосування вилучених забруднених лиманних мулів при ремедіації поверхні шламосховищ ТОВ «Миколаївський глиноземний завод».

Матеріали дослідження. Використано матеріали досліджень щодо розроблення технології пилопригнічення для шламосховища 1 МГЗ ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» (МГЗ) [2, 4]

Результати дослідження. Хвостосховище червоних шламів є фактично приземним джерелом неорганізованого надходження пилу та аерозолів у навколишнє середовище. Для умов Південного Степу України, де преvalюють сильні вітри та доволі частими є пилові бурі, таке хвостосховище може виступати джерелом створення екологічно-небезпечної ситуації через інтенсивну дефляцію пилу, луків та інших токсикантів. Так, для території хвостосховища Миколаївського глиноземного заводу (МГЗ), встановлено, що хвостосховища знаходяться в поясі сильно вираженої дефляції; критична швидкість вітру (швидкість вітру, при якій відбувається підйом пилових частинок) для таких грануляцій шламу складає 3,8 м/с, при якій переміщується $2,5 \pm 0,2$ кг/(м·с) червоного шламу; при максимальній (за період спостережень) швидкості вітру 10 м/с зі шламосховища № 1 МГЗ, в середньому, переміщується 136 ± 2 кг/(м·с) пилових частинок, що є показником утворення пилових бур, які неодноразово було зафіксовано на шламосховищах МГЗ; величина гранично-допустимої концентрації пилу у повітрі населених пунктів ($0,5$ мг/м³) може досягатися вже при швидкості вітру 6 м/с. Відмінною рисою хвостосховищ глиноземних заводів є висока лужність червоних шламів ($\text{pH} = 10 \div 12$) та присутність в них великої кількості токсичних поллютантів, їх сумішей та токсичних солей (NaCl , CaCl_2 , CaF_2 , Na_2SO_4 , NaHCO_3 , Na_2CO_3). При цьому відомо, що при вмісті токсичних солей 0,8–1,5 % та при pH більше 9 і вище рослини гинуть.

Поряд з цим відомі способи пилопригнічення: зрошення поверхні хвостосховища водою з доданням різних хімічних речовин, закріплення бітумною емульсією, латексом, озеленення неробочих площ, гідропосів трав'яної суміші та інші, не завжди характеризуються високою стійкістю до специфічних метеорологічних умов (сильно виражена дефляція, різкі зміни температури, чимала швидкість вітру, обледеніння) і агресивних умов середовища хвостосховищ ($\text{pH} = 10 \div 12$). Тобто, звичайна рекультивація шламосховищ неможлива. А при повній біологічній рекультивації ускладнюється необхідність вибіркового розкриття поверхні шламосховищ глиноземного виробництва для реалізації відходів: червоні шлами містять багато цінних компонентів (заліза до 60%, алюмінію до 16%, а також кальцій, титан, цирконій, галій, золото).

Тому для шламосховищ МГЗ необхідна технологія рекультивації засобами фітореємедіації, з використанням екологічно безпечних матеріалів, стійких до метеоумов та агресивних умов середовища хвостосховища, котрі також дозволяють, при необхідності, виймати шлами на реалізацію, не порушуючи загальний режим пилопригнічення.

Науковцями НІРТЕБ ЧНУ імені Петра Могили і КНУ імені Тараса Шевченка розроблена технологія фіторе-медіації з використанням підібраної трав'яної рослинності для формування дернинного настилу на поверхні шламосховища. Так, для формування шару дернини запропоновано використовувати регіональні трав'яні рослини: пирій повзучий (*Agropyrumrepens*), куколиця біла (*Melandriumalbum*), берізка польова (*Convolvulusarvensis*), бекманія лучна (*Beckmaniaeruciformis*), китник лучний (*Alopecuruspratensis*), тонконіг лучний (*Poapratensis*), пожитиця багаторічна (*Loliumperenne*), костриця лужна (*Festucapratensis* L. var. *Arundinacea*), лядвинець звичайний (*Lotuscorniculatus*), буркун білий (*Melilotusalbus*).

Однак для повної реалізації цієї технології потрібно на поверхні шламосховища прошарок, який би: 1) покрив залужене середовище, в якому нездатні розвиватися рослини, 2) гальмував перехід токсичних солей до кореневої системи рослин, 3) створив нормальне, придатне для росту рослини поживне середовище.

На наш погляд, саме цю задачу можуть виконати мули, які як показано вище, містять багато органічних речовин. Ми вважаємо, що для цих цілей можна використати саме забруднені мули каналізаційної мережі (рис. 1).

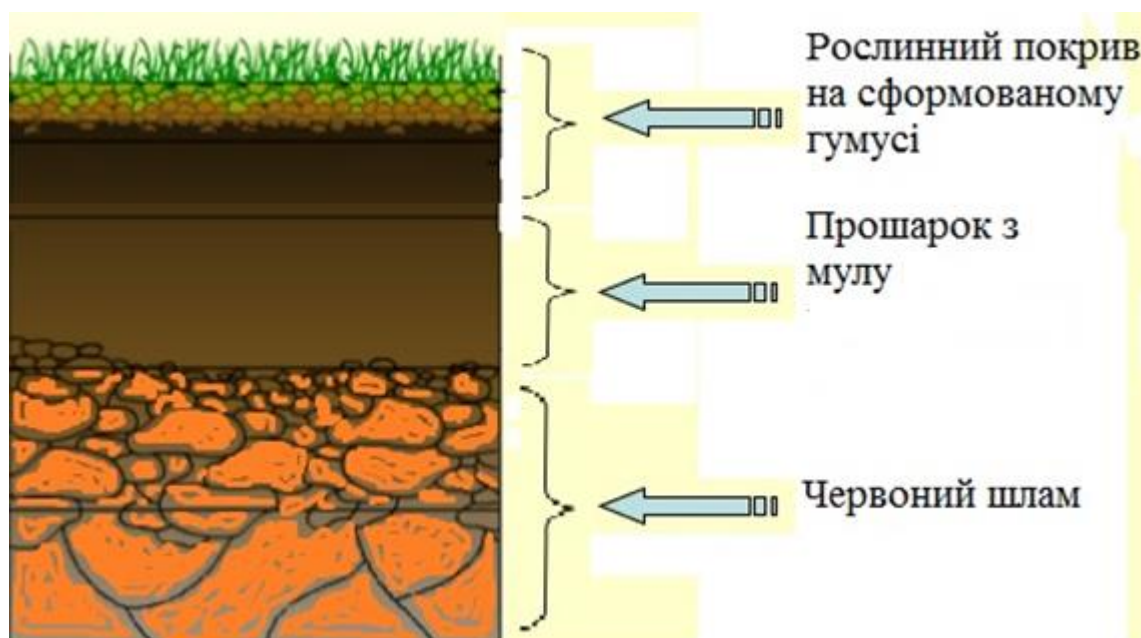


Рис. 1. Схема формування захисного бар'єру на агресивній поверхні техногенного масиву

Як відомо, мули можуть сформувати родючий шар на піщаних, глинистих і сильно виснажених ґрунтах. Завдяки унікальному складу природне добриво запускає процеси життєдіяльності городньої землі. У ґрунті швидко утворюється гумус, підвищуються його вологоємність і повітропроникність. Мікрофлора і кислоти сапропелю нейтралізують накопичені в ґрунті нітрати, збудників хвороб і інші шкідливі мікроорганізми.

Всі види рослин позитивно реагують на внесення мулу: активується зростання кореневої системи; саджанці приживаються краще; прискорюються ріст і розвиток; подовжується тривалість цвітіння; плоди накопичують більше крохмалю, цукру, вітамінів; підвищується стійкість до хвороб, холодів, посухи. Сапропель протягом вегетації активно живить рослини макро- і мікроелементами, гарантовано підвищує врожайність городніх культур. Мул діє довго, після його внесення родючість ґрунту гарантовано підвищується протягом 3-5 років. Деякі агрономи стверджують, що дія природного добрива триває до 10 років.

Витриманий мул за корисними властивостями не поступається гною, обходиться дешевше. Гній доступний лише для деяких господарств, а запаси мулу в ділянках біля водойм величезні. Донний осад нешкідливий для рослин, тому не варто боятися передозування. На відміну від гною в ньому не міститься насіння бур'янів і збудники небезпечних інфекцій.

Використання мулів у системі ремедіації поверхні шламосховищ МГЗ має переваги перед іншими технологіями:

- екологічна безпечність, безвідходність: дернина можуть бути використані як міцна пориста органічна підстилка для ґрунту і трав'янистих рослин, на якій осідатимуть і затримуватимуться насіння дикорослих трав, а також дощова та снігова вода;
- висока здатність зниження рівня дефляції при різних (екстремальних) метеороумовах;
- відносна простота і дешевизна впровадження;
- можливість розкриття окремих ділянок хвостосховища для реалізації відходів і, в подальшому, до відновлення пилопригнічувальної здатності покриття.

Таким чином, забруднені мули Бузького лиману можуть виступити добрим захисним і поживним середовищем при рекультивації техногенних масивів і, в першу чергу, з агресивним середовищем, яке характерно, наприклад, для шламосховищ червоних шламів. Доповнена нами технологія фітореMediaції забруднених політантами поверхонь за допомогою забруднених річкових мулів може бути з успіхом використана на МГЗ та на інших хвостосховищах.

Висновки

1. Запропоновано спосіб одночасного вирішення двох відокремлених екологічних проблем м. Миколаєва (утилізація забруднених мулів Бузького лиману та дефляція токсикантів з поверхні шламосховищ червоних шламів).
2. Забруднені мули Бузького лиману можуть виступити добрим захисним і поживним середовищем при рекультивації техногенних масивів і, в першу чергу, з агресивним середовищем, яке характерно, наприклад, для шламосховищ червоних шламів.
3. Доповнена технологія фітореMediaції забруднених політантами поверхонь за допомогою забруднених річкових мулів може бути з успіхом використана на МГЗ та на інших хвостосховищах.

Список використаних джерел

1. Архипова Л. М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: монографія. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. 366 с.
2. Григор'єва Л. І. та ін. Управління ризиком дефляційних явищ на хвостосховищах у системі ризик-менеджменту. Монографія. М., 2016. 315 с.
3. Мірошніченко О. П., Васенко О. Г. Роль біологічної складової водних екосистем при формуванні донних відкладів. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012, 1-2, С. 51-54.
4. Спосіб пилопригнічення та закріплення поверхні шламосховища червоних шламів». Патент України на винахід №81157, 2012.

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.06

Остапенко Владислав Володимировичаспірант,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна**Григор'єва Людмила Іванівна**професор, доктор біологічних наук,
завідувач кафедри екології Навчально-наукового медичного інституту
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0001-9452-2982

ЕКОЛОГІЧНІ ПОЛЮТАНТИ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ МІСТА МИКОЛАЄВА

Стаття присвячена дослідженню хімічного складу і кількісного об'єму надходження політантів до Бузького лиману з каналізаційними дощовими стоками м. Миколаєва. Як відомо, каналізаційні стоки підприємств промисловості і комунального господарств несуть загрозу суттєвого додаткового навантаження на обмежені регіональні водні ресурси. Вперше чергу занепокоєність викликають неконтрольовані стоки дощової каналізації. У м. Миколаєві зареєстровано 49 дощових стоків, з яких 19 мають пряме скидання у відкриті водойми.

Метою роботи виступали дослідження хімічного складу і об'єму каналізаційних дощових міських стоків до Бузького лиману. Матеріалами дослідження виступали результати хімічних аналізів проб води з чотирьох дощових каналізаційних стоків м. Миколаєва, виконаних у 2022 р. Долучено матеріали хімічних аналізів проб води з п'яти дощових каналізаційних стоків м. Миколаєва у 1997 р.

Доведено, що у стоках дощової каналізації м. Миколаєва до Бузького лиману присутні фосфати, нафтопродукти, азот нітритний. Кратність перевищень гранично-допустимих концентрацій складає: за біологічним споживанням кисню у 14-37 разів; нітритів у 10-39 разів; хімічного споживання кисню у 7-18 разів. Показано, що з дощовими стоками у Бузький лиман потрапляють свинець, нікель, залізо, мідь, хром, цинк. Наднормативне забруднення дощових вод завислими речовинами пов'язано із забрудненням територій пилом, землею, глиною тощо. Наднормативне забруднення нафтопродуктами, важкими металами пов'язано з експлуатацією автотранспорту та промислових підприємств. Показано, що за частину речовин, які забруднюють дощову каналізацію (фосфати, нітрати) здебільшого відповідають самовільні підключення господарсько-побутової та промислової каналізації. Перспективами подальших досліджень є дослідження сорбційної можливості донних відкладень щодо утримання політантів та оцінка екологічної ємності донних відкладень Бузького лиману.

Ключові слова: стоки дощової каналізації, забруднення, політанти, Бузький лиман.

ENVIRONMENTAL POLLUTANTS OF THE RAINWATER DRAINAGE SYSTEM OF MYKOLAIV

The article is devoted to the study of the chemical composition and quantitative volume of pollutants entering the Bug Estuary with the rainwater sewage of Mykolaiv. It is known that sewage from industrial and municipal enterprises poses a threat of a significant additional burden on limited regional water resources. First and foremost, uncontrolled stormwater runoff is a major concern. In Mykolaiv, there are 49 registered stormwater drains, of which 19 are directly discharged into open water bodies.

The purpose of the study was to investigate the chemical composition and volume of urban stormwater runoff into the Bug Estuary. The study was based on the results of chemical analyses of water samples from four storm sewers in Mykolaiv, performed in 2022. The materials of chemical analyses of water samples from five storm sewers of Mykolaiv in 1997 were also included.

It was proved that phosphates, oil products, and nitrite nitrogen are present in the stormwater runoff from Mykolaiv to the Bug Estuary. The multiplicity of exceedances of the maximum permissible concentrations is: for biological oxygen consumption - 14-37 times; nitrite - 10-39 times; chemical oxygen consumption - 7-18 times. It has been shown that lead, nickel, iron, copper, chromium, and zinc are released into the Bug estuary with rainwater runoff. Excessive pollution of rainwater with suspended solids is associated with contamination of territories with dust, soil, clay, etc. Excessive pollution with oil products and heavy metals is associated with the operation of motor vehicles and industrial enterprises. It has been shown that unauthorized connections of domestic and industrial sewage systems are mostly responsible for some of the substances that pollute stormwater (phosphates, nitrates). Prospects for further research are the study of the

sorption capacity of bottom sediments for the retention of pollutants and the assessment of the ecological capacity of the bottom sediments of the Bug estuary..

Keywords: storm water runoff, pollution, pollutants, the Bug estuary.

Постановка проблеми: Розвиток регіону, який включає територіальні громади м. Миколаєва та прилеглих територій та територія якого відноситься до посушливої зони, а прісні водні ресурси якого обмежені і залежать, головним чином, від притоку з інших регіонів, потребує якісних і безпечних місцевих водних ресурсів р. Південний Буг, р. Інгул і Бузького лиману. На якість цих водних ресурсів впливають як глобальні кліматичні зміни, які призводять до підвищення температури водного середовища, так і чимале антропогенне навантаження [1].

