

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ENVIRONMENTAL AND RADIATION SAFETY

ЕКОЛОГІЧНА ТА
РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА

1(Number 2)

2024

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНИЙ У 2019 РОЦІ • ВИХОДИТЬ 2 РАЗИ НА РІК

Миколаїв-2024

Започатковано у 2019 році.
Засновник і видавець
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: Алексєєва А. О., кандидат технічних наук

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

1. Клименко Леонід Павлович – доктор технічних наук;
2. Липська Алла Іванівна – доктор біологічних наук;
3. Матвєєва Ірина Валеріївна – доктор технічних наук;
4. Мітрясова Олена Петрівна – доктор педагогічних наук;
5. Ракша-Слюсарєва 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. Андрєєв 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.

Е 45

Environmental and radiation safety : наук. – практ. журн. / [редкол. :
Л. І. Григор'єва (голов. ред.) та ін.]. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра
Могили, 2024. – № 1 (2). – 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, 2024

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

L. Grygorieva IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL STANDARTS FOR RADON-222 EXPOSURE.....5

K. Grygoriev, A. Alekseeva UPDATE OF APPROACHES TO THE RADIATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR.....8

O. Raksha-Sliusareva, P. Kovalenko, O. Sliusarev, S. Boieva, S. Mammad kizi, I. Tarasova EXPLORING THE MODIFICATION OF CONSTANT ACTION OF NATURAL RADIATION COMBINED WITH TECHNOGENIC. STUDY OF THE INFLUENCE OF BEE BREAD13

P. Kovalenko, O. Raksha-Sliusareva, O. Sliusarev, S. Boieva, Y. Tur BIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RADIONUCLIDES FOR THE ENVIRONMENT.....18

Л. І. Григор'єва, О. В. Макарова ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РАДІОЄМНОСТІ ПРИ ЕКОЛОГІЧНОМУ НОРМУВАННІ АНТРОПО-ГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....24

О. І. Случак, О. І. Случак СИСТЕМА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВОДОЙМ, ЗАБРУДНЕНИХ ВНАСЛІДОК ПІДРИВУ КАХОВСЬКОЇ ДАМБИ НА ПРИКЛАДІ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ.....28

В. А. Чвир, О. П. Мітрясова, В. М. Смирнов ВИЗНАЧЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СОЦІОЕКОСИСТЕМУ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМФОРТНИХ УМОВ ДЛЯ ЛЮДИНИ.....38

В. А. Чвир, О. П. Мітрясова, В. М. Смирнов, А. Д. Мац ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ЧЕРЕЗ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ.....42

І. В. Тимченко, Д. О. Крисінська, Д. А. Андропова, Я. Забіяка АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ ДЕНДРОФЛОРИ МИКОЛАЄВА В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ ТА ЗМІН КЛІМАТУ.....47

CONTENTS

L. Grygorieva IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL STANDARTS FOR RADON-222 EXPOSURE.....5

K. Grygoriev, A. Alekseeva UPDATE OF APPROACHES TO THE RADIATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR.....8

O. Raksha-Sliusareva, P. Kovalenko, O. Sliusarev, S. Boieva, S. Mammad kizi, I. Tarasova EXPLORING THE MODIFICATION OF CONSTANT ACTION OF NATURAL RADIATION COMBINED WITH TECHNOGENIC. STUDY OF THE INFLUENCE OF BEE BREAD13

P. Kovalenko, O. Raksha-Sliusareva, O. Sliusarev, S. Boieva, Y. Tur BIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RADIONUCLIDES FOR THE ENVIRONMENT.....18

L. Grigorjeva, O. Makarova O. APPLIED APPLICATION OF THE THEORY OF RADIO CAPACITANCE IN ENVIRONMENTAL REGULATION OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE ENVIRONMENT.....24

O. Sluchak, O. Sluchak RECLAMATION SYSTEM FOR WATER BODIES POLLUTED BY THE DESTRUCTION OF THE KAKHOVKA DAM: THE CASE OF THE BUG ESTUARY.....28

V. Chvyr, O. Mitryasova, V. Smyrnov DETERMINATION OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE SOCIO-ECOSYSTEM WHILE PROVIDING COMFORTABLE CONDITIONS FOR HUMANS.....38

V. Chvyr, O. Mitryasova, V. Smyrnov, A. Mats WAYS TO OPTIMIZE THE DETERMINATION OF DRINKING WATER QUALITY THROUGH CORRELATION ANALYSIS.....42

I. Tymchenko, D. Krysincka, D. Andropova, Ya. Zabiya ANALYTICAL STUDY OF THE ECOSYSTEM FUNCTIONS OF MYKOLAIV'S DENDROFLORA IN CONDITIONS OF WAR TIME AND CLIMATE CHANGE.....47

Д. О. Черненко МОДЕЛЮВАННЯ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА СУЧАСНІ СОЦІОЕКОСИСТЕМИ ВІД
СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БОРОТЬБИ У
ПЕРІОД РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ ПРОТИ
УКРАЇНИ.....56

D. Chernenko MODELING OF
ELECTROMAGNETIC POLLUTION LOAD ON
SOCIOSYSTEMS BY ELECTROMAGNETIC
WARFARE SYSTEMS DURING THE PERIOD OF
RUSSIAN AGGRESSION AGAINST
UKRAINE.....56

DOI: https://doi.org/10.34132/UDC_631.67:502.6:282.247.31

Grygorieva L.,
Doctor of Biological Sciences, Professor
Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL STANDARDS FOR RADON-222 EXPOSURE

Radiation safety is ensured by the system of legislative acts, regulatory and technical documents aimed at limiting the occurrence of deterministic (manifestation and severity of which depends on the absorbed dose) and stochastic (probability of which does not depend on the dose, and the frequency of their occurrence depends on the dose) effects in humans from various sources of ionising radiation. Certain areas of southern Ukraine (central and northern territories of Mykolaiv, Odesa, Kherson, and Kirovohrad regions) are characterised by the presence of granitoids in the underlying rock layer, which contributes to the widespread development of granite mining and granite processing industries in the region [5, 8]. Due to this and the planned introduction of uranium mining enterprises in the region in the near future, one of the most pressing issues of radiation safety and radiation hygiene in the region is the issue of radiation safety from man-made enhanced natural radiation background, primarily ^{222}Rn exposure.

The article presents an analysis of the sources of dose load on workers in the granite mining industry. The purpose of the study was to analyse the levels of ^{222}Rn exposure of workers in the granite mining industry to assess the need to adjust existing environmental standards. The materials used were the results of measurements of exposure dose rate, measurements of ^{222}Rn volumetric equivalent equilibrium activity in the air of working premises and at the workplaces of granite quarry workers in Mykolaiv region, and the results of studies of ^{222}Rn content in drinking water.

Keywords: radon-222, environmental standards, exposure, atmospheric air

Introduction.

Certain territories of southern Ukraine (central and northern territories of Mykolaiv, Odesa, Kherson and Kirovohrad regions) are characterised by the presence of granitoids in the underlying rock layer, which contributes to the widespread development of granite mining and granite processing industries in the region [4, 9]. On the other hand, these rocks are characterised by an increased clark content of radioactive elements of the uranium-thorium series, and, therefore, are associated with manifestations of ^{222}Rn and its daughter decay products (DDP). According to national authors [4, 6, 8], the total annual dose from natural radionuclides in Ukraine is considerable and amounts to 6.15 mSv/year. According to the UNSCEAR [7], the contribution of radon from DDP to the dose of the world's population from natural sources is 54%. In Ukraine, radon reaches 79% (4.2 mSv) of the specified dose and about 60% of the average effective dose from all sources [8].

Due to the widespread development of granite mining and granite processing industries in these areas of the region, as well as the planned introduction of uranium mining enterprises in the region in the near future, one of the most pressing issues of radiation safety and radiation hygiene in the region is the issue of technogenically enhanced natural radiation background, primarily ^{222}Rn exposure. According to the researchers, the effective dose from ^{222}Rn from the DDP for the population of the northern and central regions of Mykolaiv oblast is 4-5 mSv/year. The purpose of the study was to analyse the levels of ^{222}Rn exposure of workers of granite mining enterprises.

Materials and methods.

The materials were the results of measurements of exposure dose rate (EDR), studies of equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA) of ^{222}Rn in the air of working premises and at the workplaces of the main groups of workers (crusher operator, perforator driller, stonemason, bulldozer operator, excavator operator) of granite quarries (Pervomaiskyi granite and Pervomaiskyi granite and Crushed Stone Quarries, Oleksandrivskyi, Prybuzkyi, Sofiyivskyi, Novo-Danylivskyi granite quarries), results of studies of ^{222}Rn EEVA in the air of residential premises of these workers, results of studies of ^{222}Rn content in drinking water.

Determination of the effective dose of external human exposure from technogenically enhanced radiation background ($E_{\text{tecn_nat}}^{\text{ext}}$) was performed based on the results of determining the exposure dose rate (EDR) and taking into account the time spent by a person in the open area of 2000 hour/year, indoors – 4652 hour/year [7]. The effective dose from ^{222}Rn by inhalation ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{inhal}}$, $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{inhal}}$) and drinking water ($E_{^{222}\text{Rn,home}}^{\text{ing(drink)}}$, $E_{^{222}\text{Rn,work}}^{\text{ing(drink)}}$) as determined in accordance with mathematical models of the ICRP [1] and the UNSCEAR report [2]. The dose rate of oral intake of ^{222}Rn to humans with drinking water was assumed to be $1 \cdot 10^{-8}$ mSv/Bq [2]. In the statistical processing of the research results, the following software was used STATISTICA 6.0., MathCard 7.0.

Research results.

The average value of exposure dose rate (EDR) at the workplaces of employees of Pervomaisky, Prybuzky, Oleksandrivsky, and Novo-Danylivsky granite quarries was 17 ± 3 $\mu\text{R}/\text{hour}$. EDRs at Sofiyivskyi granite quarry averaged 22 ± 2 $\mu\text{R}/\text{hour}$, with EDRs of 24-28 $\mu\text{R}/\text{hour}$ recorded at the workplaces of excavators, crushers, and drillers. In Novo-

Danylivskiy quarry, where granite layers were opened, EDR levels of 35 $\mu\text{R}/\text{hour}$ were recorded. The effective dose of external exposure of granite quarry workers at the workplace ($E_{\text{tec}n-\text{nat}}^{\text{ext}}$) was on average 0.32 ± 0.05 mSv/year at Pervomaisky, Prybuzky, Oleksandrivsky, Novo-Danylivsky granite quarries; 0.42 ± 0.04 mSv/year at Sofiyivsky.