У м. Миколаєві розвинута переробна промисловість: металургійне виробництво, машинобудівної галузі, харчової галузі. Промислові підприємства міста забезпечують до 50% обсягів продукції суднобудування України, понад 90% державного виробництва газових турбін, 80% глинозему. Розвиток портової галузі у регіоні і створення потужної мережі державних і приватних вантажних портів на узбережжі Бузького лиману, серед яких є порти з перевалки, зберігання, підготовки та відправки вантажів, що містять шкідливі сполуки, несе загрозу потрапляння таких сполук до водного середовища, створюючи небезпеку для водної біоти і пригнічуючи здатність екосистеми Бузького лиману до самоочищення [2].

Разом з цим, м. Миколаїв – це місто з населенням майже півмільона людей. Тому каналізаційні стоки підприємств промисловості і комунального господарства несуть загрозу суттєвого додаткового навантаження на обмежені регіональні водні ресурси.

Метою роботи є дослідження екологічної проблеми м. Миколаєва, яка пов'язана з надходженням поллютантів у Бузький лиман з водами дощової каналізації міста.

Матеріали і методи дослідження. Використано результати гідрохімічних досліджень Миколаївської екологічної лабораторії ТОВ «Ліміт Плюс» [20], результати гідрохімічних досліджень р. Інгул, Південний Буг і Бузького лиману, виконаних Миколаївським обласним центром з гідрометеорології у 2020-21 рр.; матеріали науково-дослідної роботи «Исследование городского поверхностного стока дождевой канализации» [19].

При дослідженні скидів дощової каналізації м. Миколаєва у 2021 р. використано дані складу проб води дощової каналізації м. Миколаєва (дата відбору проб 24.02.2021) та дані Миколаївського гідрометцентру щодо кількості дощових опадів у м. Миколаєві у 2022 р.

Кількість забруднюючої речовини, змитої з міської території за 2 добу (добовий смив), розраховується за найбільш типовим дощем 04.04.2021р. з врахуванням доброї кореляції даних за усіма дощами.[3].

Розрахунок добового змиву виконаний за формулою:

$$M_1^d = H \cdot S \cdot C_1 \cdot 10^{-6} \cdot W_{cp} \cdot K$$

де: M_1^d – маса забруднюючої речовини, смитої за 1 добу; H – висота шару опадів, м ($H=6,6 \times 10^3$); S – площа міської території, яка враховується (житлова забудівля, зелені насадження загального користування, кладовища, вулиці, дороги, автостоянки) m^2 ($S = 10060 \text{ га} = 1.006 \times 10^8$); C_1 – середнє значення масової концентрації забруднюючої речовини в скидах дощової води з врахуванням його фонової концентрації, мг/л; фонові концентрації наведені в таблиці 3.1.1; 10^{-6} – коефіцієнт перерахунку мг/л в т/м³; W_{cp} – середнє значення коефіцієнта стоку з врахуванням міської території, ($W_{cp} = 0,61$); K – коефіцієнт, який характеризує середню концентрацію забруднюючих речовин під час дощу, який прийнято 0,6.

Розрахунок річного змиву забруднюючої речовини M_1^p виконано за формулою: [4].

$$M_1^p = 365 \cdot M_1^d$$

Основні результати дослідження.

В межах державного моніторингу водних ресурсів м. Миколаєва, який здійснюється Миколаївським обласним центром з гідрометеорології, точками спостережень є (рис. 1):

- набережна Інгулу (т. 1);
- Варварівський міст (т. 2);
- морський порт (т. 3).

Моніторинг здійснювався за показниками: солоність, нітритний азот, нафтопродукти, феноли, БСК₅. Аналіз результатів щомісячних спостережень вказав, що величина солоності в гірлових водах Південного Бугу та Інгулу реєструвалася в межах 2,53–5,33‰. Періодично спостерігали перевищення ГДК фенолів від 5,3 та 1,3 ГДК. Вміст нітритного азоту у річковій воді знаходився на рівні ГДК (20 мкг/л). Перевищення ГДК за вмістом нафтопродуктів протягом місяця не спостерігали.

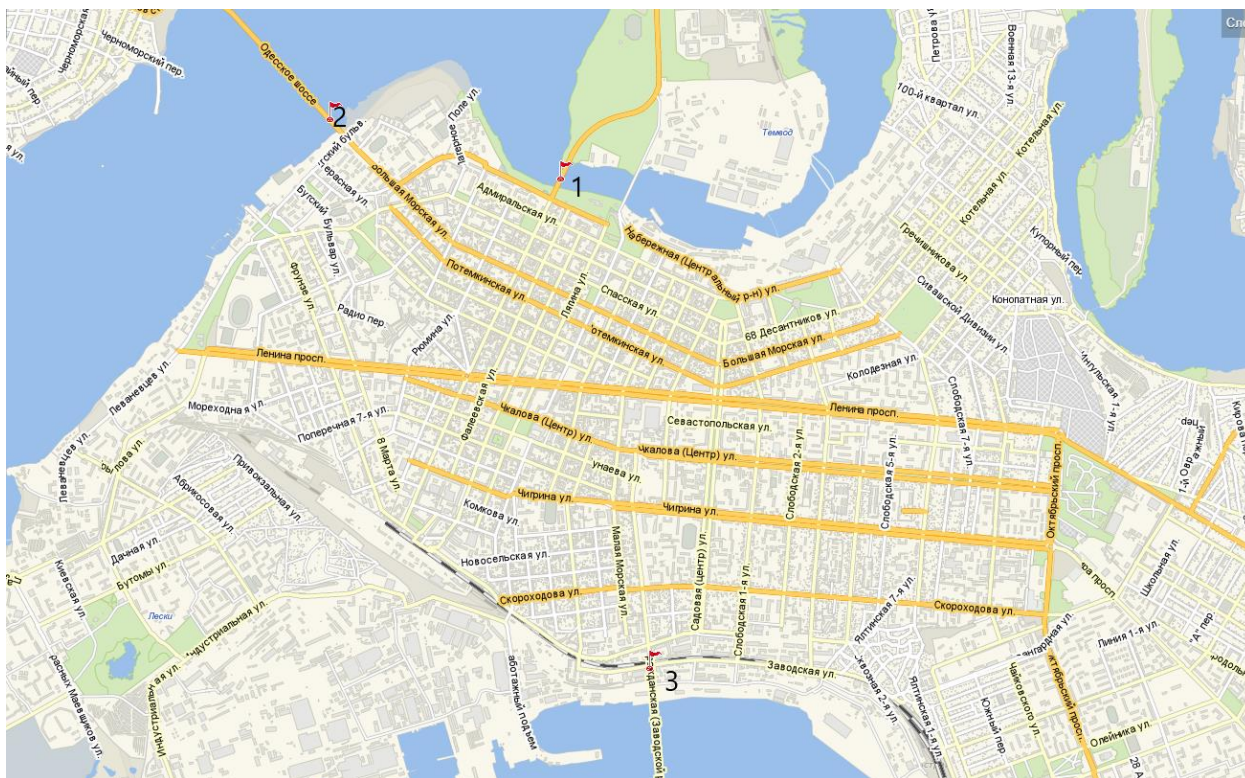


Рис. 1. Схема відбору проб води з контрольних точок

Відбір проб води у 2021 р. здійснено з чотирьох точок дощових стоків, які наведено на рис. 2.

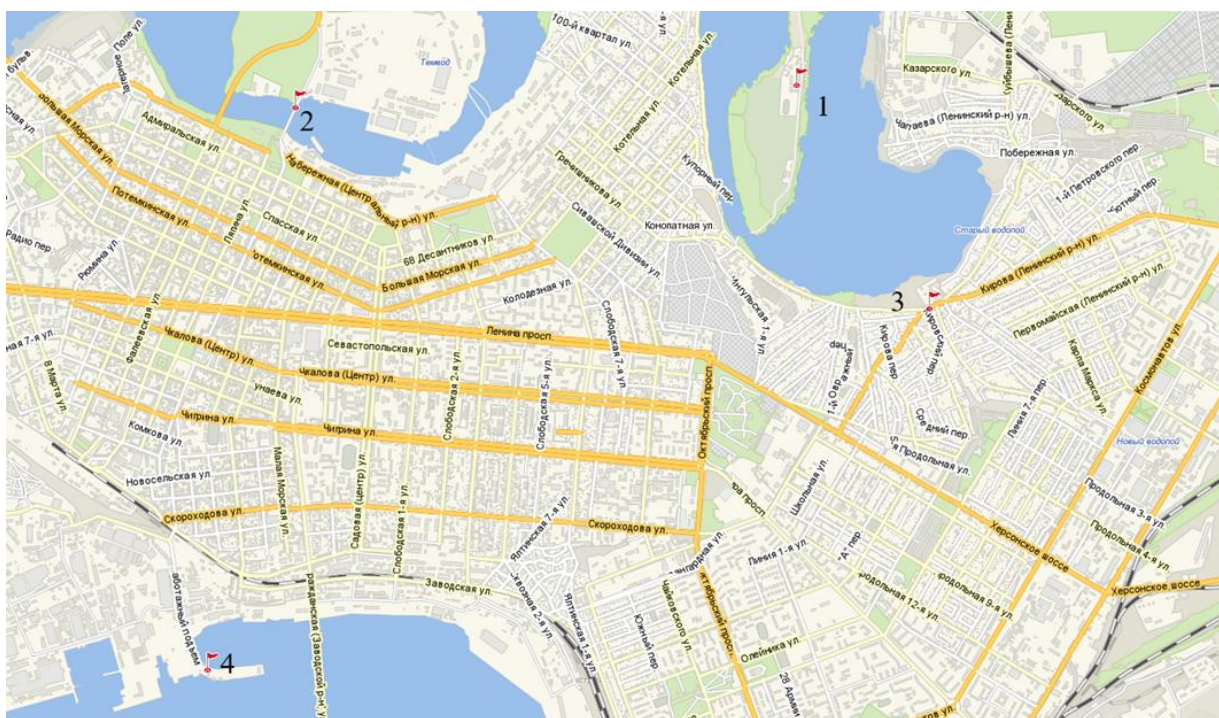


Рис. 2. Схема відбору проб води з 4 дощових каналізаційних стоків у 2021 р.: т. 1. Аляудівський півострів, т. 2. Понтонний міст, т. 3. ВТФ «Велам», т. 4. Каботажна гавань.

Статистично оброблені результати аналізу проб води представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Склад та властивості проб води дощової каналізації м. Миколаєва (дата відбору проб 24.02.2021)

Показник якості води	Результати вимірів, мг/л			ГДК	
	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення зі стандартним відхиленням $\bar{X} \pm \sigma(x)$	Значення	Кратність перевищення
Біологічне споживання кисню, БСК ₅ , мгО ₂ /л	42	111	58±12	3,0	14 - 37
Хімічне споживання кисню, мг/л	2,1	5,4	2,9±0,9	0,3	7 - 18
Зважені речовини, мг/л	0,2	1,0	0,8±0,2	0,25	4
Азот амонійний, мг/л	0,05	0,8	0,3±0,1	0,5	2
Нітрити, мг/л	50	1950	690±230	50,0	10 - 39
Нафтопродукти, мг/л	0,10	0,25	0,19±0,02	0,05	2 - 5
Фосфати, мг/л	0,05	0,15	0,10±0,02	0,1	5 - 15

Аналіз відповідності якості вод р. Інгул та Бузький лиман у межах м. Миколаєва здійснено на підставі нормативних документів: нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біологічне споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК) завислих речовин та азоту амонійного), затверджені наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 30.07.2012 № 4713; правила охорони внутрішніх морських вод і територіального моря від забруднення та засмічення, затверджені постановою Кабінету Міністрів від 29.02.1996 № 269: № 12-04-11 09.08.1990. За результатами нормативної оцінки можна стверджувати, що всі представлені проби вод мають значні перевищення гранично допустимих концентрацій за вмістом БСК₅, нітритів та ХСК. Кратність перевищень за показниками складає:

- БСК₅ 14-37 разів;
- Нітрити 10-39 разів
- ХСК 7-18 разів.

Ці показники характеризують стан забруднення водойм, основними індикаторами якого є вміст органічних речовин та амонійних сполук, від яких у значній мірі залежать умови збереження необхідного рівня вмісту кисню у річках, що є основою для стабільного розвитку водної екосистеми. Значна кратність перевищення вмісту БСК₅, нітритів та ХСК свідчить про забруднення вод стоками і характеризує водойми як брудні.

Крім того, існують перевищення за вмістом таких антропогенних для природного середовища речовин, як АПАР та фосфати, що є проявом впливу господарсько-побутової діяльності населення (використання миючих засобів тощо). Вміст зазначених речовин у стічних водах системи зливової каналізації свідчить про наявність підключення до цієї системи господарсько-фекальної каналізації домогосподарства, що є порушенням природоохоронного законодавства України. Окрім цього, зафіксоване перевищення встановлених гранично допустимої концентрації за вмістом нафтопродуктів. В середньому перевищення складає 3,8 разів, що може свідчити про наявність скиду до водних об'єктів міських вод без очищення.

Зроблено орієнтований розрахунок скиду забруднюючих речовин з дощовими каналізаційними стоками у районі м. Миколаєва станом на 2021 р. (табл.3). При цьому використано дані Миколаївського гідрометцентру щодо кількості дощових опадів у м. Миколаєві у 2021 р.

Таблиця 2

Кількість дощових опадів у м. Миколаєві у 2021 р.

Дата	Тривалість дощу, ч	Висота шару опадів, см	Середня інтенсивність дощу, мм/год (мм/хвил)
04.04.2021	5,21	2,1	0,35 (0,006)
17.07.2021	6,17	5,7	1,11 (0,019)
26.08.2021	5,18	19,2	2,29 (0,049)
17.09.2021	6,29	3,9	0,90 (0,008)

Таблиця 3

Результати розрахунку скиду забруднюючих речовин з дощовими каналізаційними стоками у районі м. Миколаєва станом на 2021 р.

Назва забруднюючої речовини	Денний злив з міської території, т	Річний злив з міської території, т
Зважені речовини	3,4	416,1
Нафтопродукти	0,722	263,53
Фосфати	0,050	18,25
ХСК	11,02	4022,3
БСК 5	22,04	8004,6
Нітрити	0,043	15,69
Азот амонійний	1,14	416,1

Результати вказали, що потрібні заходи щодо зменшення забруднення лиману дощовими каналізаційними стоками. Зокрема, на наш погляд, потрібно:

- дослідити сорбційну можливість донних відкладень щодо можливості утримання поллютантів. Розрахувати екологічну ємність донних відкладень для оцінювання рівня можливості водної екосистеми пониззя р. Південний Буг (в районі м. Миколаєва) до самовідновлення і самоочищення;
- провести системний аналіз щодо виявлення джерела забруднення зливової каналізації (несанкціоновані підключення, стікання залишків осілих на поверхні доріг викидів автотранспорту тощо).
- надати рекомендації щодо розрахунку граничних величин скиду поллютантів у водну екосистему пониззя р. Південний Буг (в районі м. Миколаєва)
- виявити можливі біоіндикатори забруднення водної екосистеми за виявленими поллютантами.

Екологічна проблема системи дощової каналізації пов'язана з ймовірністю винесення забруднюючих речовин у поверхневі водойми. З основної території м. Миколаєва в Бузький лиман з дощовими стоками змивають значну кількість забруднюючих речовин: нафтопродуктів (більше 100 тон), заліза (300 тон), свинцю (7 тон), органічних сполук (5 тон).