Table 1 shows the ^{222}Rn EEVA values for each quarry. Almost all granite quarries were characterised by a wide range of data scatter. At Sofiyivka granite quarry, almost all ^{222}Rn EDR measurements were above 100 Bq/m³. The coefficient of variation of ^{222}Rn EEVA results in this quarry was also high (~44%) due to the wide range of data scatter. The weighted average value of ^{222}Rn EEVA at workplaces for all open pits was 129 ± 2 Bq/m³.

Table 1. – ^{222}Rn EEVA values at workplaces of granite quarry workers, Bq/m³

Employee's workplace granary	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	The maximum value	The minimum value
Pervomaisky granite quarry	136 $\pm$ 24	220	85
Pervomaisky granite and crushed stone quarry	124 $\pm$ 46	190	50
Aleksandrovsky granite quarry	110 $\pm$ 34	160	86
Prybuzky granite quarry	156 $\pm$ 48	310	84
Sofiyivka granite quarry	196 $\pm$ 86	355	58
Novo-Danilovsky granite quarry	110 $\pm$ 36	240	58

Table 2 shows the results of studies of ^{222}Rn EEVA in the living quarters of granite quarry workers.

Table 2. – The ^{222}Rn EEVA in the living quarters of granite quarry workers. Bq/m³

Granite quarry	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	The maximum value	The minimum value
Pervomaisky granite quarry	108 $\pm$ 30	120	55
Pervomaisky granite and crushed stone quarry	123 $\pm$ 12	160	45
Aleksandrovsky granite quarry	88 $\pm$ 10	160	45
Prybuzky granite quarry	83 $\pm$ 10	120	55
Sofievsky granite quarry	127 $\pm$ 34	230	75
Novo-Danilovsky granite quarry	87 $\pm$ 19	180	65

Elevated values of ^{222}Rn EEVA are typical for buildings constructed either of concrete structures or mud bricks (adobe), with granite foundations, without ventilated basements, and with either no or insufficient ventilation. In buildings with good ventilation of living quarters, ^{222}Rn EEVA values were low. It should be noted that for the specialists of Pervomaisky Granit, Pervomaisky Granite and Crushed Stone, and Sofiyivsky Granite quarries, the average radon activity values were at the level of the standards for existing buildings - 100 Bq/m³ [7]. The average weighted ^{222}Rn EEVA values in residential premises was 96 ± 2 Bq/m³.

The results of studies of ^{222}Rn content in water consumed by granite quarry workers (wells, boreholes) showed that the content of ^{222}Rn in some drinking water sources exceeded 100 Bq/l (the standard value according to [7]). High values of ^{222}Rn content in drinking water were observed for artesian water from the Sofiyivka granite quarry (345 ± 17 Bq/l) and from the Oleksandrivka granite quarry. The content of ^{222}Rn in drinking water consumed by these specialists at home was 50 ± 18 Bq/l. It should be noted that other Ukrainian researchers [8,9] also note the need to continue studies of the content of radon-222 in underground sources.

Calculated effective doses by inhalation of ^{222}Rn to humans in the workplace ($E_{^{222}\text{Rn},\text{work}}^{\text{inhal}}$) and at home ($E_{^{222}\text{Rn},\text{home}}^{\text{inhal}}$) and the total dose from inhalation ^{222}Rn at home and at the quarry ($E_{^{222}\text{Rn}-\text{home}}^{\text{inhal}} + E_{^{222}\text{Rn}-\text{work}}^{\text{inhal}}$) (Table 3). Value $E_{^{222}\text{Rn},\text{home}}^{\text{inhal}}$ is greater than the value of $E_{^{222}\text{Rn},\text{work}}^{\text{inhal}}$. Generalisation by quarries shows that the average weighted value of the effective dose $E_{^{222}\text{Rn},\text{work}}^{\text{inhal}}$ was 2.1 ± 0.2 mSv/year with a range from 0.9 to 5.9 mSv/year; the weighted average effective dose $E_{^{222}\text{Rn},\text{home}}^{\text{inhal}}$ was 4.1 ± 0.2 mSv/year with a range from 1.8 to 9.7 mSv/year.

Effective dose from ^{222}Rn in drinking water ($E_{^{222}\text{Rn},\text{work}}^{\text{ing}(\text{drink})}$) was 0.02 ± 0.01 mSv/year in Prybuzkyi and Novo-Danylivskiy granite quarries; about 0.04 mSv/year in Oleksandrivskiy granite quarry; and 0.15 mSv/year in Sofiyivskiy granite quarry. Average value of effective dose from intake of ^{222}Rn in drinking water at home ($E_{^{222}\text{Rn},\text{home}}^{\text{ing}(\text{drink})}$) was 0.05 ± 0.01 mSv/year.

Adding up all the obtained values of the effective internal dose of granite quarry workers ($E_{222Rn,home}^{inhal}$, $E_{222Rn,work}^{inhal}$, $E_{222Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{222Rn,work}^{ing(drink)}$) we obtain that the total effective exposure dose to granite quarry workers via inhalation and oral routes of ^{222}Rn intake (based on weighted average values) was $6,2 \pm 0,6$ mSv/year. The maximum values were 15,6 mSv/year.

Table 3. – Effective dose from ^{222}Rn for granite quarry workers, mSv/year

Granite quarry	Effective dose in the workplace $E_{222Rn-work}^{inhal}$			The effective dose at home $E_{222Rn-home}^{inhal}$			Total effective dose $E_{222Rn-home}^{inhal} + E_{222Rn-work}^{inhal}$		
	$\bar{X} \pm \bar{Sx}$	The maximum value	The minimum value	$\bar{X} \pm \bar{Sx}$	The maximum value	The minimum value	$\bar{X} \pm \bar{Sx}$	The maximum value	The minimum value
Pervomaisky granite quarry	2,2±0,3	3,5	1,4	4,5±0,4	5,0	2,3	6,7±0,6	8,5	3,7
Pervomaisky granite and crushed stone quarry	2,0±0,2	2,5	0,8	5,2±0,5	7,0	1,8	7,2±0,7	9,5	2,6
Aleksandrovsky granite quarry	1,8±0,4	2,4	1,1	3,7±0,4	6,7	1,8	5,5±0,5	9,1	2,9
Prybuzky granite quarry	2,5±0,4	5,0	1,1	3,5±0,4	5,0	2,8	6,0±0,6	10,0	3,9
Sofievsky granite quarry	3,2±0,6	5,9	1,8	5,3±1,4	9,7	3,2	8,7±3,4	15,6	5,0
Novo-Danilovsky granite quarry	1,8±0,4	3,8	0,9	3,7±0,8	7,6	2,7	5,5±1,9	11,4	3,8

Conclusions.

1. Workers in granite quarries are exposed to a double burden of ^{222}Rn (at work and at home). The weight-average value of the effective dose from inhalation of ^{222}Rn with workplace air was 2.1 ± 0.2 mSv/year (with a range from 0.9 to 5.9 mSv/year). The average weighted value of the effective dose from inhalation of ^{222}Rn with the air of residential premises was 4.1 ± 0.2 mSv/year (with a range from 1.8 to 9.7 mSv/year).

2. The total effective internal dose from ^{222}Rn intake in the air of working and living quarters and in drinking water averaged 6.5 ± 0.2 mSv/year, with maximum values of about 15.6 mSv/year. This allows us to recommend revision of the current radiation safety standards to limit excessive exposure for employees of granite mining enterprises.

Literature

1. Buzynnyi, M., Mykhailova, L. (2022) Generalised data of 20 years of radon-222 monitoring in drinking water in Ukraine. Nuclear and Radiation Safety. №4(96). 2022. 29-38.
2. Effects of Radiation on the Environment. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR (2000) Report to the General Assembly with Scientific Annex.- New York: UN, 2000.
3. ICRP Publication 95 (Annalis of the ICRP Vol. 23 No. 2) Protection Against Radon-222 at Home and at Work.- Vienna: Pergamon, 2019. 78 p.
4. Pavlenko T.A., Los I.P., Aksenov N.V.. Ignor - Rn levels and irradiation doses in the territory of the Ukraine // Radiation Measurements. - 1996. - Vol. 26. - P.585-591.
5. Grygorieva, L. (2017) Radon-222 radiation doses to workers of granite mining enterprises. Problems of radiation medicine and radiobiology. 2017. Issue 22. 97-107.
6. Los, I.P., Pavlenko, T.A. (2003) Limitation of human exposure by technogenically enhanced sources of natural origin // Environment and Health, 2003. - Issue 1. - P. 49-54.
7. Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97/2000D) - Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, 2000. 135 p.
8. Pavlenko, T.A., Los, I.P. (2009) Existing doses of exposure of the population of Ukraine. Nuclear and Radiation Safety. №1. 2009. 18 - 22.
9. Shelest, Z. M., Korbut, M. B., Gerasymchuk, O. L., & Kalchuk, S. V. (2023). Assessment of radiation background in residential premises caused by technogenically enhanced sources of natural origin. Technical Engineering, (1(91), 398-406.

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

UDC 502.175:502.3

Grygoriev K.,PhD student of the Environmental Department
by Petro Mohyla Black Sea National University,e-mail: kossss.iop@gmail.com,

ORCID: 0000-0003-2804-2758

Alekseeva A.,candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Environmental Department
by Petro Mohyla Black Sea National University,e-mail: anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua,

ORCID: 0000-0003-0345-8538

UPDATE OF APPROACHES TO THE RADIATION AND ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR

The article is devoted to highlighting the serious environmental problem of Ukrainian cities in terms of air pollution and organization of the system of environmental monitoring of atmospheric air in accordance with European approaches. As part of the implementation of the provisions of Directive 2008/50/EC into the national legislation of Ukraine, the author proposes to introduce environmental monitoring of atmospheric air quality based on the expansion of fixed measurements by means of indicative measurements of air quality indicators, taking into account regional problems of the territories. The war in Ukraine in 2022-23 has further actualized these issues. Therefore, studies on the consistency of indicative and fixed measurements of air quality indicators are relevant for Ukrainian cities.

The article presents an analysis of our own research on the experience of organizing an effective system of radiation monitoring of atmospheric air in the Mykolaiv region, as well as other materials of our own observations on possible radiation threats and research materials on the organization of radiation monitoring using sensors for indicative measurements of atmospheric air quality indicators. It is shown that the system of radiation monitoring of atmospheric air can be based on indicative measurements of exposure or equivalent dose rate (depending on the calibration), but with mandatory calibration of station sensors by radioiodine. It is also shown that it is necessary to introduce environmental monitoring of atmospheric air using indicative measurements of both chemical and radionuclide pollutants. At the same time, observations of the exposure dose rate are insufficient in the current radiation monitoring of atmospheric air, as they do not allow to quickly identify radionuclides in the air that are pure beta emitters.

Key words: indicative measurements, atmospheric air, monitoring, radionuclides

Introduction.

Clean and safe atmospheric air is a public value and the last free natural resource that the majority of the population has no alternative to consumption. As part of the implementation of the provisions of Directive 2008/50/EC in the national legislation of Ukraine, it is proposed to introduce environmental monitoring of atmospheric air quality based on the expansion of fixed measurements by means of indicative measurements of air quality indicators, taking into account regional problems of the territories [4]. The war in Ukraine in 2022-23 has made these issues even more urgent.

In particular, the functioning of radiation monitoring of the atmospheric air. We witnessed that during the Russian aggression, military missiles were recorded over the units of the South Ukraine NPP in March and over the units of the Zaporizhzhya NPP in April. The consequences of what the Russians have done in the Chernobyl exclusion zone need to be studied and researched for a long time - today.

For many Ukrainian cities, high concentrations of formaldehyde and dust in the air, especially in cities with heavy traffic, are a serious problem [1-3, 5, 7]. Therefore, studies on the consistency of indicative and fixed measurements of atmospheric air quality indicators remain relevant for Ukrainian cities.

Materials.

The analysis presented in this article was based on:

- 1) the results of the functioning of the automated radiation monitoring system in the Mykolaiv region;
- 2) the results of own studies of the formation of effective radiation dose from the accidental intake of ruthenium-106 in Ukraine and European countries at 2018 year;
- 3) the results of own research on the implementation of a system of indicative measurements of atmospheric air quality indicators in Mykolaiv city at 2021-22 years.

Results and Discussion.

1. Both in the EU and in Ukraine, automated external radiation monitoring systems (AERMS) in the 30-km zone around NPPs operate on the principle of indicative measurements of exposure dose rate (gamma background). In the Mykolaiv region, in the post-Chornobyl period, an automated radiation monitoring system (ARMS) was in operation for a long time (1986-2000) [9]), which the authors of this article were involved in organizing. This system allowed to have information on exposure dose rates in 17 settlements of the Mykolaiv region on a continuous basis. The system provided an opportunity to quickly assess the quality of atmospheric air in the settlements of the Mykolaiv region, to monitor the dynamics of exposure dose rate in these settlements in an automated mode. The deployment of this system in Mykolaiv region was dictated by the goal to provide open access to information on exposure dose levels in the region, where radionuclides from the NPPs operating around the region may enter the airspace.

The main goal pursued by the developers when organizing the system of radiation monitoring of atmospheric air is to optimize management decisions regarding the need for iodine prophylaxis for the population. From the experience of the Chornobyl and Fukushima accidents in Japan, it is known that radioactive iodine is one of the first releases into the air, which can enter the human body through the respiratory tract, skin and milk and is almost entirely concentrated in the thyroid gland.

Therefore, to reduce the risk of thyroid damage from radioactive iodine, a mechanism is needed that would allow for the rapid administration of a radioprotector, which in this case is stable iodine. The introduction of even a small amount of stable iodine into the human body prevents its accumulation by the thyroid gland. When radioactive iodine enters the body (through the lungs, skin), its accumulation in the thyroid gland reaches a maximum in 1-2 days, with 50-70% of this dose being formed in 2-6 hours. The absorption of radioactive iodine by the gland stops 5 minutes after taking stable iodine. If this is done within the first two hours, the radiation dose is reduced by 9-10 times. The most effective is the prophylactic use of stable iodine before the appearance of radioactive iodine in the air, drinking water, and food (milk, vegetables).

For the timely identification of radioiodine isotopes in the air, detectors were installed with a threshold of 250 $\mu\text{R}/\text{h}$. This threshold was determined based on the results of a correlation and regression relationship between the level of exposure dose rate and the level of ^{131}I activity in the air: the maximum permissible level of ^{131}I activity in the air of 5.55 Bq/m^3 corresponded to the level of 250 $\mu\text{R}/\text{h}$ (Fig. 1). A programme was developed to alert the public to the need to block the thyroid gland with stable iodine when the detector is triggered when the limit level is exceeded. Thus, it can be assumed that indicative measurements of the exposure dose rate allowed for effective iodine prophylaxis of the population in case of exceeding the level of ^{131}I in the air.

This system of indicative measurements for assessing the radiation state of the atmospheric air was metrologically certified at one time. The system was based on SRP-88N radiometers. The system existed for a long time (1987-2001). Even now, residents of Mykolaiv recall it as a tool to reduce public concern about the lack of information on the state of the radiation background in the region where NPPs are located.

The experience of operating the automated radiation monitoring system in the Mykolaiv region, which was based on indicative measurements of exposure dose rate, showed a significant advantage in such measurements:

- the population of the region had current information on the level of exposure dose rate in all district centres of the region,
- the regional authorities had a tool for prompt decision-making in case of changes in the radiation situation. This information allowed to speed up the search for the necessary solution in case of changes in the radiation situation.

2. In 2017, both Ukraine and European countries detected ruthenium-106 in the air, which was transported from Russia [2]. The presence of ruthenium-106 in the air was detected in the Czech Republic, Switzerland, Poland, Italy, Germany, Austria, Slovakia, and others. The highest level of ruthenium-106 in France was recorded in Nice on 2-9 October, and in some areas of Romania, the concentrations of ruthenium-106 in the air were 1.5-2 times higher than in Russia, up to 10 mBq/m^3 . Ruthenium is an element of the eighth group of the fifth period of the periodic table of chemical elements. It is one of the platinum elements found in living organisms. It accumulates mainly in muscles. Its chemical properties are similar to the platinum metals (iridium, osmium, palladium, rhodium). It is used in small nuclear generators/radioisotope batteries of satellites,

Ruthenium-106 is beta radioactive. Ruthenium-106, like any radioactive isotope, poses a serious danger to humans, as its toxicity is on a par with cesium-137. When it enters the atmosphere and water bodies, it enters the human body by inhalation and ingestion, where it accumulates in the lungs and gastrointestinal tract. This, in turn, contributes to the deterioration of the nervous, cardiovascular and digestive systems, as well as to an increased risk of cancer. At the same time, the effects of its harmful effects do not appear immediately, but after several months. Unlike other radionuclides, the distribution of ruthenium in the body is determined by the physiological state of the organism and the physicochemical properties of ruthenium-106 compounds, which makes it difficult to assess the toxic hazard of ruthenium.

We have analysed the results of studies of the content of ruthenium-106 in the air of certain settlements of the Mykolaiv region, analysed the radioecological situation in the southern region of Ukraine due to the passage of the radioactive cloud in September-October 2017 [2]. The dynamics of the content of ruthenium-106 in the atmospheric air in each of the settlements during a two-week period (from 22.09.2017 to 05-06.10.2017) was analysed. Based on the results of this analysis, histograms were constructed and trends in the content of ruthenium-106 in each settlement were

determined $C_{106Ru}^{air} = C_{106Ru}^{air}(t)3$. Total human intake of ruthenium-106 during this period P_{106Ru}^{air} (Bk) in each settlement, we determined: $P_{106Ru}^{air} = \int (C_{106Ru}^{air}(t) \times V^{air}) dt$, V^{air} – is the reference daily volume of air inhalation by an adult, l/day (22.22 l/day is accepted).

Effective equivalent dose from inhalation of ruthenium-106 to humans H_{106Ru}^{air} (3B) can be defined: $H_{106Ru}^{air} = P_{106Ru}^{air} * \Delta U_{106Ru}^{inhal}$, ΔU_{106Ru}^{inhal} – dose price of ruthenium-106 for inhalation (assumed $1,2 * 10^{-7}$ Zv/Bk).

As a result, it was found that the average individual effective dose to the population from ruthenium-106 inhalation was 0.57 ± 0.12 μ Sv. It is clear that today the radiation background from ruthenium-106 in this area has not changed significantly. However, due to the threat of secondary rise of the latter in the event of wind storms, it is worth monitoring the content of this radionuclide in the soil and in the air over the areas that were exposed to the ruthenium-106 cloud in September-October 2017.

These results showed that it is impossible to completely distance oneself from radioactive and radioecological hazards. We need to be prepared and able to quickly assess the radiation situation. In particular, in our opinion, it is necessary to introduce environmental monitoring of atmospheric air based on indicative measurements not only for chemical pollutants but also for radioactive ones. At the same time, observation of the exposure dose rate is insufficient in the current radiation monitoring of atmospheric air, as it does not allow for the prompt identification of radionuclides in the air that are pure beta emitters.

3. Under the Association Agreement, Ukraine has committed to approximating its legislation to a number of directives that set standards for limiting the content of certain types of pollutants in the air. As part of the implementation of the provisions of Directive 2008/50/EC into the national legislation of Ukraine, it is proposed to introduce environmental monitoring of atmospheric air quality based on the expansion of fixed measurements by means of indicative measurements of air quality indicators, taking into account regional problems of the territories. In accordance with paragraph 26 of Article 2 of Directive 2008/50/EC of 21 May 2008 on atmospheric air quality and cleaner air for Europe [1], "indicative measurements are measurements that meet data quality requirements that are less stringent than those for fixed measurements".

Today, Ukraine has created a market for stations for indicative measurements of air quality parameters. At the indicative level, stations use electrochemical gas analysers and optical dust meters.

We have systematised the stations for indicative measurements of atmospheric air quality indicators on the Ukrainian market and presented stations for indicative measurements to address certain environmental problems of atmospheric air pollution:

- 1) stations for indicative measurements of atmospheric air quality indicators only in accordance with the requirements of Directive 2008/50/EC: CO, NO₂, PM10 and PM2.5, temperature, relative humidity;
- 2) stations for indicative measurements of air quality indicators in accordance with the requirements of Directive 2008/50/EC and the regional problem related to atmospheric emissions from motor vehicles: CO, NO₂, PM10 and PM2.5, temperature, relative humidity, CH₂O.