За результатами аналізу гідрохімічних досліджень у р. Інгул, Південний Буг і Бузького лиману у 2020-21 рр. в районі м. Миколаєва присутні феноли, нафтопродукти, азот нітритний. Перевищення ГДК характерні для фенолів (до 14 ГДК), нітритів (2 ГДК), нафтопродуктів (до 10 ГДК) у точках на Набережній Інгулу, поблизу Варварівського моста, морського порту. Солоність в акваторії м. Миколаєва сягала 7-8 г/л. Вміст розчиненого кисню складав 100-120 г/л.

Висновки

1. Екологічна проблема системи дощової каналізації пов'язана з ймовірністю винесення забруднюючих речовин у поверхневі водойми. З основної території м. Миколаєва в Бузький лиман з дощовими стоками змивають значну кількість забруднюючих речовин: нафтопродуктів (більше 100 тон), заліза (300 тон), свинцю (7 тон), органічних сполук (5 тон).

2. За результатами аналізу гідрохімічних досліджень у р. Інгул, Південний Буг і Бузького лиману у 2020-21 рр. в районі м. Миколаєва присутні феноли, нафтопродукти, азот нітритний. Перевищення ГДК характерні для фенолів (до 14 ГДК), нітритів (2 ГДК), нафтопродуктів (до 10 ГДК) у точках на набережній Інгулу, поблизу Варварівського моста, морського порту. Солоність в акваторії м. Миколаєва сягала 7-8 г/л. Вміст розчиненого кисню складав 100-120 г/л.

3. За результатами розрахунку скиду забруднюючих речовин з дощовими каналізаційними стоками у районі м. Миколаєва у 2021 р. об'єми скидів склали: зважені речовини: 3,4 т/добу (416,1 т/рік), азот амонійний: 1,14 т/добу (416,1 т/рік), нітрити: 0,043 т/добу (15,69 т/рік), нафтопродукти: 0,722 т/добу (263,53 т/рік), фосфати: 0,050 т/добу.

Список використаних джерел

1. Артюшенко О. В. Система басейнового управління водними ресурсами як складова організаційно-економічного механізму водокористування: Вісник Нац. ун-ту водного господарства та природокористування. Економіка: зб. наук. пр. НУВГП. – Рівне, 2006.
2. Кирилюк О. В. Історія становлення басейнового підходу у географії та екологічному руслознавстві: Наук. записки Вінницького держ. пед. ун-ту ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія. – Вінниця, 2007. Вип.
3. Биткова Т. В., Ричак Н. Л., Гричаний О. М. Використання дощової води на урбанізаційних територіях та управління якістю зливових стоків: еколого-економічний аспект. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія Економічна. 2018. Випуск 94. С.15-28. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2018-94-02>
4. Ричак Н. Л., Московкін В. М., Кузнєцова В. В. Розрахунок економічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження (на прикладі житлової підсистеми). Вісник Харківського університету імені В. Н. Каразіна. Серія Геологія-Географія-Екологія. 2016. Випуск 1147. С. 239-248. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-44-25>
5. Магась Н. І., Трохименко А. Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Екологічна безпека. 2013. Випуск 2. С. 48-52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2013_2_12
6. Миколаївська міська рада: <https://mkrada.gov.ua/content/stan-vodnih-resursiv.html>
7. Матеріали хімічної лабораторії Миколаївського обласного центру гідрометеорології. Режим доступу: <http://mcgm.mk.ua/structure/laboratory>

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.07

Сергій Іванович Кузнєцов

кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет, Хмельницьк, Україна

Олена Олексіївна Венгер

кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувачка кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет, Хмельницьк, Україна

Віолета Михайлівна Безпальченко

кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет, Хмельницьк, Україна

Оксана Олександрівна Семенченко

кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет, Хмельницьк, Україна

ПРОМИСЛОВИЙ ЦИКЛОННО-РОТАЦІЙНИЙ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ

Циклонне обладнання просте у виготовленні і експлуатації, універсальне і економічне, але істотним недоліком його є неможливість вловлювати високодисперсний пил. У статті розглянуто найважливіші характеристики розробленого нами вискоефективного промислового циклонно-ротаційного пиловловлювача. В апараті здійснюється принцип двоступеневого розділення неоднорідних пило-газових систем у відцентровому полі. У першому ступені, працюючому по принципу циклона, та у другому - працюючому по принципу ротаційного пиловловлювача. При роботі апарата, більш високий тиск на периферії ротаційної частини повертає концентрований запилений потік з малою витратою газу у циклонну частину. Утворений щільною, між корпусом циклона і поділяючим конусом, замкнутий контур з'єднує вихід і вхід ЦРП між собою. Виникає негативний зворотний зв'язок – ефективний механізм керування такими складними імовірнісними системами як газові гетерогенні криволінійні плинні. Негативний зворотний зв'язок стабілізує процеси, що протікають у таких плинах. Енергія електродвигуна використовується в ЦРП для переміщення запиленого газу, концентрації, коагуляції вискодисперсного пилу, його повернення з ротаційної в циклонну зону, диспергування і уловлювання, з метою економії енергетичних і матеріальних ресурсів. Основне завдання теорії відцентрової сепарації запилених потоків полягає у знаходженні мінімального діаметру частки, що має практично відчутну відносну радіальну швидкість.

Відомі детерміновані моделі відцентрової сепарації або занадто прості і ігнорують багато факторів, що визначають процес, або в спробах їхнього обліку занадто громіздкі і важко розв'язувальні, хоча також не вільні від різних допущень й обмежень. Стохастична модель враховує інтегральну множину різних впливів на радіальний дрейф стоксівської частинки від центра до периферії закрученого потоку. У роботі надані результати дослідження структури тривимірної двофазної течії газового потоку з вискодисперсними вклученнями в циклонно-ротаційних пиловловлювачах по 3D геометричних моделях з метою візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Чисельні дослідження були проведені за k-ε моделлю турбулентності з масштабованими пристіночними функціями.

Ключові слова: розділення неоднорідних пило-газових систем, негативний зворотний зв'язок, циклонно-ротаційний пиловловлювач.

INDUSTRIAL CYCLONE-ROTARY DUST COLLECTOR

Cyclone equipment is easy to manufacture and operate, versatile and economical, but its main drawback is the inability to capture finely dispersed dust. The article discusses the most important characteristics of the highly efficient industrial cyclonic rotary dust collector developed by us. The apparatus implements the principle of two-stage separation of heterogeneous dust-gas systems in a centrifugal field. In the first stage, working on the principle of a cyclone, and in the second - working on the principle of a rotary dust collector. During operation of the apparatus, a higher pressure on the periphery of the rotating part returns a concentrated dusty flow with a low gas flow to the cyclone part. Formed by a gap, between the cyclone body and the dividing cone, a closed circuit connects the output and input of the cyclone-rotational dust collector to each other. There is a negative feedback - an effective control mechanism for such complex probabilistic systems as gas heterogeneous curvilinear flows. Negative feedback stabilizes the processes occurring in such flows. The energy of the electric motor is used in the cyclone-rotational dust collector for the movement of dusty

gas, concentration, coagulation of fine dust, its return from the rotary to the cyclone zone, dispersion and capture, with the aim of saving energy and material resources.

The main task of the theory of centrifugal separation of dusty flows is to find the minimum diameter of a particle that has a practically perceptible relative radial velocity. Known deterministic models of centrifugal separation are either too simple and ignore many factors that determine the process, or in attempts to account for them are too cumbersome and difficult to solve, although they are also not free from various assumptions and limitations. The stochastic model takes into account the integral set of various influences on the radial drift of the Stokes particle from the center to the periphery of the swirling flow. The paper presents the results of the study of the structure of the three-dimensional two-phase gas flow with highly dispersed inclusions in cyclonic-rotary dust collectors using 3D geometric models with the aim of visualizing these flows using computer graphics methods. Numerical studies were carried out using the $k-\varepsilon$ model of turbulence with scaled wall functions.

Key words: separation of heterogeneous dust-gas systems, negative feedback, cyclone-rotational dust collector.

Вступ. Створення нових ефективних методів і апаратів очистки та вдосконалення діючої газоочисної апаратури є єдиним шляхом захисту повітряного басейну від забруднення промисловими та вентиляційними викидами. Поєднання декількох принципів пилоочищення в одному апараті та створення контрольованих додаткових сил сприяючих пилоочищенню в робочому об'ємі апарату дозволить підвищити ефективність пилоочищення та створити умови для додаткового розділення пило-газового потоку при проходженні через апарат. Але, крім цього, подібні заходи не повинні істотно підвищувати гідравлічний опір апарату.

Сучасна теплоенергетика, промисловість і автотранспорт викидає в атмосферне повітря значну кількість забруднень, при цьому тверді частинки здатні накопичуватися та переміщатися на великі відстані. Підвищення ефективності очищення димових газів від двоокису сірки, оксиду вуглецю, оксидів азоту і пилу – актуальна проблема, рішення якої становить теоретичний інтерес і має велике практичне значення. Комплексне очищення димових газів поліпшує екологічну обстановку й заощаджує природні ресурси.

Мета роботи. В роботах [1-3] вказується та експериментально досліджується низка заходів щодо поліпшення очищення запиленних газів. Представлена конструкція вдосконаленого циклонно-ротаційного пиловловлювача, здатного працювати в сухому та мокрому режимах, що працює за принципом циклону, і одночасно ротаційного пиловловлювача [4].

Можливості обчислювальної техніки дозволяють з високою точністю моделювати течії з врахуванням всіх характеристик потоку (в'язкість, турбулентність тощо). Сучасні засоби моделювання, засновані на чисельному рішенні рівнянь гідрогазодинаміки, дозволяють проаналізувати вплив цих факторів і обчислити розрахункову ефективність пиловловлення на стадії експлуатації.

Метою даної роботи є розрахункове визначення структури течії двофазного потоку у внутрішньому об'ємі циклонно-ротаційного пиловловлювача.

Працює ЦРП наступним чином. Пило-газовий потік через вхідний тангенціальний патрубок попадає в апарат та після класичного циклонного процесу попадає в центральну трубу, на виході з якої за рахунок обертання лопатевого колеса створюються додаткові відцентрові зусилля, котрі разом з розпиленням рідини (об'єднання мокрого – в цій роботі не досліджується – та інерційних способів додаткового очищення) створюють умови для глибокої очистки пило-газової суміші.

Для комп'ютерного моделювання залежно від типу руху обирається модель, тобто набір рівнянь, якими описується динаміка системи. Істотно дозвуківий рух газового потоку описується математичною моделлю Incompressible fluid (нестискаєма рідина) з Particles (частинки), призначеною для моделювання двофазної течії газу (рідина) з частинками при значних (турбулентних) числах Рейнольдса і при малій зміні густини.

Розрахункова схема апарату, відповідно до конструкції показана на рис.1.

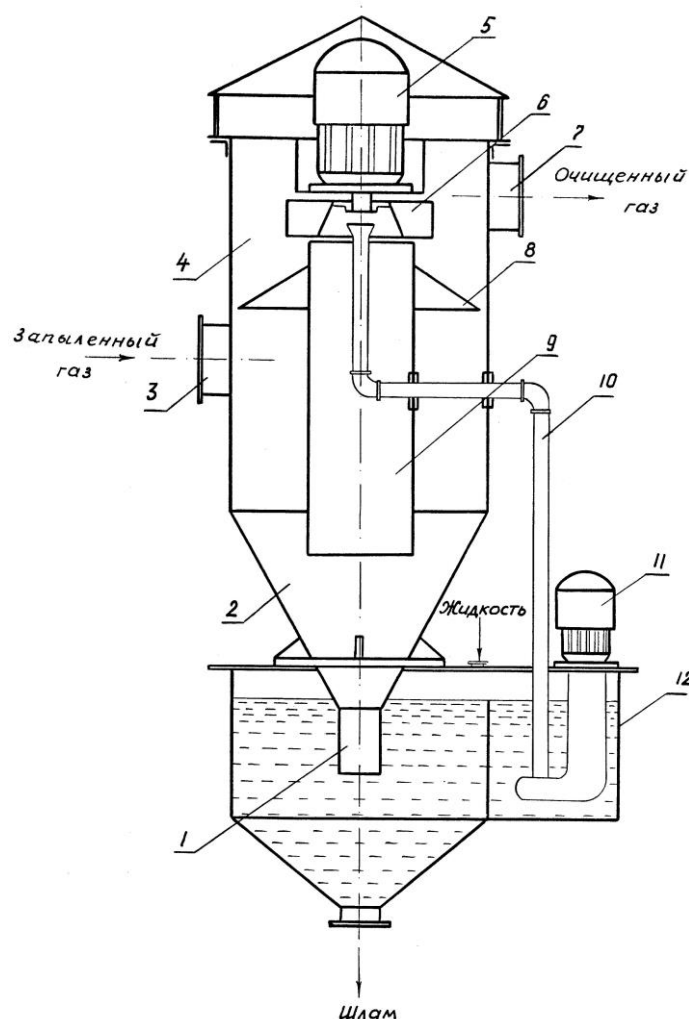


Рис. 1. Схема циклонно-ротаційного пиловловлювача.

При робочих режимах у циклонно-ротаційному пиловловлювачі спостерігається наявний розвинутий турбулентний рух газу, тому для адекватного проведення чисельних розрахунків необхідно використовувати замкнені моделі турбулентності. Однією з найпростіших моделей турбулентності першого рівня замкнутості є k - ε модель турбулентності [5]. Вона добре зарекомендувала себе в задачах зі значною кривизною ліній току, яка й була використана в даній роботі з чисельною реалізацією методом скінчених елементів [6,7]. Стосовно до стаціонарного процесу – рівняння складаються, як завжди, з рівнянь нерозривності та руху (1,2 – проводиться підсумовування за повторюваними індексами):

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (v_i v_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} p^* + \frac{\partial}{\partial x_j} (v_e \tau_{ij}) + f_i, \quad (2)$$

де

$$p^* = p + \frac{2}{3} \rho k, \quad \tau_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}, \quad v_e = v + v_t,$$

k – питома кінетична енергія турбулентності, ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, ν_t – турбулентна в'язкість, p – осереднений тиск, v_i – осереднені компоненти вектора швидкості в декартовій системі координат, f_i – вектор масових сил.

Для замкнення (1, 2) останнім часом набула поширення двопараметрична k - ε модель турбулентності завдяки доброму збігу отримуваних чисельних результатів з експериментальними даними (3-5), а також значній швидкості збіжності базового алгоритму. В цій моделі параметри турбулентності підраховуються з рівнянь:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (k v_j - \nu_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) = H_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\varepsilon v_j - \nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) = H_\varepsilon \quad (4)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

де ε – швидкість дисипації турбулентної енергії,

$$H_k = G - \varepsilon, H_\varepsilon = C_{\varepsilon 1}^* \frac{\varepsilon}{k} G - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k},$$

$$G = \nu_t \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, C_{\varepsilon 1}^* = C_{\varepsilon 1} - \eta \frac{1 - \eta/\eta_0}{1 + \beta \eta^3}, \eta = \sqrt{\frac{G}{C_\mu \varepsilon}},$$

$$\nu_k = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}, \nu_\varepsilon = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}.$$

Емпіричні константи в наведених рівняннях дорівнюють:

$$C_\mu = 0.0845, C_{\varepsilon 1} = 1.42, C_{\varepsilon 2} = 1.68,$$

$$\sigma_k = \sigma_\varepsilon = 0.72, \eta_0 = 4.38, \beta = 0.015.$$

Відомо, що подібна модель дає прийнятні результати для областей з розвинутою турбулентністю, тобто при $\nu_t \gg \nu$. Звичайно, що це не виконується біля твердої стінки. У зв'язку з цим, для визначення параметрів турбулентності біля стінки додатково задаються емпірично отримані закони поведінки рідини, що задаються додатково у вигляді пристіночних функцій. Вказана k - ε модель турбулентності або близькі до цієї моделі реалізовані в багатьох програмних продуктах.

Динаміка частинок (particles) описується диференціальним рівнянням руху вказаних частинок:

$$\frac{dX_p}{dt} = V_p \quad (6)$$

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{\pi d^2}{8m} C_D \rho |V_r| V_r + g \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right) - \frac{\nabla p}{\rho_p} \quad (7)$$

де X_p – вектор положення частинок, V_p – швидкість частинки, d – діаметр частинок, m – маса частинок, C_D – коефіцієнт опору, V_r – швидкість частинки відносно несучої фази, ρ_p – об'ємна маса матеріалу частинок.

Розрахункове дослідження було з допомогою пакету COMSOL Multiphysics. Була створена 3D модель циклонно-ротаційного пиловловлювача. Розрахункова область з сіткою скінченних елементів вказана на рис. 2.

Розрахункова сітка нараховувала близько 120 тис. елементів. Було проведено комплексне моделювання течії двофазного потоку в створеній геометричній конфігурації розрахункової області.

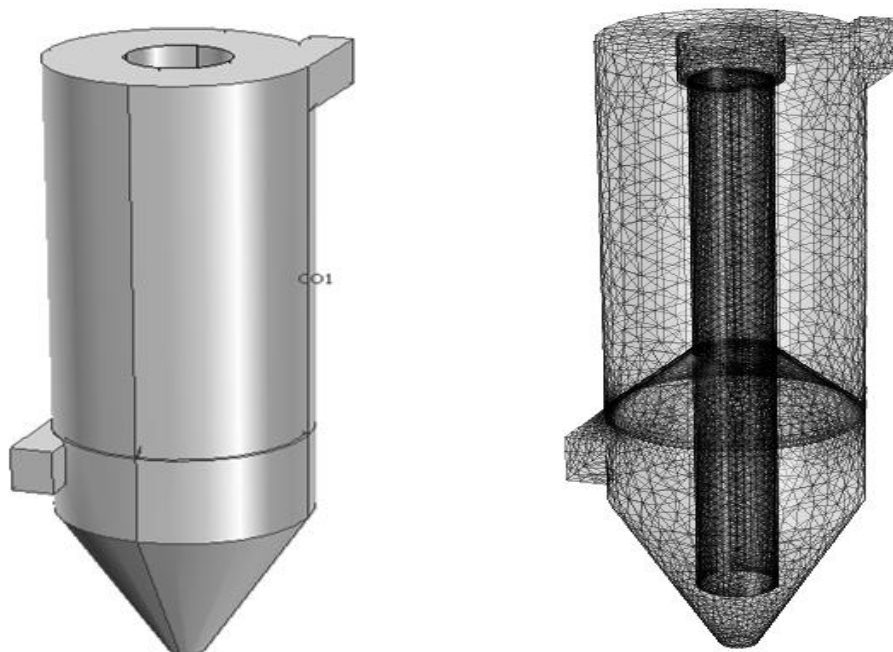


Рис. 2. Сітка скінченних елементів в циклонно-ротаційному апараті.

Основні вхідні дані винесені в табл. 1:

Таблиця 1

№	Найменування	Ім'я змінної	Значення	Розмірність
1	Швидкість запиленого середовища у нижньому патрубку	$V_{\text{нижн}}$	20	м/с
2	Суцільне середовище		Повітря, 20 °С	
3	Об'ємна маса матеріалу частинок	ρ_s	1700	кг/м ³
4	Діаметр частинок	d_s	10	мкм
5	Робочий діаметр апарату	D	0,3	м
6	Частота обертання крильчатки	n	1500	хв ⁻¹

Гідродинамічний розрахунок дозволяє визначити опір апарату й передбачити траєкторії руху дуже дрібних частинок.

Візуалізацію результатів обчислень здійснено за допомогою постпроцесору. Постпроцесор надає великий вибір методів візуалізації скалярних і векторних змінних на різних геометричних об'єктах, а також дозволяє зберігати дані у файл для обробки іншими засобами.

Розподіл тиску та лінії потоку газу в апараті при швидкості подачі 20 м/с показані на рис. 3. Розрахунковий надлишковий тиск на вхідному патрубку апарату становить приблизно 750 Па. Газ, що подається через нижній отвір, набуває вихрового руху – класичного для циклонного обладнання, але далі проходить достатньо складна за характером зміна напрямку обертання за рахунок обертання крильчатки.

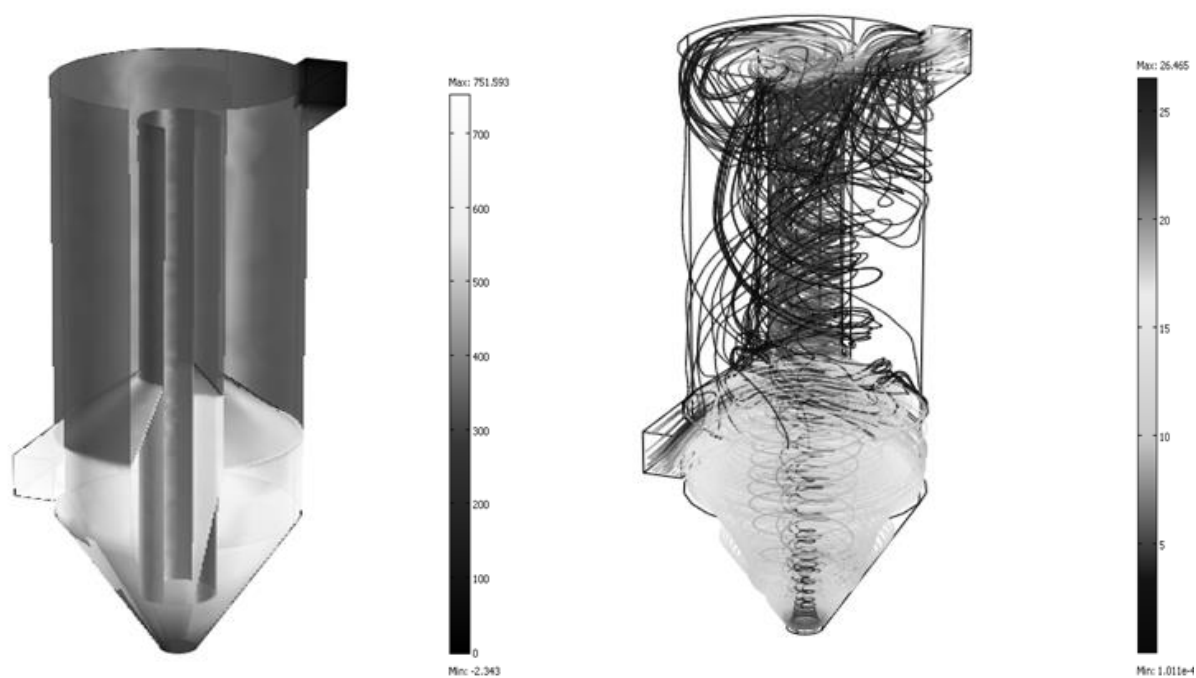


Рис. 3. Розподіл абсолютних швидкостей у колекторній камері перед розподільною вставкою.

Трасекторії руху контрольних частинок-маркерів, взятих вибірково в характерних зонах апарату аж до моменту їх зіткнення зі стінками корпусу або центральної труби, показано на рис. 4:

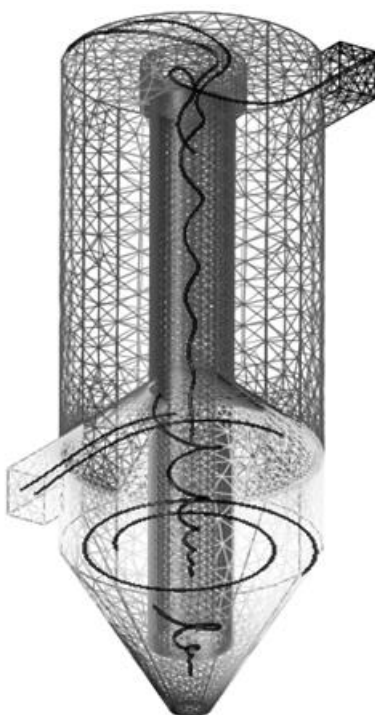


Рис. 4. Трасекторії руху контрольних частинок-маркерів

Результати моделювання досить добре співпадають з натурними дослідженнями [6]. Вказані конструктивні особливості апарату не створюють значного гідравлічного опору, розрахункові та експериментальні дані відповідають характерним значенням для промислової апаратури.

Висновки. Проведений аналіз гідродинаміки руху рідини в циклонно-ротаційному апараті виявляє достатньо складний характер руху газу, результатом якого є висока пиловловлювача здатність. Треба також зазначити, що проведення подібних чисельних експериментів по моделюванню роботи вказаного обладнання стосовно до визначення більш ефективних геометричних конфігурацій для покращення роботи є перспективним завданням, особливо в світлі збігів з експериментальними даними не тільки якісних, але й кількісних в значеннях гідравлічних опорів. Підвищений пиловловлюючий ефект ЦРП забезпечується за рахунок циркуляції газу, при якій дрібнодисперсний пил повертається з ротаційної зони в циклонну, де відбувається коагулювання. Розроблений пиловловлювач має ряд переваг у порівнянні зі звичайними циклонами:

- може працювати автономно (без вентилятора) і очищувати гази, що не мають початкового надлишкового тиску;

- ефективно вловлює дрібний пил діаметром від 4 мкм завдяки великій відцентровій силі, що діє на частинку в ротаційній частині пиловловлювача;

- забезпечує тонке диспергування рідини і виключно рівномірне (кругове) зрошення стінок апарату за рахунок обертового ротора, що дозволяє йому ефективно вловлювати пил що злипається.

Список використаних джерел

1. Кузнецов С. І. Очищення газів вапняно-випалювальних печей // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2007. – №3(29). – С.74-86.

2. Пат. UA 62855A Кузнецов С. І. Херсонський державний технічний університет. Спосіб очищення відхідних газів котельних від оксиду вуглецю та пристрій для його реалізації. 15.12.2003. Бюл. №12.

3. Пат. UA 62856A Кузнецов С. І. Херсонський державний технічний університет. Спосіб очищення відхідних газів котельних текстильних підприємств.

4. Патент на корисну модель №62802 Україна, МПК В04С3/04(2006.01), В04С5/24(2006.01), В04С5/30(2006.01). Циклонно-ротаційний пиловловлювач / Кузнецов С.І. (Україна); Заявл. 22.04.11; Опубл. 12.09.11, Бюл. №17, 2011.

5. Черный С. Г., Грязин Ю. А., Шашкин П. А. Численное моделирование пространственных турбулентных течений несжимаемой жидкости на основе k-ε моделей // Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 4. № 2. – С. 74-94.

6. Кузнецов С. І. Дослідження характеристик циклонно-ротаційного пиловловлювача // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2006. – №3(26). – С.85-94.

7. Пат. №67180 МКВ F23J11/00 Михайлик В. Д., Михайлик С. В., Кузнецов С. І. ХДТУ. Пристрій для очищення і утилізації тепла відхідних газів. Бюл. №6, 2004

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.08

Ракша-Слюсарєва Олена Анатоліївна

кандидат медичних наук, д.б.н., професор,
професор кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології,
Донецький національний медичний університет, м. Лиман, Україна

Слюсарєв Олексій Аркадійович

кандидат медичних наук, доцент,
завідувач кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології
Донецького національного медичного університету, м. Лиман, Україна

Маричев Ігор Леонідович

канд. мед. наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу епідеміологічного аналізу та вакцинопрофілактики,
н. с., ДУ «Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л. В. Громашевського НАМН України»,
Київ, Україна

Боєва Світлана Станіславівна

кандидат медичних наук, доцент,
доцент кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології,
Донецький національний медичний університет, м. Лиман, Україна

Коваленко Поліна Григорівна

асистент кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології,
Донецький національний медичний університет, м. Лиман, Україна

Тарасова Ірина Анатоліївна

здобувач наукового ступеню,
ДУ «Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л. В. Громашевського НАМН України»,
Київ, Україна

Усікова Зінаїда Леонідівна

старший викладач кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології,
Донецький національний медичний університет, м. Лиман, Україна

СТАН НЕСПЕЦИФІЧНОЇ РЕЗИСТЕНТНОСТІ У МЕШКАНЦІВ МІСТА МАРІУПОЛЯ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Проведено дослідження стану показників неспецифічної резистентності в умовно здорових осіб Донецького регіону, які мешкали в місті Маріуполі в умовах екологічної кризи під час Операції Об'єднаних Сил перед початком вторгнення РФ в Україну. В дослідженнях використовувались імунологічні методи Ірвіня. Стан неспецифічної резистентності оцінювали за абсолютним вмістом лейкоцитів периферичної крові, вмістом нейтрофілів, еозинофілів та моноцитів. Додатково визначалась частота виявлення в обстежених осіб та вміст в пулі нейтрофілів клітин з: набухлим, ворсинчастим, гіперсегментованим, гіпосегментованим, фрагментованим ядром, з токсогенною зернистістю цитоплазми. В результаті досліджень в умовно здорових мешканців м. Маріуполя встановлено активацію неспецифічної резистентності, що проявлялась значним та вірогідним підвищенням вмісту паличкоядерних нейтрофілів, еозинофілів, базофілів та моноцитів. Дослідження задокументували значне та вірогідне підвищення частоти виявлення осіб з цитоморфологічно зміненими нейтрофілами. В пулі нейтрофілів у мешканців м. Маріуполя встановлено значне та вірогідне збільшення кількості клітинних розпадів, вмісту клітин з набухлими, гіперсегментованими, фрагментованими ядрами, з ворсинчастістю хроматину ядра та токсогенною зернистістю цитоплазми. Виявлені цитоморфологічні зміни віддзеркалювали збільшення частки зруйнованих, деградуючих клітин, порівняно з часткою функціонально здатних клітин на тлі інтоксикаційних, мутагенних процесів та підвищення перекисного окислення ліпідів. Результати свідчать про зниження напруження неспецифічної резистентності з тенденцією до зриву адаптації в умовно здорових мешканців м. Маріуполя перед початком вторгнення РФ в Україну 24.02.2022. Отримані дані необхідні, як реперна точка для моніторингу та корекції стану здоров'я мешканців міста після перемоги України у війні з РФ.

Ключові слова: екологічна криза, умовно здорове населення, неспецифічна резистентність, цитоморфологічні дослідження.