Since 2020, Petro Mohyla National University has been operating the Oxygen Air Fresh Max "EcoRozum" station, the results of which can be seen in the current mode on the online map <https://eco-city.org.ua/>, and we have presented the analysis of these measurements in our publications [3-7]. Since the autumn of 2022, we have also organised monitoring of the radiation background using a corresponding radiometer station. In the current mode, this data can be viewed on the online map <https://www.saveecobot.com/maps>.

To assess the effectiveness of the use of indicative measurement stations in the atmospheric air monitoring system, we conducted a comparative analysis of the values of atmospheric air quality indicators in Mykolaiv in the period July 2021 - January 2022. The study materials were the results of measuring the content of formaldehyde in the city's atmospheric air at 7 indicative measurement stations in Mykolaiv, which is currently displayed on the online map <https://eco-city.org.ua/>. To compare the obtained results of indicative measurements, we analysed the results of determining the formaldehyde (CH₂O) content at 4 stationary reference stations for monitoring the atmospheric air of Mykolaiv in the period January-December 2021. The bar chart (Fig. 2) shows the results (average values) of fixed measurements and the results of indicative measurements of formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv.

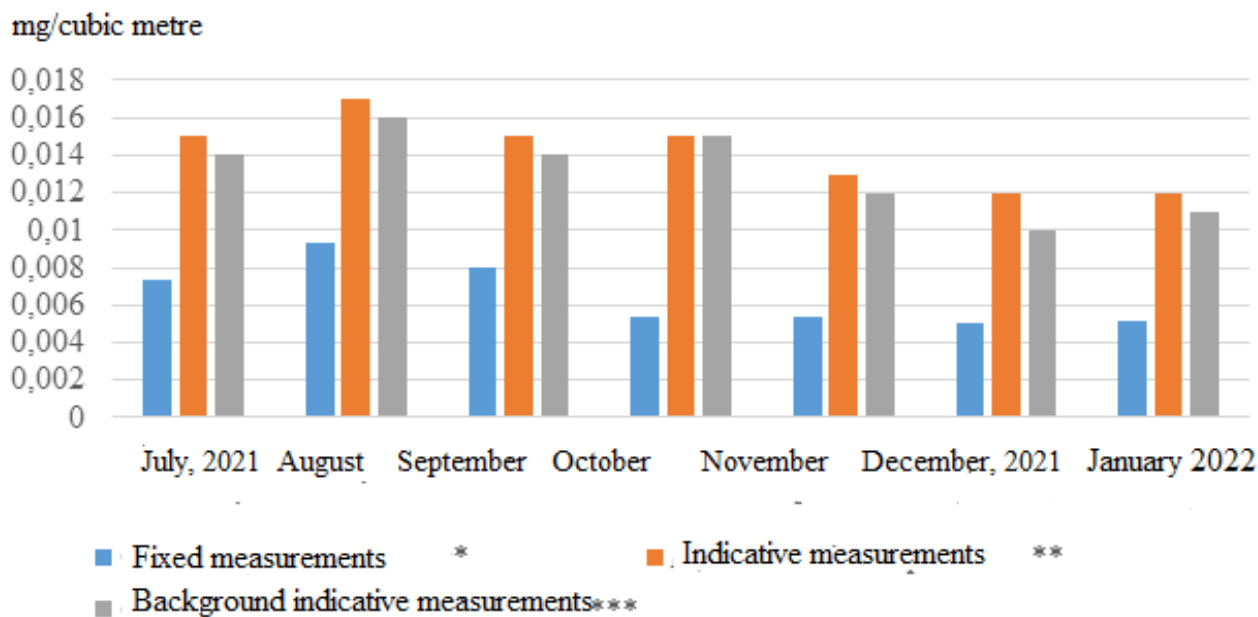


Fig. 2 Average monthly values of formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv for July 2021 - January 2022 based on the results of fixed measurements and indicative measurements

As can be seen, the average values of formaldehyde in the atmospheric air of Mykolaiv based on the results of indicative measurements exceed the corresponding values of fixed measurements by 1.5-1.6 times, and vice versa: the maximum values of formaldehyde in the atmospheric air of Mykolaiv based on fixed measurements exceed the maximum values recorded during indicative measurements by 1.6-1.8 times. This fact once again confirms that at the reference level of pollution (e.g., formaldehyde), environmental monitoring of atmospheric air should be organised not only by means of fixed measurements, but also supplemented by indicative measurements using complex compact stations designed to carry out indicative measurements of air quality indicators. The obtained close results of atmospheric air quality indicators at all 7 indicative measurement stations indicate that when choosing the location of such a station in a city with large traffic flows for background measurements of atmospheric air quality indicators, such a station should be located at a great distance from the road.

Conclusions.

1. In case of nuclear accidents at NPPs, one of the first atmospheric radionuclide pollutants is radioactive iodine (^{131}I), which can enter the human body through the respiratory tract, skin and milk and is almost entirely concentrated in the thyroid gland. The atmospheric air radiation monitoring system uses sensors to measure the exposure dose rate or effective dose. To improve the existing system of radiation monitoring of atmospheric air, it is desirable to calibrate the sensors for measuring the exposure dose rate by gamma radiation of radioiodine (^{131}I). This will optimize the decision-making process for the introduction of iodine prophylaxis.

2. The current system of radiation monitoring of atmospheric air does not allow timely and prompt identification of beta-emitting radionuclides in the air. Elevated levels of ruthenium-106 in the air due to its man-made transfer from the territory of Russia in the fall of 2018 were not recorded by this system. The results of dosimetry in the Mykolaiv region in the fall of 2018 from man-made ruthenium-106 showed that the average individual effective dose from beta radiation of ruthenium-106 during inhalation was $0.57 \pm 0.12 \mu\text{Sv}$. It is necessary to improve the system of environmental monitoring of atmospheric air through systematic radiometry of atmospheric air samples and atmospheric deposition.

3. The average values of formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv based on the results of indicative measurements exceed the corresponding values of fixed measurements by 1.5-1.6 times, and vice versa: the maximum values of formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv based on fixed measurements exceed the maximum values recorded during indicative measurements by 1.6-1.8 times. It is necessary to implement environmental monitoring of atmospheric air using indicative measurements for both chemical and radionuclide pollutants. At the same time, observations of exposure dose rate are insufficient in the current radiation monitoring of atmospheric air, as they do not allow prompt identification of radionuclides in the air that are pure beta emitters.

References

1. Andrienko, M. (2017) Status and problems of functioning of the environmental monitoring system in the sphere of implementation of the state environmental policy. Investments: practice and experience, No. 17. 75-81. *Ukrainian*. DOI 10.32702
2. Bakharev, V. (2016) Imperfection of the existing system of environmental monitoring of atmospheric air at the level of the urban system: causes, consequences, ways of improvement. Environmental safety.. Vol.5, 76-81. *Ukrainian*

3. Bakharev, V.S., Marenych, A.V., Zhuravska, M.K. (2016) The adequacy of the existing network and justification of proposals for the of stationary atmospheric air state observation posts location in Kremenchuk, Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 4, 99, 80–87. *Ukrainian*
4. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
5. Dolina, L. and others (2013) Monitoring of air pollution by benzopyrene and hydrocarbon Electromagnetic compatibility and safety in railway transport. Vol. 6, 91-97. *Ukrainian*. DOI 10.15802 *Ukrainian*
6. Grygorieva, L., Tomilin, Yu., Grishan, A. (2018) Radioactive dust with ^{106}Ru over the Southern region of Ukraine Nuclear Physics and Atomic Energy. vol.18, 3, 56-69. DOI 10.15407/jnpae *Ukrainian*
7. Mokin, V., Dziuniak, D., Bondaletov, K., Oliynyk, V. (2015) Method and technology of monitoring the state of atmospheric air with the help of a universal information and measuring system using mobile devices. Information technology and computer engineering. Vol 5. 1-9. *Ukrainian*
8. Tomilin, Y., Grygorieva, L. (2009) System of emergency iodine prophylaxis of the population in case of an accident at a nuclear power plant. Scientific works. Series Technogenic Safety. vol. 116, 103, 39-45. *Ukrainian*

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

UDC 616.4+628.5+614.8.:622.8-092:

Raksha-Sliusareva O.,

Doctor of Biological Sciences, Full Professor,
Professor at the Microbiology, Virology, Immunology and Medical biology,
Donetsk National Medical University,
Pryvokzalna Str., 27, Lyman, Ukraine, 84404,
e-mail: rakshasliusareva@gmail.com

Kovalenko P.,

Assistant of the Department at the Microbiology, Virology, Immunology and Medical biology,
Donetsk National Medical University,
Pryvokzalna Str., 27, Lyman, Ukraine, 84404,
e-mail: polina.kovalenko27@gmail.com

Slusarev O.,

Candidate of Medical Sciences,
Docent, Head of the Department of Microbiology, Virology, Immunology and Medical biology,
Donetsk National Medical University,
Pryvokzalna Str., 27, Lyman, Ukraine, 84404,
e-mail: slusarev.alex@gmail.com

Boieva S.,

Ph.D. in Medical Sciences.,
Lithuanian University of Health Sciences,
Kaunas, Lithuania,
e-mail: bssmicro@gmail.com,

Mammad kizi S.,

Candidate of Medical Sciences, Docent,
Associate Professor at the Department of Infections Diseases,
Azerbaijan Medical University, 23 Bakikhanov str. Baku,
Azerbaijan, aku-1130,
e-mail: srashidova@yahoo.com

Tarasova I.,

recipient of a scientific degree at the SI
«The L.V. Gromashevsky Institute of Epidemiology and Infectious Diseases of NAMS of Ukraine»,
M. Amosova str., 5, Kyiv, Ukraine, 03038,
e-mail: ira.slusareva@gmail.com

EXPLORING THE MODIFICATION OF CONSTANT ACTION OF NATURAL RADIATION COMBINED WITH TECHNOGENIC. STUDY OF THE INFLUENCE OF BEE BREAD

This study aimed to address immune system abnormalities in a population residing in an area characterized by continuous low-intensity natural radiation combined with anthropogenic radiation exposure. A group of volunteers, representative of the conditionally healthy population, received a dietary intervention supplemented with bee bread. The investigation focused on modulating the cellular component of non-specific resistance and immune system functionality. Following the course of bee pollen supplementation, the main study group exhibited significant improvements, including the restoration of neutrophil levels responsible for phagocytosis and inflammatory response. Additionally, there was a notable reduction in the frequency and severity of overt and covert immune deficiencies. These findings highlight the potential of bee bread (BB) as an adjunct therapeutic intervention for enhancing the immune system in populations exposed to radiation-related challenges. The study contributes to our understanding of strategies for mitigating immune system impairments in radiation-exposed individuals.