THE STATE OF NON-SPECIFIC RESISTANCE IN THE RESIDENTS OF MARIUPOL DURING THE WAR

A study of indicators' state of non-specific resistance in conditionally healthy people of the Donetsk region, who lived in the city of Mariupol in the conditions of the ecological crisis during the Operation of the United Forces before the beginning of the invasion of the Russian Federation into Ukraine, was carried out. Immunological methods of the 1st level were used in the research. The state of non-specific resistance was assessed by the absolute content of peripheral blood leukocytes, content of neutrophils, eosinophils and monocytes. In addition, the frequency of detection in the examined individuals and the content in the neutrophils' pool of cells with: swollen, villous, hypersegmented, hyposegmented, fragmented nucleus, with toxogenic cytoplasmic granularity were determined. As a result of research, the activation of non-specific resistance was established in conditionally healthy residents of Mariupol, which was manifested by a significant and probable increase in the content of rod-shaped neutrophils, eosinophils, basophils and monocytes. Studies have documented a significant and likely increase in the frequency of detection of individuals with cytomorphologically altered neutrophils. In the neutrophil pool of residents of Mariupol, a significant and probable increase in the number of cellular breakdowns, the content of cells with swollen, hypersegmented, fragmented nuclei, villous chromatin of the nucleus and toxogenic granularity of the cytoplasm was established. The revealed cytomorphological changes reflected an increase in proportion of destroyed, degenerating cells compared to the proportion of functionally capable cells against the background of intoxication, mutagenic processes and increased lipid peroxidation. The results indicate a decrease in the stress of non-specific resistance with a tendency to failure of adaptation in conditionally healthy residents of the city of Mariupol before the beginning of the invasion of the Russian Federation into Ukraine on February 24, 2023. The obtained data is necessary as a reference point for monitoring and correcting the state of health of the city's residents after Ukraine's victory in the war with the Russian Federation.

Keywords: ecological crisis, conditionally healthy population, non-specific resistance, cytomorphological studies.

Вступ. Донецький регіон відзначається екологічною кризою внаслідок перенасичення промисловістю й значною концентрацією на його території старопромислових міст [1]. Рівень техногенної небезпеки Донбасу завжди був зумовлений наявністю на його території потенційно небезпечних об'єктів [2-4]. Багатовекторність промисловості Донбасу призвела та призводить до накопичення великих обсягів токсичних промислових відходів різних галузей народного господарства, серед яких значну частку займають ксенобіотики [3-5]. При цьому регіон розташований на геологічній платформі з наявністю радіоактивних еманцій, що обумовлює постійну дію на біоту низькоінтенсивної іонізуючої радіації [6-8]. Частину радіаційного стресу додала аварія на ЧАЕС, внаслідок якої була забруднена як територія самого регіону, так і рослинна та тваринна сировина, що зумовило надходження радіонуклідів з продуктами харчування [9, 10]. Встановлено, що у мешканців територій, забруднених радіонуклідами, спостерігається певна імуносупресія й підвищена частота виявлення ендокринної патології [7, 8, 11-13]. В результаті військових дій руйнується інфраструктура Донбасу, збільшується забруднення джерел питної води, ґрунту, атмосферного повітря важкими металами, підвищується рівень гамма-опромінення. Попри зниження виробництва внаслідок військових дій та окупації частини області військами РФ, Донецький регіон і під час ООС залишався другим за кількістю викидів в атмосферне повітря [10, 14-16].

Одним з найнебезпечніших щодо екології в Донецькому регіоні є місто Маріуполь. Місто Маріуполь, як і весь Донецький регіон, розташоване на геологічній платформі з наявністю радіоактивних еманцій, що обумовлює постійну дію на біоту низькоінтенсивної іонізуючої радіації [11, 15]. Крім того, на міські пляжі узбережжя Азовського моря періодично намиваються радіоактивні чорні піски, що містять природні радіонукліди, в першу чергу, торій, уран та продукти їх розпаду, що хоч і трохи, але підвищує природний радіоактивний фон [17]. Місто утворилось навколо промислового комплексу й основне екологічне навантаження було пов'язане спочатку з діяльністю металургійних підприємств, при розбудові яких у 30-роки минулого сторіччя та подальшій реконструкції не приймалися до уваги ні проблеми екології, ні кліматико-географічні особливості розташування. До початку війни з РФ (2014 р.) й до 23.02.2022 р. м. Маріуполь займав одне з перших місць в Україні за об'ємами викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами, а металургійні комбінати «Імені Ілліча» та «Азовсталь», що розташовані у середмісті, очолили створений Міністерством екології та природних ресурсів список зі 100 підприємств – головних забруднювачів довкілля [3, 14–16, 18, 19]. Роза вітрів м. Маріуполя спрямовує всі пилогазові викиди підприємств до центральних районів міста. В зв'язку з цим, у житлових районах була значно підвищеною концентрація бензпірену (коливання в межах 6-9 ГПК), фтористого водню, аміаку, формальдегіду (коливання в межах 2-3,5 ГПК), пилу, окислів вуглецю, сірководню (коливання в межах 6-8 ГПК), двоокису азоту (коливання в межах 2-3 ГПК) [3, 14–16, 18, 19]. Металургійні підприємства протягом всього часу своєї роботи також постійно здійснювали викиди шкідливих речовин безпосередньо у воду Азовського моря й забруднювали довкілля, негативно впливаючи на флору Приазов'я [3, 18]. До екологічних проблем Маріуполя додалися ще й проблеми з автотранспортом. Військові дії, що відбувались впритул до міста, крім збільшення шкідливих викидів в довкілля

викликають значну психосоціальну напругу й зрушення в психонейроімуноендокринній регуляції організму у мешканців регіону [20–22].

Сукупність комбінованої дії факторів довкілля, частина яких пов'язана з воєнним конфліктом на території Донецчини, негативно впливає на організм у мешканців регіону, зокрема мешканців м. Маріуполя. Це викликає необхідність, з одного боку, моніторингу стану основних систем організму, зокрема імунної системи, а з іншого – розробки методів корекції виявлених порушень. Крім того реперна довоєнна точка є необхідною для наступного моніторингу стану неспецифічної резистентності у післявоєнні роки.

Мета роботи. Дослідити стан показників неспецифічної резистентності у мешканців м. Маріуполя під час військових дій до вторгнення РФ 24.02.2023 р., як реперної точки для подальшого моніторингу та корекції в післявоєнні роки.

Матеріали та методи. Показники неспецифічної резистентності досліджувались в 127 умовно здорової особи, віком 18–26 років, що мешкають в екологічно несприятливому старопромисловому місті Донецького регіону, а саме - в м. Маріуполі. Дослідження проводились в період проведення Операції Об'єднаних Сил перед початком вторгнення військ РФ в Україну 24.02.2022 р. В дослідженні використовувались імунологічні методи І рівня [23, 24]. Дослідження проводились за допомогою гематологічного аналізатора на базі 3 міської лікарні м. Маріуполя з подальшим аналізом лейкограми на базі кафедри мікробіології, вірусології, імунології та медичної біології Донецького національного медичного університету (м. Краматорськ). Показники неспецифічної резистентності оцінювали за абсолютним вмістом лейкоцитів та їх окремих пулів: мієлоцитів, метамієлоцитів, паличкоядерних та сегментоядерних нейтрофілів, моноцитів. Додатково визначали цитоморфологічні зміни клітин: частоту виявлення в обстежених осіб нейтрофілів з набухлим ядром (НЯХ), ворсинчастим (ВХ), гіперсегментованим (ГрН), гіпосегментованим (ГпН), фрагментованим (ФЯН) ядром, з токсогенною зернистістю цитоплазми (ТЗ) та вміст в пулі нейтрофілів клітин з переліченими змінами [14, 25, 26]. При аналізі цитоморфологічних змін лейкоцитів враховували їх кількість на 100 клітин конкретного пулу. Отримані результати виражали у відсотках (%) та порівнювали з показниками норми та даними регіональної норми (РН) для умовно здорових осіб (УЗО) Донецького регіону [7, 14]. Дослідження препаратів мазків крові проводили за допомогою імерсійного мікроскопу-тринокуляр MICROMed XS-41 30. Отримані результати оброблялися методами варіаційної статистики і рангової кореляції з використанням PCL. Були використані програми «Statistica Windows» і пакет відповідних програм вимірювань.

Результати та обговорення. В результаті проведених досліджень було встановлено, що стан показників системи імунітету у мешканців м. Маріуполя відрізняється від загальних показників умовно здорового населення Донецького регіону.

На рисунку 1 надані дані щодо вмісту лейкоцитів, гранулоцитів та лімфоцитів периферичної крові умовно здорових обстежених мешканців м. Маріуполя (УЗОМ) у порівнянні з показниками регіональної норми.

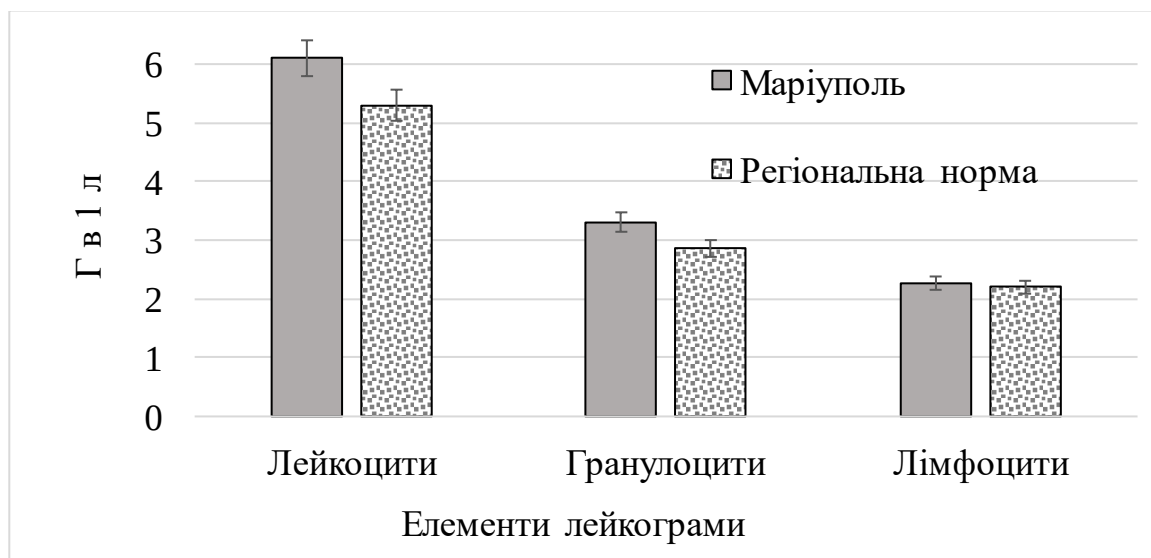


Рис. 1. Вміст лейкоцитів, гранулоцитів та лімфоцитів у периферичної крові мешканців м. Маріуполя у порівнянні з показниками регіональної норми

Вміст лейкоцитів периферичної крові в УЗОМ становив $6,09 \pm 0,38$ Г в 1 л і був вірогідно вищим за показники середньої регіональної норми (РН) $-5,39 \pm 0,10$ Г в 1 л ($P < 0,05$). У $40 \pm 0,82\%$ УЗМ вміст лейкоцитів підвищувався, а у $10 \pm 0,5\%$ був нижчим за показники РН. Серед показників неспецифічної резистентності звертало на себе увагу вірогідне збільшення гранулоцитів до $3,31 \pm 0,07$ порівняно з показниками РН $-2,86 \pm 0,05$ ($P < 0,05$).

На рисунку 2 наведені дані щодо вмісту клітин неспецифічної резистентності – паличкоядерних та сегментоядерних нейтрофілів, еозинофілів та моноцитів у периферичній крові умовно здорових осіб – мешканців м. Маріуполя у порівнянні з показниками регіональної норми.

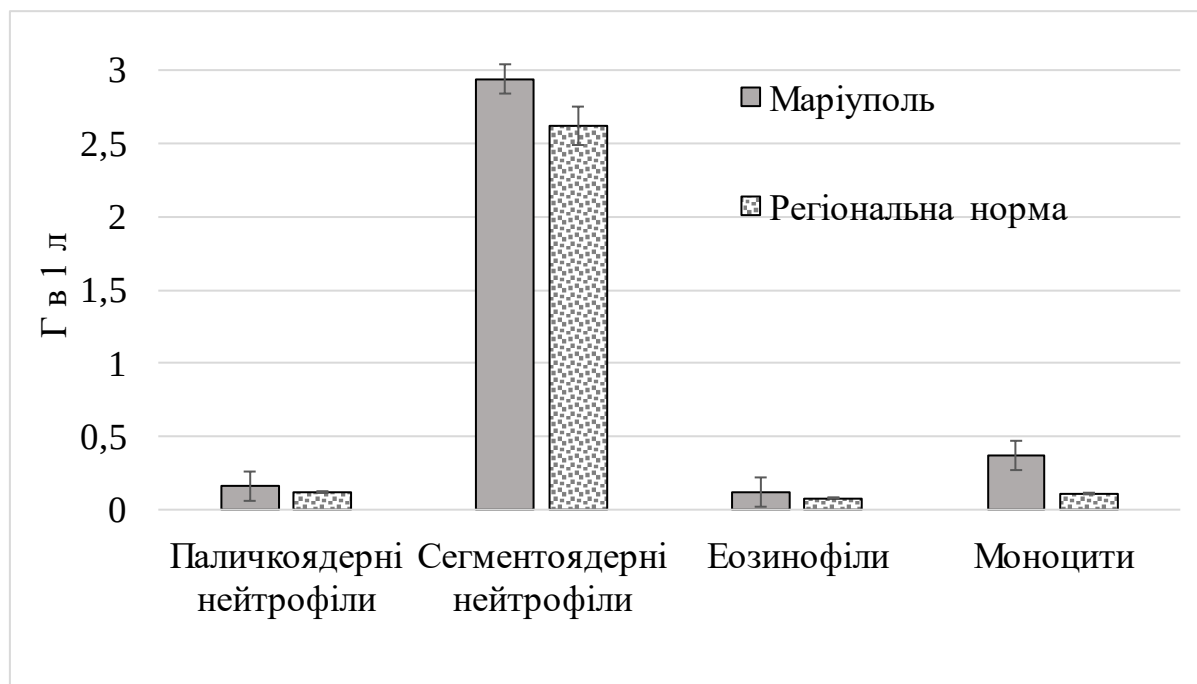


Рис. 2. Вміст паличкоядерних- та сегментоядерних нейтрофілів, еозинофілів та моноцитів у периферичній крові мешканців м. Маріуполя у порівнянні з показниками регіональної норми.

Як видно з наведених на рисунку 2 даних, вміст паличкоядерних нейтрофілів був трохи підвищеним, порівняно з регіональною нормою $0,12 \pm 0,01$ Г в 1 л й становив $0,16 \pm 0,02$ Г в 1 л. Вони були виявлені у $85 \pm 1,8$ % УЗОМ. Підвищений вміст паличкоядерних нейтрофілів реєструвався у $30 \pm 0,76$ % маріупольців. Вміст сегментоядерних нейтрофілів становив в УЗОМ $2,94 \pm 0,27$ Г в 1 л й мав тенденцію до підвищення, порівняно з регіональною нормою й $2,62 \pm 0,06$ Г в 1 л. У $20 \pm 0,67$ % УЗОМ реєструвався підвищений, а в $25 \pm 0,72$ – знижений вміст сегментоядерних нейтрофілів. У $65 \pm 2,38$ % осіб УЗОМ реєструвалися еозинофіли. Середній вміст еозинофілів в УЗОМ становив $0,19 \pm 0,05$ Г в 1 л й був вірогідно підвищеним у порівнянні з регіональною нормою – $0,08 \pm 0,01$ Г в 1 л ($P < 0,05$), але не виходив за верхні межі її норми – $0,25$ Г в 1 л. Підвищений вміст еозинофілів реєструвався у $25,00 \pm 1,25$ % осіб УЗМ. У $55,00 \pm 0,85$ % УЗОМ були виявлені базофіли. Їх середній вміст значно й вірогідно підвищувався й становив в УЗОМ $0,05 \pm 0,02$ при середніх показниках регіональної норми – $0,004 \pm 0,002$ Г в 1 л ($P < 0,05$). Моноцити виявлялись в усіх УЗОМ. Середній вміст моноцитів в УЗОМ становив $0,42 \pm 0,05$ Г в 1 л та значно й вірогідно перевищував показники регіональної норми – $0,16 \pm 0,02$ Г в 1 л. Їх підвищений вміст реєструвався у $20 \pm 0,67$ % обстежених. У $33,3 \pm 0,78$ % УЗОМ виявлено активовані моноцити.