Keywords: natural low-intensity ionizing radiation, cellular component of the immune system, non-specific resistance, immune system, restoration, bee bread.

ПОШУК МОДИФІКАЦІЇ ПОСТІЙНОЇ ДІЇ ПРИРОДНОЇ РАДІАЦІЇ КОМБІНОВАНОЇ З ТЕХНОГЕННОЮ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БДЖОЛИНОГО ОБНІЖЖЯ

З метою корекції виявлених порушень системи імунітету в умовно здорового населення, що мешкає на території з постійною дією низькоінтенсивної природної радіації, комбінованої з техногенними радіаційними впливами, групі волонтерів додатково до харчового раціону було введено бджолине обніжжя курсом. Проведені дослідження виявили ознаки відновлення клітинної ланки неспецифічної резистентності та імунної системи. Це проявлялось в основній групі обстежених після курсу бджолиного обніжжя тенденцією до відновлення до рівня норми вмісту нейтрофілів, відповідальних за фагоцитоз та запалення, а також вірогідним зниженням частоти виявлення та рівня важкості наявної та скритої недостатності імунної системи.

Ключові слова: природна низькоінтенсивна іонізуюча радіація, клітинна ланка системи імунітету, неспецифічна резистентність, імунна система, відновлення, бджолине обніжжя

Introduction. In regions characterized by the coexistence of natural and anthropogenic ionizing radiation, populations face the potential compounding and magnification of detrimental factors affecting their physiological well-being. The persistent and cumulative exposure to adverse biotic, abiotic, and sociocultural elements within the environment can engender a state of compromised adaptation mechanisms, disturbances in the intricate interplay of psychoneuroimmune regulation, a decline in organismal resilience, and the subsequent development of pathological manifestations [1–3]. The research conducted by our team unveiled substantial perturbations within the hematological and immune systems of the population residing in the region of Kirovohrad Oblast, with particular focus on the city of Kropyvnytskyi [4, 5]. Given the aforementioned outcomes, the development of radioprotective strategies aimed at safeguarding the inhabitants of Kropyvnytskyi and analogous regions subjected to the continuous impact of dual radiation stress emerges as a pressing imperative.

Currently, it is widely acknowledged that nutrition represents the most optimal and practically feasible approach to protect the body against the continuous effects of ionizing radiation [6, 7]. Enhancing organism functioning, improving adaptability, and overall quality of life can be achieved by enriching the population's diet with vitamins, micronutrients, a complex of enzymes and coenzymes, as well as plant and animal biologically active additives or their complexes [7–9]. In addition to a well-balanced diet, it is necessary to introduce into the body biologically active substances (BAS) that possess radioprotective properties. Particularly, BAS positively influences neuroimmune-endocrine regulation and expands the adaptive capabilities of the major organ systems [2, 9]. In this context, BB appears to be of interest. BB is a combination of flower pollen particles bound together and partially digested by bee saliva [2, 10]. It serves as a natural multivitamin with unique morphological properties, chemical composition, and therapeutic-preventive properties [2, 10–13]. Experimental animal studies have demonstrated the effectiveness of BB as a radioprotective BAS under prolonged irradiation [2, 14].

The objective of this study was to investigate the potential impact of BB on the immune system, specifically on the cellular component of non-specific resistance and the immune system as a whole.

A study was conducted to investigate the effect of BB on the content of key elements in the leukogram, which quantitatively reflects the status of the cellular component of non-specific resistance and the immune system. The study involved 58 apparently healthy women residing in Kropyvnytskyi. Among them, 23 women in the main group (MG) received a course of BB supplementation in addition to their regular diet. The BB course lasted for 60 days, with a daily dose of 2.5 grams administered on an empty stomach. The women in the control group (CG) did not receive BB supplementation. At the end of the BB course, blood samples were collected from both groups of women to analyze the content of key elements in the leukogram. The assessment of immune status was conducted using first-level immunological tests, adjusted according to the age of the participants, based on previous research [15–18]. During the study, the immune system parameters were evaluated based on the absolute content of leukocytes and their specific subsets, including myelocytes, metamyelocytes, stab neutrophils, segmented neutrophils, eosinophils, basophils, monocytes, lymphocytes, and natural killers. The investigation utilized a hematological analyzer at the Polyclinic Union of the City Council in Kropyvnytskyi for analyzing the samples. Subsequently, the data were processed and analyzed at the Department of Microbiology, Virology, Immunology, and Medical Biology of Donetsk National Medical University in Kramatorsk.

The obtained results were subjected to statistical analysis using variation statistics methods. The software package Statistic Windows (version 1) and relevant measurement programs were employed for data processing and analysis.

The conducted research showed the absence of a negative impact and the presence of positive changes regarding the indicators of the cellular branch of non-specific resistance and the immune system. This means that the use of BB therapy (BPT) in the bodies of conditionally healthy women has a beneficial effect on the functioning of their immune system.

Changes in leukogram indicators, such as an increase or decrease in specific types of leukocytes (e.g., neutrophils, eosinophils, monocytes, etc.), may indicate the body's immune response activity. In Figure 1 and Figure 2, the data on the content of leukocytes and the main elements of the leukogram reflecting the state of non-specific resistance and

immune system in conditionally healthy women (CHW) residing in Kropyvnytskyi, Kirovohrad region, after the course of BB is presented.

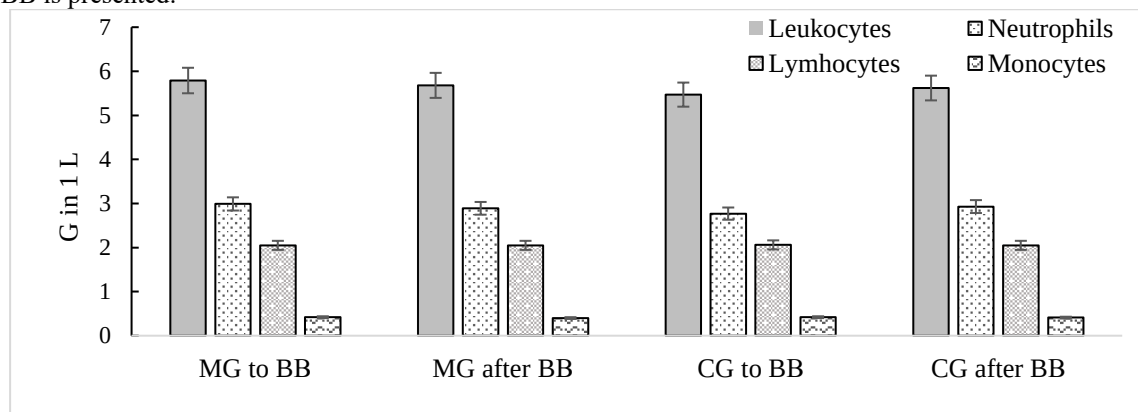


Figure 1. – The effect of bee bread (BB) supplementation on leukocyte, neutrophil, and lymphocyte counts in conditionally healthy women residing in Kropyvnytskyi, Kirovohrad region, for both the Main group (MG) and control group (CG).

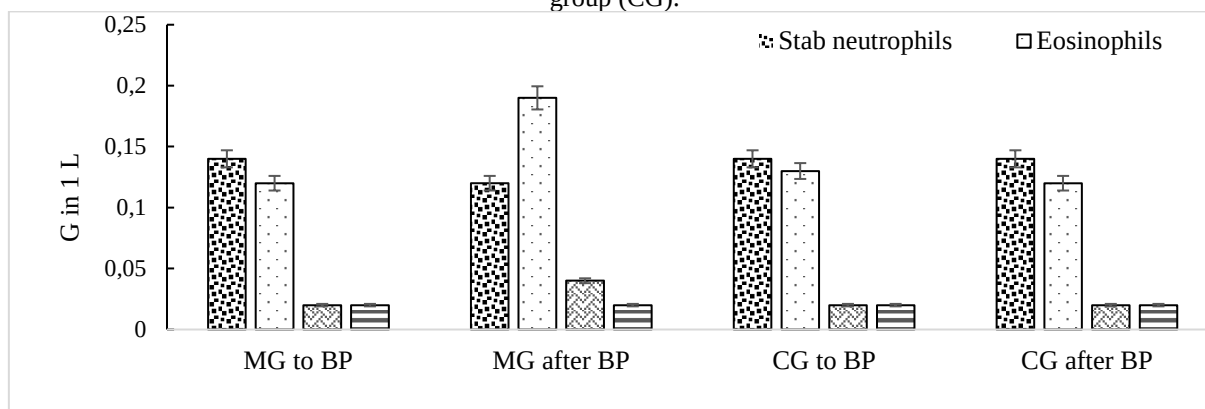


Figure 2. – The effect of bee bread(BB) supplementation on the counts of stab neutrophils, eosinophils, basophils, and natural killer cells in conditionally healthy women residing in Kropyvnytskyi, Kirovohrad Region, for both the main group (MG) and control group (CG).

As seen from the data presented in Figures 1 and 2, there were minimal quantitative changes in the content of cells representing the cellular branch of non-specific resistance in individuals of the main group after the course of BB supplementation. Only a weak tendency towards changes in the content of leukocytes and leukogram elements, except for a portion of granulocytes, was observed. The content of stab neutrophils and segmented neutrophils, compared to the initial data of the MG and CG groups, as well as the reference values, did not show significant differences ($P>0,05$) during the period after consuming BB.

The content of stab neutrophils was within the normal range, on average, prior to the start of the therapy course in both the MG and CG groups. However, elevated levels of stab neutrophils were observed in $13,04\pm1,5\%$ of individuals in the MG group and $12,0\pm1,29\%$ of individuals in the CG group before the BB course. After the BB course, the content of stab neutrophils in the MG group did not exceed the normal range, while in $16,0\pm1,47\%$ of individuals in the CG group, the content of stab neutrophils remained elevated.

According to the findings, there were no statistically significant differences in the mean content of segmented neutrophils between the MG and CG groups, both before and after the BB course. However, it is noteworthy that prior to the course, an elevated proportion of individuals in the MG group ($43,48\pm2,15\%$) exhibited increased levels of segmented neutrophils, whereas, after the course, none of the individuals showed elevated levels. In contrast, the CG group maintained consistent levels of segmented neutrophils before and after the BB course, with values of $44,0\pm2,16\%$ and $40,0\pm1,96\%$, respectively. These observations were made within an academic framework to analyze the impact of the BB intervention on the content of segmented neutrophils in the respective groups.

Prior to the BB course, basophils, which are not mandatory elements of the leukogram, were detected in $56,5\pm2,16\%$ of individuals in the MG group and $56,0\pm1,98\%$ of individuals in the CG group. The average content of basophils did not differ significantly between the MG and CG groups prior to the BB course. Elevated levels of basophils were observed in $13,04\pm1,46\%$ of individuals in the MG group and $16,0\pm1,47\%$ of individuals in the CG group. After the BB course, the frequency of individuals with elevated basophil levels did not change in both the MG and CG groups. However, in

the MG group, the content of basophils was twice as high as the baseline values in both groups and the values in the CG group after the BB course. These changes, however, did not reach statistical significance ($P>0,05$).

An exception among the granulocytes was observed with eosinophils, whose content significantly increased, on average, in individuals from the MG group after the BB course ($P<0,05$), compared to the baseline values and the CG group before and after the course. The content of eosinophils in the MG group after the BB course showed a tendency to increase compared to the average values of the CHW but remained within the normal range. The increase in eosinophil content after the BB course was detected in only $17,39\pm1,65\%$ of individuals in the MG group and did not exceed the normal limits ($0-0,45\text{ G in }1\text{L}$) [15-16].

Individually, it was observed that $13,04\pm1,46\%$ of individuals in the MG group and $16,0\pm1,47\%$ of individuals in the CG group exhibited elevated levels of monocytes, both prior to and following the BB course. However, when considering the average values, the overall content of monocytes in both the MG and CG groups did not demonstrate statistically significant variations before or after the administration of BB.

In the course of the study using routine methods, the average content of immune system cells, specifically lymphocytes, showed minimal changes in both the MG and CG groups, both prior to and following the BB course. In $30,43\pm2,0\%$ of individuals in the MG group and $28,0\pm1,79\%$ of individuals in the CG group, mild to moderate immune system deficiency was observed. Additional investigations, specifically the assessment of hidden immune deficiency [19], revealed that prior to the BB course, $26,07\pm1,68\%$ of individuals in the MG group and $28,0\pm1,79\%$ of individuals in the CG group also exhibited hidden immune deficiency. The combined occurrence of overt and hidden immune system deficiency in the MG group was $56,5\pm2,6\%$, while in the CG group, it was $56,0\pm1,90\%$. Following the BB course, the frequency of overt immune system deficiency in the MG group decreased to $13,04\%$, compared to baseline ($P<0,05$). The identified immune system deficiency in the MG group was of mild severity. The frequency of hidden immune system deficiency in the MG group remained unchanged. Thus, the cumulative frequency of overt and hidden immune system deficiency after the BB course in the MG group likely decreased to $43,48\pm2,1\%$ ($P<0,05$). No changes were observed in the CG group. The frequency of natural killer cells did not show any significant differences before and after the BB course, both in the MG and CG groups. However, in the MG group, the frequency of these cells likely decreased from $30,43\pm2,0\%$ to $13,04\%$ after the BB course. In contrast, in the CG group, the frequency of natural killer cells and their content after the BB course did not differ from the baseline data.

Thus, the conducted research has shown a positive impact of the BB course, manifested by a tendency towards restoring the cell content to normal levels, primarily neutrophils, which are responsible for phagocytosis and inflammation. Furthermore, there is a likely reduction in the frequency of detection of both overt and hidden immune system deficiencies and their manifestations.

Conclusions:

The course of bee bread administration has a positive impact on the cellular component of non-specific resistance, as evidenced by a tendency towards normalization of the indicators.

The course of bee bread administration positively affects the cellular component of the immune system, with a tendency towards its restoration and a decrease in the frequency and severity of both evident and hidden deficiencies in lymphocyte content.

References:

1. Baraboy, V.A. (1991). From Hiroshima to Chernobyl. Kyiv: Naukova Dumka.
2. Raksha-Slusareva, O.A. (2010). Approaches to the assessment of the quality of food additives aimed at nutrition correction and regulation of body systems: monograph. Donetsk: DonNUET.
3. Raksha-Slusareva, O. (2006). Radiation factor influence on foodstuffs quality research. Global Safety of Commodity and Environment. Quality of Life, 15th symposium of IGWT, 936 – 939.
4. Raksha-Slusareva, O.A. et al. (2022). Research on the influence of natural ionizing radiation and environmental technogenic features on blood parameters. Scientific Goals and Purposes in the XXI Century, Proceedings of the 3rd International Scientific-Practical Conference, 268 – 280.
5. Operchuk, N., Zadorozhna, V., & Raksha-Slusareva, O. (2018). Study of the effect of low-intensity natural and technogenic-induced ionizing radiation on the blood parameters of children depending on places of residence, within the same location. World Science, 4(32), 4 – 7.
6. Smolyar, V.I. (1992). Ionizing radiation and nutrition: monograph. Kyiv: Zdorov'ya.
7. Smolyar, V.I. (1993). Modern concept and formula of radioprotective nutrition. Likarska sprava, (9), 38 – 43.
8. Rudavska, G.B., Tyshchenko, Ye.V., & Prytul'ska, N.V. (2002). Scientific approaches and practical aspects of optimizing the assortment of specialized products: monograph. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics.
9. Raksha-Slusareva, O.A. (2014). Food additives. Donetsk: Landon-XXI. 549 p.
10. Kafantaris, I., Amoutzias, G.D., Mossialos, D. (2021) Foodomics in Bee Product Research: A Systematic Literature Review. Eur. Food Res. Technol, (247), 309 – 331.
11. Voloshyn, O.I., Pishak, O.V., & Meshchyshen, I.F. (1998). Pollen (bee pollen) in clinical and experimental medicine. Chernivtsi: Prut.
12. Raksha-Slusareva, O.A. (2006). New food additive flower pollen as an adaptogen for sports medicine. Sportivna meditsina, (2), 121–126.

13. Raksha-Slusareva, O.A., Solomiana, Z.V., & Slusarev, O.A. (2012). Research on the properties of bee pollen as a promising ingredient for sports nutrition. *Teoriya i praktika fizichnogo vikhovannya*, (1), 154 –160.
14. Raksha-Slusareva, O.A., Kvasnikov, A.A., Slusarev, O.A., & Kustov, D.Yu. (2008). Study of the biological activity of the food additive "Flower Pollen" in model experiments. *Prohresyva tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli*, 2 (8), 430 – 436.
15. Raksha-Slusareva, O.A., Kvasnikov, A.A., Slusarev, O.A., & Kustov, D.Yu. (2009). Study of the radiomodifying properties of the food additive "Flower Pollen". *Obladnannya ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, 20, 316 –323.
16. Bazarnova, M.A., Morozova, V.T. (Eds.). (1988). *Guide to practical classes in clinical laboratory diagnostics*. Kyiv: Vyscha shkola.
17. Dolgov, V.V. (Ed.). (2012). *Clinical laboratory diagnostics. Volume 2: National manual*. Moscow: GEOTAR-Media.
18. Kishkun, A.A. (2015). *Clinical laboratory diagnostics. Tutorial (Chapter 2. Hematological investigations)*. Moscow: GEOTAR-Media.
19. Lucik, B.D., Lapovets, L.Ye., Lebed, G.B., et al. (Ed.). (2018). *Clinical laboratory diagnostics. Tutorial*. 2nd edition. Kyiv: VSV «Meditsina».
20. Patent No. 104446 Ukraine, IPC G01N33/50. Method for detecting latent immune system deficiency. Raksha-Slusareva, O.A., Slusarev, O.A., Slusareva, M.O., Tarasova, I.A.,
21. Samarin, D.V., & Yukhimenko, O.O. Filed September 2, 2015; published January 25, 2016, Bulletin No. 2/2016.

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

UDC 57.043:63:37.022

Kovalenko P.,

Phd, Doctor of Philosophy (Candidate of Biological Sciences)
assistant of the Department of Microbiology, Virology,
Immunology, and Medical Biology, Donetsk National Medical University,
str. Yu. Kovalenko 4 A, Kropyvnytskyi, Ukraine,
e-mail: polina.kovalenko27@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-4731-6902

Raksha-Sliusareva O.,

Doctor of Biological Sciences, Full Professor,
Professor at the, Microbiology, Virology, Immunology,
and Medical biology at Donetsk National Medical University,
str. Yu. Kovalenko 4 A, Kropyvnytskyi, Ukraine,
e-mail: rakshasliusareva@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2144-6792

Slusarev O.,

Candidate of Medical Sciences, Docent,
Head of the Department of Microbiology, Virology,
Immunology and Medical biology,
Donetsk National Medical University, str. Yu. Kovalenko 4 A,
Kropyvnytskyi, Ukraine,
e-mail: slusarev.alex@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-2968-9388

Boyeva S.,

Ph.D. in Medical Sciences., Lithuanian University of Health Sciences,
Kaunas, Lithuania,
e-mail: bssmicro@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-2691-1895

Tur Ya.,

Assistant Professor of the Department of Microbiology, Virology,
Immunology, and Medical Biology at the
Donetsk National Medical University, str. Yu. Kovalenko 4 A,
Kropyvnytskyi, Ukraine,
ORCID: 0000-0003-1082-7231

BIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RADIONUCLIDES FOR THE ENVIRONMENT

The review draws attention to the fact that man-made radionuclides enter the environment mainly in solid form. Information is briefly presented on the factors that determine the further behavior of radioactive particles in ecosystems, radiation doses and biological consequences of radioactive environmental pollution. Thanks to human activities, natural radionuclides of the earth's crust can enter the atmosphere. When coal is burned at TPPs, in addition to carbon dioxide (a result of the greenhouse effect) and sulfur compounds (a result of acid rain), radon gas enters the atmosphere and emits soot (a product of carbon condensation in the absence of oxygen), which contains radionuclides of the thorium series. Scientists from different countries have repeatedly compared the radiation pollution of TPPs and NPPs. Long-term studies have proven that coal-fired thermal power plants emit many times more radioactive substances into the atmosphere than conventional nuclear power plants. However, historical experience also shows that this optimistic situation changed dramatically due to the massive releases of radioactive materials caused by accidents at nuclear power plants. In connection with the wide practical use of uranium and plutonium, the emission of these elements into the environment has become one of the main problems of modern radiation ecology. Systematization of a large amount of data during the entire post-accident period allowed the Commission to develop a fairly clear assessment. According to the Scientific Committee, there were cases of thyroid cancer in children exposed to radiation during the accident. Trends observed among this group of victims suggest that the number of cancer cases is likely to increase over the next decade. Apart from the increased incidence of thyroid cancer among exposed children, there is no scientific evidence that

increased overall cancer incidence or increased mortality is associated with radiation exposure. Leukemia is a cancer that occurs mainly after exposure due to its short incubation period (210 years), and the risk of leukemia may not be increased even among workers engaged in disaster recovery.