На рисунку 3. Наведені дані щодо частоти реєстрації цитоморфологічних змін нейтрофілів у мешканців м. Краматорська та м. Маріуполя

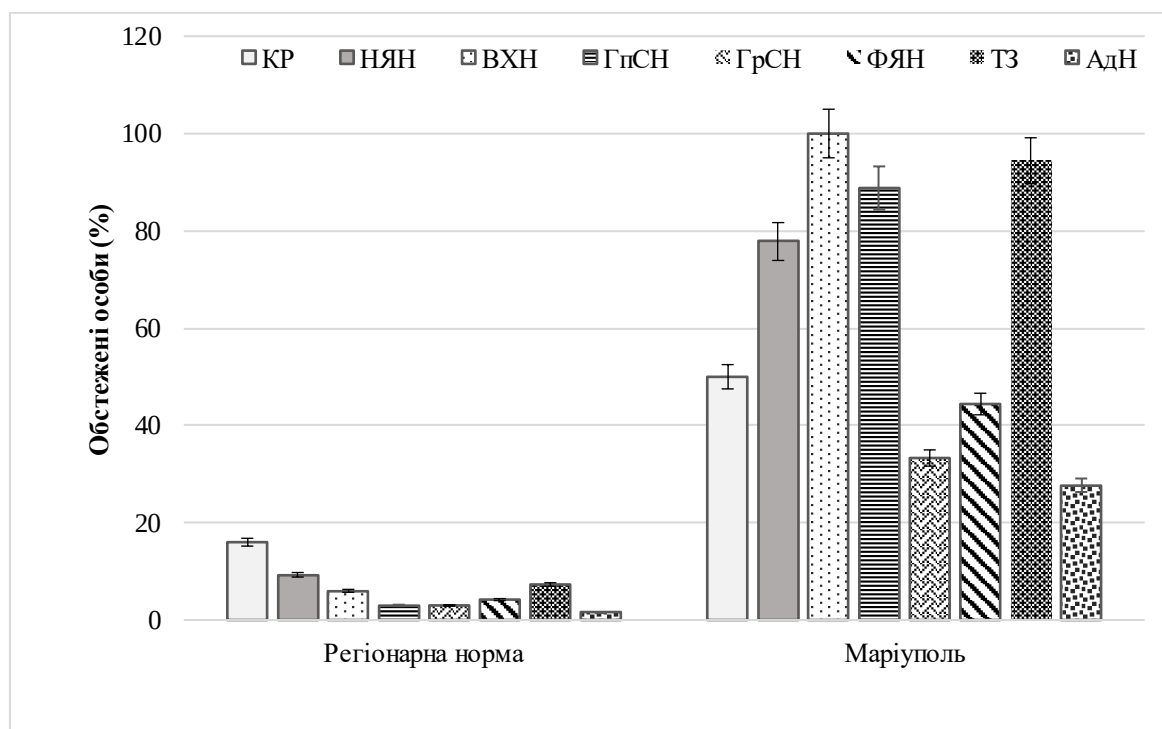


Рис. 3. Частота реєстрації умовно здорових осіб – мешканців м. Маріуполя з наявністю цитоморфологічно змінених нейтрофілів у периферичній крові у порівнянні з показниками регіональної норми. Клітинні розпади (КР), нейтрофіли з: розривами цитоплазматичних мембран і набуханням ядра (НЯН), з ворсинчастістю хроматину ядра (ВХН), гіпосегментованим (ГпСН), гіперсегментованим (ГрСН) та фрагментованим ядром (ФЯН), клітин з токсогенною зернистістю цитоплазми (ТЗН), адгезія нейтрофілів (АдН).

Як видно з даних, що наведені на рисунку 3, частота виявлення негативних цитоморфологічних змін основних клітин неспецифічної резистентності – нейтрофілів в УЗОМ була значно більшою, порівняно з показниками регіональної норми. Так, клітинні розпади були зареєстровані у 50,00±2,50% обстежених УЗОМ при нормі 16,00±0,61%. Нейтрофіли з ВХН виявлялись у 100% обстежених УЗОМ при показниках регіональної норми – 6,20±0,24%. Частота виявлення осіб з наявністю НЯН, ФЯН, ГрСН, ГпСН, ТЗН та АдНв УЗОМ була значно та вірогідно вищою й становила, відповідно 77,80±%, 44,40±%, 33,30±%, 88,80±%, 94,40±% та 27,70±0,81% при показниках норми, відповідно, 9,30±1,60%, 4,20±0,15%, 3,10±0,17%, 3,20±0,11%, 7,30±0,26% ($P<0,05$).

На рисунку 4 наведені дані щодо вмісту нейтрофілів з цитоморфологічними змінами у мешканців м. Маріуполя у порівнянні з показниками регіональної норми.

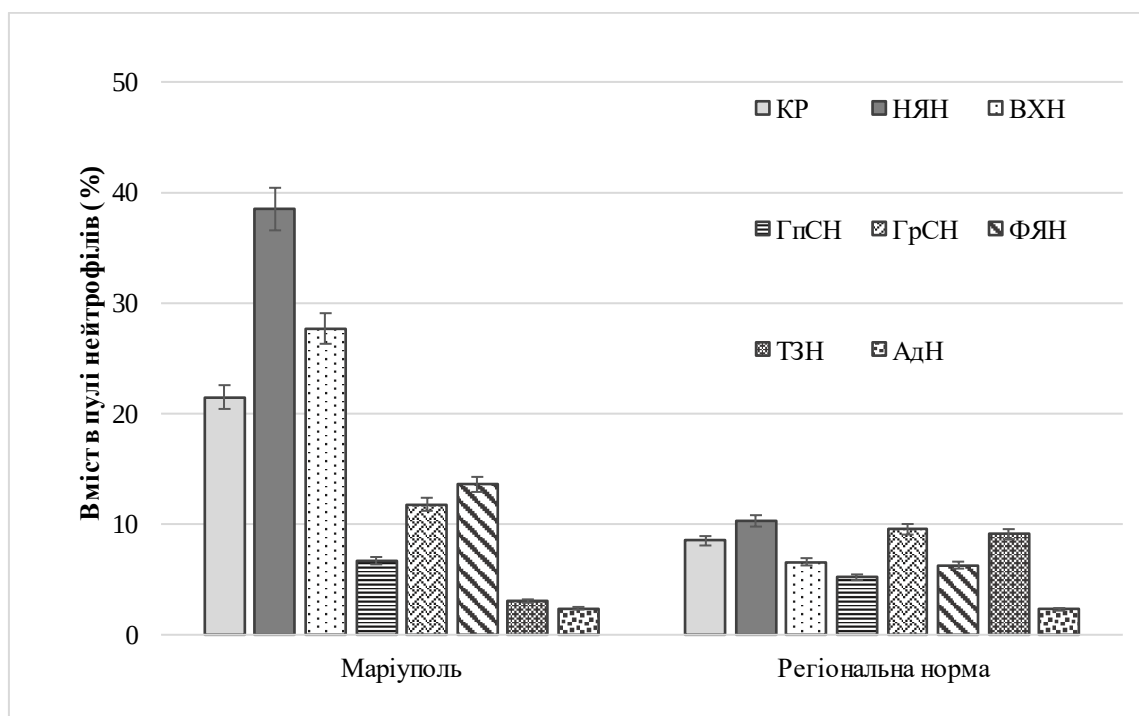


Рис. 4. Вміст цитоморфологічно змінених клітин у пулі нейтрофілів периферичної крові мешканців м. Маріуполя у порівнянні з показниками регіональної норми. Клітинні розпади (КР), нейтрофіли з: клітин із розривами цитоплазматичної мембрани і набуханням ядра (НЯН), з ворсинчастістю хроматину ядра (ВХН), гіпосегментованим (ГпСН), гіперсегментованим (ГрСН) та фрагментованим ядром (ФЯН), клітини з токсогенною зернистістю цитоплазми (ТЗН), адгезія нейтрофілів (АдН).

Кількість клітинних розпадів (КР) в УЗОМ становила $21,5 \pm 2,1\%$, й була вірогідно вищою, порівняно з показниками регіональної норми – $8,5 \pm 1,3\%$ ($P < 0,05$). Вміст в пулі нейтрофілів клітин з набуханням ядерного хроматину (НЯН), що свідчать про розриви в цитоплазматичних мембранах внаслідок підсилення перекисного окислення ліпідів й дії токсичних речовин значно й вірогідно підвищувався в УЗОМ і становив $38,5 \pm 2,7\%$ при показниках регіональної норми – $10,3 \pm 1,34\%$ ($P < 0,05$). Вміст клітин з ворсинчатістю хроматину (ВХН), поява яких віддзеркалює наявність мутагенного фактору й процесу незавершеного поділу ДНК клітин, в УЗОМ значно й вірогідно підвищувався до $28,7 \pm 2,10\%$ при показниках норми $6,6 \pm 0,65\%$ ($P < 0,05$), що свідчило про значне збільшення клітин з мутаціями й змінами ДНК. Вміст деградованих нейтрофілів у вигляді клітин з фрагментованим ядром вірогідно збільшився в пулі нейтрофілів УЗОМ і становив $13,6 \pm 1,83\%$ при нормі $6,3 \pm 0,90\%$. Вміст клітин з ГрСН, що є видом розпаду старіючих клітин становив в пулі нейтрофілів УЗОМ $11,8 \pm 1,50\%$ й був вірогідно вищим за показники норми – $5,5 \pm 0,81\%$ ($P < 0,05$). При цьому вміст клітин з ГпСН, які являють собою молоді клітини, в пулі нейтрофілів УЗОМ становив $6,7 \pm 0,81\%$ й не відрізнявся від РН – $5,2 \pm 1,80\%$. Тобто в пулі нейтрофілів реєструється дисбаланс між вмістом молодих функціонально активних клітин та деградованих малофункціональних клітин на перевагу останніх. Вміст клітин з ТЗН в пулі нейтрофілів в УЗОМ був значно та вірогідно більшим – $30,5 \pm 3,4\%$ за показники регіональної норми – $9,1 \pm 0,91\%$ ($P < 0,05$). Що свідчило не лише про значний токсогенний фактор в організмі, але й про зниження детоксикаційної функції у нейтрофілів, як клітин, що забезпечують неспецифічну резистентність. При цьому в УЗОМ не змінювався вміст адгезованих клітин в пулі нейтрофілів, який становив $2,4 \pm 0,40\%$ при регіональній нормі $2,3 \pm 0,30\%$.

Таким чином, при збільшенні вмісту гранулоцитів (паличкоядерних нейтрофілів та еозинофілів, базофілів), у осіб УЗОМ значно та вірогідно збільшувалась частота виявлення осіб з цитоморфологічними змінами нейтрофілів та вміст змінених клітин в пулі нейтрофілів. Виявлені особливості вмісту цитоморфологічно змінених клітин в пулі нейтрофілів свідчили про збільшення частки зруйнованих, деградуючих клітин, порівняно з часткою функціонально здатних клітин на тлі інтоксикаційних, мутагенних процесів та підвищення перекисного окислення ліпідів.

Висновки

1. Отримані дані свідчать про напруженість неспецифічної резистентності в умовно здорових мешканців м. Маріуполя під час військових дій до вторгнення РФ 24.02.2023 р., що вимагає адекватної корекції.
2. Можна розглядати отримані результати як реперну точку для подальшого моніторингу та корекції стану здоров'я мешканців м. Маріуполя в післявоєнні роки після перемоги України у війні з РФ.

Список використаних джерел

1. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України / Н. Денісов та інші. – К.: ВАІТЕ, 2017. – 88 с.
2. Клеп Є. В. Динаміка розвитку старопромислових міст України в умовах сучасних викликів і загроз // Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 8. С. 126 – 128.
3. Програма Національної Академії наук України «Відродження Донбасу: оцінка соціально-економічних втрат» URL: <http://ief.org.ua/wp-content/uploads>.
4. Sokolenko L. F. Ecological and economic security assessment in the system of regional environmental management: A case study of Ukraine / L. F. Sokolenko, I. V. Tiutiunyk, D. V. Leus // International Journal of Ecology & Development. 2017. Vol. 32. Issue 3. P. 27 – 35.
5. Выговская Д. Д. Анализ загрязнения окружающей среды от действия горнодобывающих предприятий на Донецко-Макеевский регион / Д. Д. Выговская и др. // Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. №1. С. 50-57.
6. Ластков Д. О. Влияние технологически измененного естественного радиационного фона на население угледобывающих регионов / Д. О. Ластков и др. // Проблемы профилактической медицины: Сб. статей. – Донецк, ООО «Лебедь», 1997. Ч.1. С. 36 – 38.
7. Ракша-Слюсарева О. А. Екоімунологічні особливості умовно здорових мешканців Донецького регіону в динаміці моніторингу після аварії на ЧАЕС / О. А. Ракша-Слюсарева, О. А. Слюсарев // Донецький вісник Наукового товариства ім. Шевченка. 2006. Т.14. С.102 – 112.
8. Стефанишин О. О. Радіаційне забруднення на території України. / О. О. Стефанишин, Т. Г. Гарасимів, В. В. Мах // Ecological Safety and Balanced Use of Resources. 2017. Т. 1, №15. С. 18 – 23
9. Ракша-Слюсарева О.иА. Еколого-радіаційна ситуація в Донецькому регіоні під час проведення Операції Об'єднаних Сил / О. А. Ракша-Слюсарева та ін. // «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» XV Міжнародна наукова конференція в рамках «Ольвійський форум-2019: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»: тези 6-9 червня 2019 р., м. Миколаїв – с. Коблево. Миколаїв, 2019. С. 30 – 33
10. Ракша-Слюсарева О. А. До питання про забруднення продуктів харчування радіонуклідами в Донецькому регіоні // Вісник ДонГУЕТ. 2004. № 4 (24). – С. 27 – 33
11. Камінський О. В. Пілотне дослідження стану прищитоподібних залоз осіб, опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС дорослого та дитячого віку, методологія їх ультразвукового дослідження / О. В. Камінський та ін. // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2017. Вип. 22. С. 382–394.
12. Соколенко В. Л. Взаємозв'язок показників імунної системи та тиреоїдного статусу в осіб з радіаційно-забруднених територій за умов психоемоційного навантаження / В. Л. Соколенко, С. В. Соколенко // Фізіол. журн. 2017. 63, № 3. С. 32 – 39
13. Ракша-Слюсарева О. А. Предиктори системи крові та імунітету в умовно здорового населення Донецького регіону під час проведення ООС / О. А. Ракша-Слюсарева та ін. // Scientific research of the XXI century. Volume 1: collective monograph / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks. Los Angeles: GS publishing service, 2021. С. 162 – 166.
14. Богомаз О. О. Порівняльний аналіз стану навколишнього середовища за регіонами України / О. О. Богомаз, О. С. Корепанов // Fundamental and applied research in the modern world»: abstracts of IV International Scientific and Practical Conference. Boston, USA, 18-20 November, 2020. Boston: BoScience Publisher, 2020. P. 351 – 357.
15. Війна на сході України: бойові дії та екологічні наслідки. URL: <http://euaeco.com/?environmental-consequences-fighting/ua>.
16. Які екологічні небезпеки приховує зона бойових дій на Донбасі? URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/28074483.html>
17. Піски чорні. URL: https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az/Піски_чорні.html
18. Екологічний моніторинг в зоні АТО. URL: <https://menr.gov.ua/timeline/Ekologichniy-monitoring-v-zoni-ATO>
19. Екологічна ситуація в Маріуполі. URL: NiNa.Az <https://www.wiki-data.uk-ua.nina.az>
20. Дегтяренко Т. Синдром екологічної дезадаптації в сучасних кризових умовах / Т. Дегтяренко, В. Коджебаш // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. 2017. № 4. С. 80 – 90
21. Селезнева С. В. Неврологічний та психоемоційний стан населення Донецького регіону та вплив на нього препарату «V-омега-3» / С. В. Селезнева та ін. // Медична наука України. 2021. Т.17, №4. С. 77 – 82
22. Соколенко В. Л. Вплив факторів стресової природи на показники імунної системи / В. Л. Соколенко, С. В. Соколенко // Вісн. Черкас. ун-ту. Сер. Біол. науки. 2015. № 19. С. 110 – 114

23.Руководство к практическим занятиям по клинической лабораторной диагностике / Под ред. М. А. Базарновой, В. Т. Морозовой. К.: Вища школа, 1988. – 318 с.