Key words: population exposure, ionizing radiation, natural radionuclides, radiation pollution.

БІОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ РАДІОНУКЛІДІВ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В огляді звертається увага на те, що техногенні радіонукліди потрапляють у навколишнє середовище переважно у твердому вигляді. Коротко подано інформацію про фактори, що визначають подальшу поведінку радіоактивних частинок в екосистемах, дози опромінення та біологічні наслідки радіоактивного забруднення навколишнього середовища. Завдяки життєдіяльності людей в атмосферу можуть потрапляти природні радіонукліди земної кори. При спалюванні вугілля на ТЕС, крім вуглекислого газу (результат парникового ефекту) і сполук сірки (результат кислотних дощів), в атмосферу надходить газ радон і виділяє сажу (продукт конденсації вуглецю при нестачі кисню), який містить радіонукліди торієвого ряду. Вчені різних країн неодноразово порівнювали радіаційне забруднення ТЕС і АЕС. Багаторічними дослідженнями доведено, що вугільні ТЕС викидають в атмосферу радіоактивних речовин у багато разів більше, ніж атомні електростанції, що працюють звичайним способом. Однак історичний досвід також показує, що ця оптимістична ситуація різко змінилася через масові викиди радіоактивних матеріалів, спричинені аваріями на атомних електростанціях. У зв'язку з широким практичним використанням урану і плутонію викид цих елементів у навколишнє середовище став однією з головних проблем сучасної радіаційної екології. Систематизація великої кількості даних протягом усього післяаварійного періоду дозволила Комісії розробити досить чітку оцінку. За даними Наукового комітету, були випадки раку щитовидної залози у дітей, які зазнали опромінення під час аварії. Тенденції, які спостерігаються серед цієї групи жертв, свідчать про те, що кількість випадків раку, ймовірно, зростає протягом наступного десятиліття. Окрім збільшення захворюваності на рак щитовидної залози серед опромінених дітей, немає наукових доказів того, що збільшення загальної захворюваності на рак або підвищення смертності пов'язані з радіаційним опроміненням. Лейкемія – це рак, який з'являється в основному після впливу через короткий інкубаційний період (210 років), і ризик лейкемії може не підвищуватися навіть серед працівників, зайнятих ліквідацією наслідків аварії.

Ключові слова: опромінення населення, іонізуюче випромінювання, природні радіонукліди, радіаційне забруднення.

Introduction. An important achievement of the second half of the last century is the practical development of nuclear energy. Unfortunately, humanity entered the nuclear age in the worst possible way - the creation of nuclear weapons and their use (Hiroshima, Nagasaki 1945). The subsequent numerous tests of nuclear weapons, as well as violations of the nuclear technological cycle for the production of electricity, led to multiple emissions of radionuclides into the environment. Society also grapples closely with the issue of storing and processing radioactive waste [47].

The circumstances listed above contributed to the formation of a negative attitude towards nuclear energy in society, up to its complete rejection [1,2]. Radioactive pollution is often imagined as some homogeneous substance that fills the environment, such as "thermal hydrogen" or "ether". This point of view contradicts the results of numerous studies, in which it has been proven beyond doubt that radionuclides of man-made origin enter the environment mainly in the form of microparticles, and environmental pollution is not homogeneous [3,32,33].

In our opinion, one of the reasons for misconceptions lies in ignorance or misunderstanding that the formation of radioactive pollution is associated with physico-chemical processes that occur at the atomic (or molecular) level, while radioactivity is a property of nuclear elements, i.e. belongs to another, deeper level of the structure of matter. The second reason is ignoring the influence of the natural environment itself on the formation, spread and transformation of pollution [34,35]. The goal is to study the adverse impact of radiation pollution on the environment.

Research materials and methods. Assessments of the global situation, as well as assessments at the regional level, can be found in many works [4, 5, 6, 7, 8, 9]. However, they are most fully described in the documents. Research materials spoke: national regulatory and technical documents on radiation safety [26], legislation of Ukraine on radiation safety and human protection from ionizing radiation, materials of a normative nature; materials of radiation research by scientists of the Mykolayiv Scientific Research Laboratory on the Problems of Radiation Safety of the Population (NDL "LARANI") [25]. The Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU - 97), approved by the Resolution of the Chief Sanitary Doctor of Ukraine dated December 1, 1997 No. 62 (hereinafter referred to as the Standards), is the main document that establishes a system of radiation hygiene regulations to ensure the accepted levels of exposure, as for an individual person, as well as society. The requirements of international and European organizations regarding radiation safety and the state of the domestic system of state regulation of nuclear and radiation safety are analyzed. The problems

in the national legislation on radiation safety that need to be solved in accordance with the current directive requirements of the EU are highlighted [10, 11, 12, 13].

Research results and their discussion. Physico-chemical properties of uranium and plutonium (currently the most important environmental pollutants), as well as a number of factors that determine their further behavior in the ecosystem, are presented in a short form.

Sources of natural radioactivity include nuclides with very long half-lives, which, together with their short-lived daughter products, have been present on Earth since its formation. Additionally, natural radioactivity arises from nuclides formed by cosmic radiation in the upper layers of the atmosphere [14, 15]. Acting together, these sources create a natural radioactive background, which is an integral part of the human habitat.

As a result of the practical activities of people, natural radionuclides in the earth's crust can be released into the atmosphere [23]. Important sources of direct atmospheric emissions that existed long before the development of artificial radioactivity are the processes of extraction, processing and use of minerals (coal, oil, phosphates, etc.). So, for example, emissions of radionuclides into the atmosphere during the production of phosphate fertilizers are estimated at $90 \text{ Bq }^{238}\text{U}$ i $10^6 \text{ Bq }^{222}\text{Rn}$ for each ton of processed ore [19].

When coal is burned at thermal power plants, in addition to carbon dioxide (a consequence of the greenhouse effect) and sulfur compounds (a consequence of acid rain), radon enters the atmosphere and soot (a product of carbon condensation under conditions of lack of oxygen or too low temperatures) containing radionuclides is emitted thorium series.

Scientists from different countries have repeatedly compared the radiation pollution created by thermal and nuclear power plants (TPP and NPP). As a result of many years of research, it has been proven that the amount of radioactive substances emitted into the atmosphere by TPPs operating on coal is many times greater than the emissions of NPPs operating in regular mode [4]. However, historical experience also demonstrates that this optimistic picture can change dramatically due to accidents at nuclear power plants, which often result in significant emissions of radioactive substances.

Sources of radioactive contamination with artificial radionuclides. Artificial radionuclides are an important class of environmental pollutants that can enter the environment through various technological processes. During the hydrometallurgical processing of uranium ores, useful components are extracted from the initial raw materials in the amount of 0.2% of the total mass, and 99.8% goes to production waste containing radioactive elements. A large number of radionuclides of 36 chemical elements enter the atmosphere, among which more than 20% are radionuclides of iodine. The most common sources of environmental pollution with artificial radionuclides are [18, 4, 11] - fallout from nuclear weapons tests; emissions from nuclear fuel cycle enterprises (NFC); emissions as a result of nuclear accidents; leaks as a result of violation of nuclear waste storage conditions.

Tests of nuclear weapons. Since 1945, more than 2,000 military nuclear explosions have been carried out in the atmosphere, on the ground, underground and underwater. In addition, a number of underground tests were conducted for peaceful purposes [30,31]. Most of the plutonium released into the atmosphere ended up in sea bottom sediments [20]. During a nuclear explosion in conditions of high temperatures and pressure occurring in a confined space, a significant amount of uranium and plutonium instantly evaporates and is in an atomic, ionized state. Favorable conditions are created for further condensation of radioactive substances. Therefore, after the nuclear tests, in all cases without exception, highly active microparticles, which were called "hot particles", were detected in the atmosphere and on the surface of the earth. The size and shape of the particles, their chemical composition, and activity ratio (y/β) depended on the design and power of the explosive device, as well as on the conditions of the explosion [4,18].

As a rule, dense spherical particles of small size with a uniform distribution of activity were detected at high altitudes. Significant radioactivity (90-95%) appears to be associated with particles larger than $200 \mu\text{m}$.

Emissions from nuclear fuel cycle enterprises. Currently, nuclear power plants produce about 17% of the world's electricity production [11]. The nuclear fuel cycle is the predominant source of radionuclide emissions following the cessation of nuclear weapons testing. Especially dangerous in this regard are emergency situations at nuclear facilities, which are accompanied by a leak of radioactivity [21]. As a result of numerous studies, it has been established that during accidents at nuclear industry enterprises, the emission into the environment occurs mainly in the form of hot particles. Moreover, radioactive particles can enter the environment both as a result of high-temperature (fire, explosion) and low temperature emergency processes (leakage in the event of a leak) [40-42]. The properties of particles (size, shape, chemical composition, activity, etc.) depend on the nature and scale of the accident. Among accidents at nuclear fuel cycle enterprises, events at the Chernobyl Nuclear Power Plant hold a special place [9,22,29].

Storage and processing of spent nuclear fuel. Reactor operation is accompanied by fuel depletion (decrease in ^{235}U concentration) and accumulation of fission products. After several years of operation, exhausted fuel elements are replaced with new ones, and those removed from the reactor are stored for some time for cooling and deactivation, and then moved to storage facilities for long-term storage.

Spent fuel is a valuable raw material that, after its decontamination, can be removed from storage and reprocessed. Processing of spent fuel at a specialized enterprise allows you to isolate uranium and plutonium, separate them, and then to reuse them in reactors.

Due to the wide practical use of uranium and plutonium, emissions of these elements into the environment have become one of the main problems of modern radiation ecology [14].