24.Клінічна лабораторна діагностика: навчальний посібник (ВНЗ III—IV р. а.) / Б. Д. Луцик та ін.; за ред. Б. Д. Луцика. – 2-е вид. К. : ВСВ «Медицина», 2018. – 288 с.

© Ракша-Слюсарева О. А., Слюсарев О. А., Боєва С. С.,
Маричев І. Л., Коваленко П. Г., Усікова З. Л., 2023

Дата надходження статті до редакції: 26.05.2023

DOI: 10.34132/ers.2023.01.01.09

Телюра Наталья Олександрівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
Харків, Україна

Івашенко Марина Юріївна

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри
охорони праці та безпеки життєдіяльності,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
Харків, Україна

СПОСІБ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАХОДУ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ, РОЗТАШОВАНИХ НА ЕВТРОФОВАНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ

В населених пунктах України використовуються чотири системи відведення стічних вод. Для всіх цих систем, незважаючи на їх характерну деяку відмінність, виділено основні спільні риси, що спричиняють техніко-екологічні проблеми. Показано, що особливо актуальним є поступове переважиття існуючих систем водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. Внаслідок незадовільного стану систем водовідведення, в аварійних ситуаціях на каналізаційних мережах та з недостатньо очищеними поверхневими та дренажними стічними водами у водні об'єкти потрапляє значна кількість органічних та біогенних речовин, патогенної мікрофлори, що призводить до підвищення екологічної небезпеки водних об'єктів.

Ключові слова: екологічна безпека, сталий розвиток, населений пункт, аквальні ландшафти, евтрофований водний об'єкт, технологічний захід екологічно безпечного водовідведення, метод аналізу ієрархій, програмно-аналітичний метод вибору, впровадження.

METHOD OF CHOOSING A TECHNOLOGICAL MEASURE OF ENVIRONMENTALLY SAFE DRAINAGE IN THE SETTLEMENTS OF UKRAINE LOCATED ON EUTROPHED WATER

In the settlements of Ukraine, four types of wastewater drainage systems are used. For all these systems, despite their distinctive differences, the main features that cause technical and ecological problems are identified. It is shown that the gradual reorganization of existing drainage systems of settlements are located at eutrophic water bodies are especially relevant. Due to the unsatisfactory state of wastewater systems, in emergency situations on sewer networks and with insufficiently cleaned surface and drainage wastewater, a significant amount of organic and biogenic substances, pathogenic microflora get into water bodies. This leads to an increase in the ecological unsafety of water bodies. Based on the analysis of literature data, the tasks are identified that need to be solved to achieve the goal.

Key words: ecological safety, sustainable development, settlement, aqua landscapes, eutrophic water body, technologies of ecologically safe water disposal, method of hierarchy analysis, software analytical method of choice, implementation.

Вступ. На сьогодні антропогенним евтрофуванням охоплено водні об'єкти (прісноводні та прибережні морські) багатьох країн світу. Розвитку процесів антропогенного евтрофування поверхневих водних об'єктів – джерел питного водопостачання та рекреаційного використання в населених пунктах сприяє потрапляння господарсько-побутових стічних вод при аварійних ситуаціях на каналізаційних мережах та недостатньо очищені і неочищені поверхневі, дренажні стічні води.

Аналіз літературних джерел та відомчої інформації свідчить про те, що питанням визначення найбільш ефективних засобів та технологій водовідведення в населених пунктах розташованих на евтрофованих водних об'єктах приділялось недостатньо уваги.

На сьогодні у відповідності до екологічного законодавства ЄС зростають вимоги щодо забезпечення населення якісною питною водою та суттєвого зменшення впливу стічних вод населених пунктів на водні об'єкти. Актуальним є впровадження підходу, заснованого на виявленні напрямів поліпшення роботи системи водовідведення в населених пунктах за рахунок удосконалення її організації і управління та впровадження передового досвіду країн ЄС.

Екологічна безпека України неможлива без урахування соціального та економічного розвитку суспільства, при якому поліпшення рівня життя населення відбувається одночасно зі зменшенням шкідливих впливів на

навколишнє природне середовище (НПС). Результати досліджень водогосподарської та природоохоронної ситуації в Україні свідчать про необхідність організації і забезпечення екологічно збалансованого водокористування, поліпшення якості води для водопостачання населення і різних галузей економіки.

В умовах погіршення стану НПС України, масштаби якого привели до втрати стійкості водних екосистем і збільшення впливу екологічних складових на здоров'я населення (про що свідчать соціальні та медичні дані), на особливу увагу заслуговує розробка та обґрунтування шляхів зниження негативного впливу водного фактора. Перш за все проблеми, що стосуються водних об'єктів (ВО), пов'язані зі вступом до них забруднюючих речовин (ЗВ), зокрема, промислових стоків. В результаті відбувається порушення екосистем ВО, виражене в таких показниках:

- постійне збільшення обсягу скидаються у ВО побутових і промислових стоків без належної обробки на очисних спорудах населених пунктів (НП);
- скупчення у ВО великої кількості органічних і біогенних речовин, збільшення їх трофічного статусу;
- скорочення біологічного різноманіття у ВО, зниження якості води.

Використання евтрофованих водних об'єктів (ЕВО) як джерела питного водопостачання або в рекреаційних цілях створює високий ступінь небезпеки [1, 2], оскільки вони схильні до шкідливого «цвітінню». Недотримання правил щодо систем водовідведення та аварійні ситуації призводять до порушень еколого-соціальних нормативів у сфері питного водопостачання або рекреаційного водокористування ЕВО [3-6]. Для поліпшення стану ВО слід враховувати новітні прийоми з перебудови водовідведення в екологічно безпечну систему.

Згідно з «Національним планом дій з гігієни довкілля...» [7] та Указом Президента України «Про стан безпеки водних ресурсів держави та якості питної води в містах і селах України» [8], Законом України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» [9] усі рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, повинні прийматися зі здійсненням оцінки їх можливого впливу на здоров'я населення. Здоров'я населення визнано основним критерієм ефективності функціонування всіх без винятку сфер господарської діяльності, а забезпечення населення НП якісною питною водою – основним завданням органів місцевої влади. Поліпшення екологічного стану ВО та якості питної води визнано пріоритетним напрямком державної політики України у галузі охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки [10].

У розв'язанні проблеми збалансованого розвитку [11] населених пунктів одним з значущих завдань (пріоритетів) є екологічно безпечне функціонування таких об'єктів життєзабезпечення, як системи централізованого водопостачання та водовідведення НП, у сферу діяльності яких входить екологічно безпечне використання водних ресурсів для питного водопостачання та рекреаційного використання і охорона водних об'єктів від забруднення стічними водами. Одним із суттєвих джерел забруднення водних об'єктів є надходження неочищених поверхневих стічних вод з території населених пунктів [12]. Саме тому екологічна безпека територій НП може бути досягнута лише при комплексному вирішенні проблеми від утворення і забруднення поверхневого стоку до впровадження системи відведення і очищення поверхневих стічних вод – системи дощової каналізації [10].

Під екологічно безпечним водовідведенням (ЕБВ) у населених пунктах розуміється комплекс санітарних заходів та інженерних споруд, що забезпечують збір, очищення та відведення стічних вод усіх категорій з території населених пунктів у водні об'єкти, при якому не порушуються нормативні вимоги щодо стану водних об'єктів – приймачів стічних вод, за умови задоволення потреб населеного пункту [10].

З метою покращення стану водних об'єктів та створення безпечних умов водокористування запропонована організація ЕБВ усіх видів стічних вод з території населених пунктах України, де основна роль належить впровадженню технічних, технологічних заходів та технологій щодо перевлаштування систем водовідведення в екологічно безпечну систему [10, 13]. Це є особливо актуальним для зменшення безпосереднього впливу користувачів води евтрофованих водних об'єктів. Технології екологічно безпечного водовідведення (ЕБВ) відповідають сучасному рівню досягнень у галузі захисту вод та відносяться до категорій «найкращі доступні технології», які затверджені в країнах ЕС [10, 13-15].

Основними вимогами до екологічно безпечного водокористування населених пунктів України є [10, 13]:

- забезпечення екологічно стійкого функціонування водного об'єкту як елемента природного середовища зі збереженням властивостей водних екосистем до відновлення якості води шляхом упорядкування водоспоживання та водовідведення в населених пунктах;
- задоволення господарських потреб населених пунктів без погіршення якості водних ресурсів та умов життєдіяльності населення.

Для подальшого управління екологічно безпечним водоспоживанням на основі вимог сталого розвитку, у [10, 13] зазначено, що необхідно впроваджувати комплексне еколого-соціальне оцінювання ВО, а особливу увагу слід приділити саме ЕВО, як джерелам екологічної небезпеки, при питному та рекреаційному водокористуванні.

Для обґрунтування управлінських рішень та забезпечення сталого соціально-екологічного розвитку [11], пропонується розвинути дослідження щодо комплексної еколого-соціальної оцінки (ЕСО) евтрофованих водних об'єктів, а саме, приділити увагу при дослідженнях джерел антропогенного навантаження на ЕВО, не тільки промислові підприємства, комунальне господарство та аварійні ситуації, а й додати дослідження неорганізованих поверхневих стічних вод, в тому числі з евтрофованих ґрунтів. Блок досліджень складових водних екосистем

доповнити, дослідженням стану евтрофованих ґрунтів. Дані дослідження сприятимуть проведенню екологічної оцінки стану ЕВО при впливі процесу евтрофування ґрунтів на розвиток рослинності. Блок досліджень впливу процесів евтрофування на життєдіяльність населення доповнити дослідженням стану рослинності на евтрофованих ґрунтах.

Подальший розвиток проведення досліджень ЕСО ЕВО сприятиме обґрунтуванню оцінювання безпечності життєдіяльності населення при водокористуванні ЕВО та евтрофуванні ґрунтів [16].

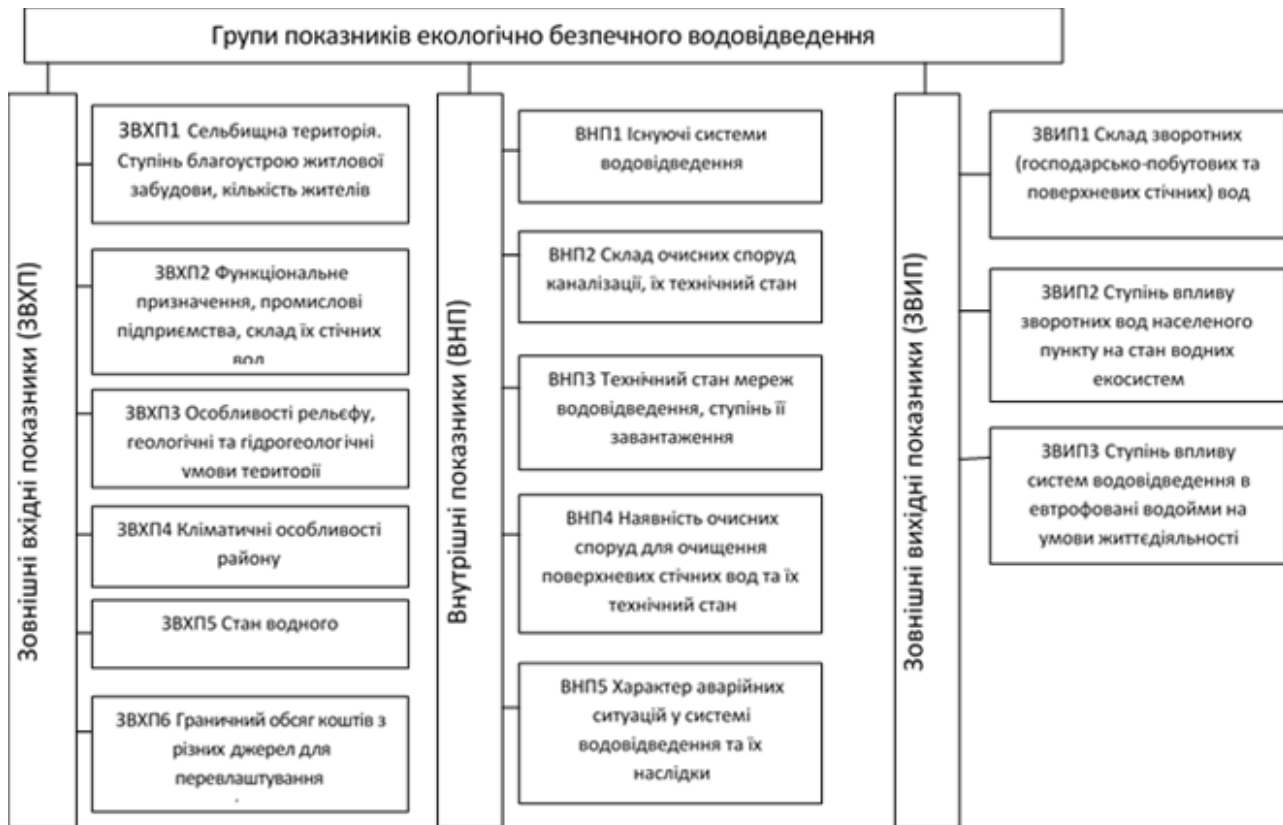


Рис. 1. Групи показників для характеристики системи водовідведення НП

Мета та методи. Метою дослідження є обґрунтування процедури вибору управлінських рішень при впровадженні технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. При виконанні роботи для вибору технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення використовувався комплекс загальнонаукових (аналіз, синтез, порівняння, узагальнення) та спеціальних методів (програмно-аналітичний метод з використанням методу аналізу ієрархій).

Результати. В основу дослідження покладена гіпотеза, якщо, з кожним з варіантів технологічного заходу буде співставлена відповідна кількісна оцінка, то її врахування при прийнятті рішення зменшить вірогідність прийняття невірної рішення (рис. 2).

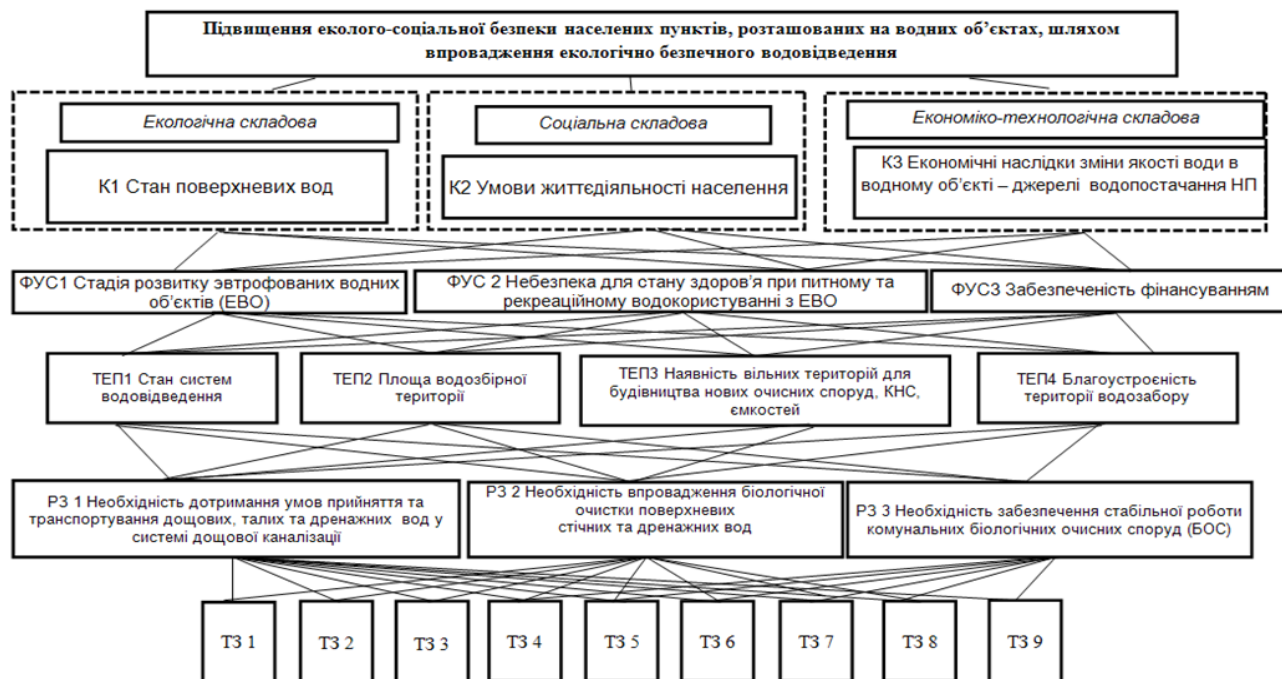


Рис. 2. Ієрархія вибору технологічних заходів

Для вирішення завдань такої складності застосовують методи системного аналізу, окремим випадком яких є метод аналізу ієрархій (МАІ). МАІ дозволяє структурувати складну проблему, провести її декомпозицію, врахувати взаємодію окремих її елементів, формалізувати роботу експертів шляхом поділу процедури узгодження на ряд етапів, з результатом виконання кожного з яких з'являється відповідна кількісна характеристика, представлена в узагальнених (безвідносних) одиницях виміру. Все це дає можливість при впровадженні технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення (ТЗ ЕБВ), ґрунтуючись на безлічі суперечливих критеріїв і суджень, підвищити ефективність управління в галузі сталого розвитку еколого-соціальної безпеки населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. Нижче розглянуті основні етапи реалізації цієї процедури.

Процедура полягає у виконанні 4 етапів:

Перший етап – формування мети дослідження; визначення критеріїв еколого-соціальної безпеки, побудова ієрархії вибору ТЗ ЕБВ.

Другий етап:

- проведення інструментальних (польових) вимірювань та камеральної обробки отриманих значень за кожним критерієм;

- розрахунок екологічних показників.

Третій етап: заповнення матриць експертної оцінки переваг за кожним ієрархічним рівнем та визначення пріоритету (переважаючого, найбільш важливого, глобального) критерію на кожному ієрархічному рівні.

Четвертий етап:

- прийняття обґрунтованого рішення щодо вибору найбільш еколого-соціально безпечного технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення за найбільшим значенням глобальних пріоритетів для відповідного ТЗ ЕБВ.

Розглянемо більш детально кожен з етапів: перший етап полягає у формуванні мети проведеного дослідження (1-й рівень ієрархії) – підвищення еколого-соціальної безпеки населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, шляхом впровадження ЕБВ, що представляє верхній рівень ієрархії (див. рис. 2).

Ієрархія побудована з урахуванням вимог принципів водокористування і заснована на обліку впливають екологічних факторів і знаходиться у відповідності з принципами сталого розвитку. Так, особливу увагу приділено шостому ієрархічному рівню, на якому розміщено альтернативні технологічні заходи екологічно безпечного водовідведення, а саме: ТЗ 1 – очищення поверхневих стічних вод (ПСВ) на БІС; ТЗ 2 – очищення поверхневих стічних вод на комунальних спорудах біологічної очистки стічних вод (БОС); ТЗ 3 – будівництво 2-х акумулюючих ємностей на БОС для регулювання та перехоплення залпових скидів виробничих стічних вод; ТЗ 4 – локальна очистка ПСВ з території автостоянок, заправних станцій, торгівельних центрів, з подальшим скидом в зливову каналізацію населеного пункту; ТЗ 5 – застосування дощоприймачів з прямим для осаду; ТЗ 6 –

очищення ПСВ з окремих територій, які мають самостійний випуск у водний об'єкт на локальних очисних спорудах; ТЗ 7 – організаційно-технічні заходи зі зменшення кількості домішок, що виносяться поверхневим стоком, або поліпшення санітарного стану водозбірних територій; ТЗ 8 – збільшення площ каналізування територій; ТЗ 9 – поліпшення експлуатації мереж водовідведення.

Другий етап процедури – експертне порівняння пар критеріїв поточних рівнів ієрархії і формування відповідних множин матриць парних порівнянь для кожного з рівнів, за критерієм, в якості якого виступає елемент більш високого рівня ієрархії. При цьому задають питання типу: визначте на основі відносної уніфікованої шкали попарного експертного оцінювання (зважування) спеціально пристосованої для вирішення екологічних завдань, який з факторів має на еколого-соціальну безпеку населених пунктів найбільш сильний вплив.

Третій етап процедури – розрахунок глобальних пріоритетів критеріїв ієрархічної моделі. Вихідною інформацією для розрахунків служить результат виконання другого етапу. В якості інструментальної підтримки, наприклад, можна застосувати середовище «MPRIORITY 1.0» (My Priority), що дозволяє автоматизувати весь процес розрахунку, і збільшити ефективність його проведення, за рахунок спеціально адаптованих під особливості методу діалогові засоби. У розв'язуванні багатокритеріальних задач підтримки прийняття рішень, відмічене збільшення уваги на програмні продукти які дозволяють автоматизувати прийняття рішень, тобто застосовувати цифрові технології у процедурі прийняття рішень. Основне призначення даних програмних продуктів це прийняття обґрунтованого рішення, з вибору пріоритетного варіанту, яке не завжди піддається кількісним вимірам.

Четвертий етап процедури – прийняття обґрунтованого управлінського рішення щодо вибору найбільш еколого-соціально безпечного технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення за найбільшим значенням глобальних пріоритетів для відповідного ТЗ ЕБВ.

Проведений аналіз дозволяє розробити стратегію управління еколого-соціальної безпекою для населених пунктів України, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, шляхом розробки рекомендацій щодо впровадження ТЗ ЕБВ із застосуванням методу аналізу ієрархій.

Як методологічна основа вирішення задач вибору з величезної кількості альтернативних варіантів на основі їх багатокритеріального порівняння успішно використовується програмні продукти на базі математичного методу аналізу ієрархій (МАІ/АНР/АНР), запропонований Т.Сааті [17, 18]. На повноту та достовірність отриманих результатів експертного опитування впливає спосіб відбору експертів (фахівців)-спеціалістів до складу груп. Визначення оптимального принципу відбору експертів, є першочерговою задачею дослідження. У відповідності до задач дослідження та об'єкту, необхідно застосовувати найбільш оптимальні підходи до відбору. Визначені переваги та недоліки існуючих способів відбору експертів, спрямовані на оптимізацію процесу визначення способу формування групи.

Використання сучасних методів прийняття рішень щодо їх впровадження в окремому населеному пункті з метою вибору пріоритетних технологій водовідведення, обумовлено особливістю та чисельністю факторів та критеріїв, оцінюванні кінцевого результату, що повинно забезпечувати прийняття обґрунтованого рішення.

Врахування соціальних, екологічних і економіко-технологічних складових сталого розвитку населеного пункту є основою цифрового програмно-аналітичного методу декомпозиції складної задачі обґрунтування і вибору пріоритетних технологій водовідведення у вигляді ієрархічного уявлення її елементів з подальшим синтезом пріоритетів, шляхом знаходження відносин між елементами через експертні судження, включаючи метод аналізу ієрархії, адаптований для цілей досліджуваних задач.

Обговорення. Перевагою запропонованого багатокритеріальної процедури програмно-аналітичного методу є можливість ув'язати в єдиний алгоритм виробки рішення вихідні дані, що різняться як за своїм фаховим змістом, так і за формою представлення (статистичні, прогнозні, дані безпосередніх вимірів, експертні оцінки). Крім того, до переваг розробленої процедури програмно-аналітичного методу слід віднести те, що він базується на досить розробленому та практично відпрацьованому методі аналізу ієрархій. Зокрема, для даного методу є декілька програмних продуктів, які дозволяють ефективно здійснювати розрахунки вихідних показників. Використана програма MPriority 1.0, яка дозволяє провести розрахунки та отримати індекси узгодженості по задачі з високою точністю [17].

Обмеженням цієї процедури є реальні межі застосування запропонованого методу, оскільки є можливість впливу зовнішніх факторів та умов, що може призвести до втрати стійкості. Крім того, в перспективі з появою нових технологій водовідведення ними потрібно буде доповнювати 6-й рівень ієрархії вибору (рис. 2). При цьому, буде перевищено кількість альтернатив, які необхідно буде попарно порівнювати на цьому рівні ієрархії (за рекомендаціям [18] їх кількість не повинна перебільшувати дев'яти). В даному випадку, не обійдуться приймати спеціальні заходи для збереження прийнятної узгодженості в задачі, але це призведе до ускладнення її рішення. Цей недолік можливо частково компенсувати шляхом виключення з аналізу технологій водовідведення, які втрачають актуальність за часом [17].

Висновки

Програмно-аналітичний метод, що включає МАІ, дозволяє не тільки визначити пріоритетну технологію водовідведення, але й дати кількісну оцінку ступеня переваг за допомогою ранжирування варіантів, що забезпечує досить повне і адекватне обґрунтування переваг особи, що приймає рішення. Таким чином, розроблена процедура програмно-аналітичного методу вибору дозволяє спеціалістам органів місцевої влади та експертам відповідного фахового спрямування (екологічного, соціального та економіко-технологічного) брати участь у підготовці консолідованих рекомендацій для прийняття управлінського рішення з вибору пріоритетної технології екологічно безпечного водовідведення в умовах конкретного населеного пункту.

Список використаних джерел

1. Гончарук, В. В., Верголяс, М. Р., Болтина, И. В. (2013). Исследование мутагенности и генотоксичности питьевой воды. *Химия и технология воды*, 35 (5), 426–435.
2. Телюра, Н. О., Дмитрієва, О. О., Колдоба, І. В. (2017). Спосіб водовідведення у водогосподарських системах населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах: пат. 127470 Україна. № u201710629; заявл. 02.11.2017; опубл. 10.08.2018, Бюл. № 15.
3. Дмитрієва, О. О., Хоренжая, І. В. (2016). Еколого-соціальне оцінювання стану евтрофованих водних об'єктів. *Екологія і промисленість*, 1 (46), 105–110.
4. Сиренко, Л. А., Корелява, И. А., Михайленко, Л. Е. (1989). *Растительность и бактериальное население Днепра и днепровских водохранилищ*. К. : Наукова думка.
5. Оксик, О. П., Давыдов, О. А. (2012). Санитарная гидробиология в современный период. Основные положения, методология, задачи. *Гидробиологический журнал*, 48 (6), 50–65.
6. Niamien-Ebrotte, J. E., Bhattacharyya, S., Deep, P. R., Nayak B. (2015). Cyanobacteria and cyanotoxins in the World: Review. *International Journal of Applied Research*, 1 (8), 563–569.
7. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2015 році. (2015). Київ: Мінрегіон.
8. Про стан безпеки водних ресурсів держави та якість питної води в містах і селах України. Указ Президента України Про рішення Ради національної безпеки і оборони України № 75/2003 від 11 листопада 2002 року. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75/2003>.
9. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення. Закон України № 2918-III від 10.01.2002. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14/ed20170621>
10. Дмитрієва, О. О. (2008). Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України: монографія К. : РВПС України НАН України.
11. Телюра, Н. О., Поколюдина, М. М., Ломакіна, О. С. (2011). Підходи до розробки екологічних індикаторів сталого розвитку на національному рівні. *Комунальне господарство міст*, 101, 150–153.
12. Телюра, Н. О., Дмитрієва, О. О., Хоренжая, І. В. (2017). Екологічна безпека населених пунктів України розташованих на евтрофованих водних об'єктах. *Комунальне господарство міст*, 139, 120–125.
13. Проект ДСТУ-Н***Настанови щодо організації екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України. Retrieved from http://www.dea.edu.ua/article/tk_82_rozpochato_obgovorennya_proektu_dstun_nastanovi_shodo_organizacii_ekologichno_bezpechnogo_vodovidvedennya_v_naselenih_punktah_ukraini
14. Дмитрієва, О. О., Телюра, Н. О., Хоренжая, І. В. (2017). Процедура обґрунтованого вибору найкращих технологічних заходів водокористування в населених пунктах України. *Коммунальное хозяйство городов*, 137, 66–71.
15. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики: Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962?lang=ru
16. Телюра, Н. О., Дмитрієва, О. О., Василенко, В. П. (2018). Впровадження екологічно безпечного водовідведення, як елемент сталого розвитку населених пунктів України. *Комунальне господарство міст*, 7(146), 174–179.
17. Teliura, N. (2018). Development of the methodological approach to the selection of technologies for environmentally safe water drainage in populated areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10 (96), 55–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148689>
18. Саати, Т. Л. (2008). Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: ЛКИ.

Наукове видання

Environmental and Radiation Safety

Науково-практичний журнал

Том 1
Випуск 1

Головний редактор: *Л. Григор'єва*
Редактор: *О. Михайлова*.
Комп'ютерна верстка, дизайн: *К. Гросу-Грабарчук*
Друк: *С. Волинець*.
Фальцювальню-палітурні роботи: *О. Мішалкіна*.

Підп. до друку 02.11.2023
Формат 60x84¹/₈. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 7,1. Обл.-вид. арк. 4,6.
Зам. № 6690.

Видавець та виготівник: ЧНУ ім. Петра Могили. 54003,
м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81,
e-mail: rector@chmnu.edu.ua.