Biological consequences of radioactive pollution of the environment. Assessments of the global situation, as well as assessments at the regional level, can be found in many works [4, 5, 6, 7, 8, 9, 43-46]. However, they are most fully set forth in the documents of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR) [10, 11, 12, 13], which is the Scientific Committee of the General Assembly with the right to assess and report on the levels and effects of atomic radiation.

According to estimates made by the Scientific Committee at the turn of the 20th and 21st centuries [11, 13], the range of individual doses determined by the level of the natural radioactive background is 1-10 mSv. This range depends on factors such as the concentration of radionuclides in the environment, the latitude and altitude of the area, as well as various other influencing factors. The largest contribution of artificial sources was associated with the tests of nuclear weapons in the atmosphere [36-39].

The annual contribution to exposure from electricity production at nuclear power plants of nuclear states is estimated to be no more than 2 μ Sv, and the average international annual dose due to medical diagnostics is 0.4 mSv.

Special attention (in separate documents of the Scientific Committee [12]) is given to consideration of the doses that occur as a result of the accident at the Chernobyl NPP.

The systematization of numerous data for the entire post-accident period allowed the Committee to formulate a fairly categorical assessment. The average doses were 100 mSv for 240,000 workers engaged in liquidation of the consequences of the accident, 30 mSv - for 116,000 evacuated people, 10 mSv during the first decade after the accident - for those who continued to live in contaminated areas. Maximum dose values can be 10 times higher.

Residents of European countries received doses of no more than 1 mSv in the first year after the accident, with a progressive reduction of doses in subsequent years.

According to data available to the Scientific Committee, there have been about 1800 cases of thyroid cancer in children irradiated during the accident. Trends observed among this group of victims suggest that the number of cancer cases is likely to increase over the next decade. [15,24].

There were widespread psychological reactions to the accident, which arose from fears about radiation, but were in fact in no way related to radiation doses. The committee also notes that there is a recent tendency to associate the increase in the number of all cancers with the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, ignoring the fact that these increases were noted in the affected areas before the accident [28]. In addition, when interpreting the consequences of the Chernobyl accident, it is necessary to consider information about the general increase in mortality observed in recent years in most areas, including those not related to the consequences of the accident.

Conclusions. At the end of the review, we note once again that radionuclides of man-made origin enter the environment mainly in the form of microparticles. Due to the wide practical use of uranium and plutonium, emissions of these elements into the environment have become one of the main problems of modern radiation ecology. Radionuclides tend to accumulate in soils and bottom sediments of water reservoirs, are easily adsorbed on the surfaces of plants and microorganisms, thus becoming incorporated into food chains. Living organisms are exposed to radionuclides mainly via surface contact, inhalation and food.

For situations similar to the accident at the Chernobyl NPP, the assessment of the radiological consequences of environmental pollution should be differentiated (liquidation professionals, the population living in contaminated areas, etc.).

References

1. Buldakov, L.A., Kalystratova, V.S. Radioactive radiation and health. - M.: Inform Atom, 2003. - 165 p.
2. Serdyuk, A.M., Los I.P. Information problems of the Chernobyl accident // Environment and health. - 2006. - No. 1 (36). - P. 5-12.
3. S.V. Litvinov, N.M. Rashidov Bidnocna nytanovychnytlivyt' ARABIDOPSIS THALIANA Atmsh2 SALK_002708 and the range of targets for resistance to fall; The new seeding plant of ARABIDOPSIS THALIANA Atmsh2 SALK_002708 and the target range of the dose of plant resistance; Relative radiosensitivity of the Arabidopsis Thaliana Atmsh2 SALK_002708 mutant in the sublethal range of radiation doses// Nuclear physics and atomic energy. Volume 19-2. 2018/6 - pp. 145-149
4. N.Rashidov The text of the scientific paper on the topic "The influence of the man-made disaster in the Chernobyl zone contaminated with radionuclides on the transgenerational changes of plants" // Natural disasters and the safety of people's lives, 2017.
5. Grigorieva L.I. Supplementing the ecological criteria of the quality of irrigation water with standards for the content of radioactive substances / L.I. Grigor'eva, A.O. Alekseeva // Standardization. Certification. Quality. - 2020. - No. 1. - P. 18-24.
6. L. Grigorieva, K. Grigoriev, O. Kaprarenko Improvement of regulatory support for human protection from technogenically enhanced natural radioactive sources L. Grigorieva, K. Grigoriev, O. Kaprarenko - Quality management in education and industry: experience, problems and prospects: III International scientific and practical conference in memory of Professor Petr Stolyarchuk, Lviv, 2017. - P. 161-162
7. The new Council Directive 2013/59/Euratom of December 5, 2013 is developed on the basis of the IAEA Basic Safety Standard GSR Part 3
8. 20 years of the Chernobyl disaster. Looking to the future: National report of Ukraine / Implementing organization: Ukrainian Research Institute of Civil Protection of the Population and Territory from Emergency Situations of Man-made and Natural Nature of the Ministry of Emergencies of Ukraine. - K.: Attica. 2006.- 232 p.

9. The legacy of Chernobyl: medical, ecological and socio-economic consequences and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. Chernobyl Forum 2003-2005. / 2nd expt. ed., 2006.
10. L.I. Grigor'eva, K.V. Grigor'eva Scientific and technical grounds for improving the national regulatory framework for limiting population exposure from sources of ionizing radiation// SCIENTIFIC WORKS, 2017. – P. 146
11. O.V. Makarova, LI Grihor'eva Innovative approach in creating a technology of safe closure of product production life cycles at two environmentally hazardous enterprises.//MOHYLIAN READINGS – Vol.4 -2020,
12. N. Rashidov, Martyn Haidukh Chernobyl seeding project. Achievements in the identification of differentially distributed proteins in a radioactively polluted environment // Grains in plant cultivation, 2015. Volume 6. P.493
13. Shevchenko O.L., Dolin V.V. Methodological principles and main evaluation indicators of environmental radiation monitoring// GEOCHEMISTRY OF TECHNOGENESIS issue 2 (30), 2019.
14. Yu.M. Shirokov, N.P. Yudin. Nuclear physics. - M.: Nauka, 1980. - 728 p.
15. Kovalenko P.G., Kots S.M., Gromova T.V., Raksha-Slyusareva O.A., Serikh N.O. The state of health of the population of Kirovohrad region under the influence of natural low-intensity radiation //International periodic scientific journal "Modern journal 2022". – Issue 11. Part 3. – Svishtov, Bulgaria: January 2022. – P. 35–39. – DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-03-030
16. Yu.V. Bonchuk Sanitary and protective zones of nuclear power plants and radiation-hygienic requirements for their appointment//Problems of radiation medicine and radiobiology. -2016. - No. 21. - P. 91-105.
17. Bebesheko V.G., Priester B.S., Omelyanets M.I. Radio-biophysical and medical-hygienic consequences of the Chernobyl disaster: ways of understanding and overcoming
18. O.I.Gerasimov,A.M.Kilyan Elements of environmental physics: Radioecology. Synopsis of lectures// 2003 - eprints.library.odeku.edu.ua
19. Buldakov, L.A., Kalystratova, V.S. Radioactive radiation and health. - M.: InformAtom, 2003. - 165 p.
20. V.N. Korzun, IP Kozyarin, II Karachev Hygienic assessment of seaweed and food products with them as means of minimizing the effects of radiation and endemicity // 14.02. 01-hygiene - 2006 - irbis-nbuv.gov.ua
21. Sivun NPP The impact of radiation on the population and the environment after the accident at the Chornobyl NPP// - 2016 - elar.naiu.kiev.ua
22. INSAG7. Chernobyl accident: supplement to INSAG1. Report of the International Advisory Group on Nuclear Safety. - Vienna: IAEA, 1993.- 159 p.
23. Kovalenko P.G. Radioactive radiation: impact on human health of low-intensity permanent natural radiation in Ukraine and the world/H. Deforzh, S. Dorogan, P. Kovalenko//National Health as Determinant of Sustainable Development of Society. Editors: Nadiya DUBROVINA & Stanislav FILIP. Monograph. School of Economics and Management in Public Administration in Bratislava, 2021. -P.131–154. http://www.vsemvs.sk/portals/0/Subory/Mono_VSEMvsMED2021.pdf
24. Kots S.N., Kots V.P., Kovalenko P.G. Influence of small doses of radiation // The 1st International scientific and practical conference "Problems and Innovations in Science" Part 1 (May 4-5, 2020) Nika Publishing, London, Great Britain. 2020. – R. 257 – 260.
25. Yu. A. Tomilin, L. I. Hryhor'eva Radiation dose of granite quarries specialists from radon-222 / Yu. A. Tomilin, L. I. Grigoryev – Scientific Notes of the National Academy of Sciences, 2008. – pp. 47–51.
26. Complex radiation and hygiene monitoring of individual settlements of radioactively contaminated territories of Ukraine during 2016–2018 for assessment and clarification of doses of population exposure (final) 572 / DU "NNCRM National Academy of Sciences of Ukraine"; Director: V. V. Vasylenko, S. Yu. Nechaev. Kyiv, 2018. 232 p. state registration number 0116U002477.
27. Thyroid doses in Ukraine due to I intake after the Chornobyl accident. Report I: revision of direct thyroid measurements / S. Masiuk, M. Chepurny, V. Buderatska et al. Radiat. Environ. Biophys. 2021. Vol. 60, no. 1. P. 1–22. doi: 10.1007/s00411q021q00896q9
28. Assessment of the consumption of basic food products by residents of individual settlements of radioactively contaminated territories of Ukraine / V.V.Vasylenko, H. M. Zadorozhna, M. S. Kuryata, L. O. Lytvynets, D. V. Novak. Problems of radiation medicine and radiobiology. 2019. Issue 24. P. 93–108.
29. Safety problems of atomic energy. Lessons from Chernobyl: monograph/ BS Priester and others; ed. B. S. Priester. Chernobyl: Institute of NPP Safety Problems, 2016. 355 c.
30. Poyarkov V. Basic knowledge about nuclear danger: lessons from Chernobyl and Fukushima. Date of publication: March 6, 2017. URL: <http://dazv.gov.ua/noviniqtaqmedia/periodichniqvidannyaq>
31. Twenty-five years of the Chernobyl disaster. National report of Ukraine. Kyiv: KIM, 2011. 356 p.
32. Assessment of the content of natural radionuclides in industrial residues of enterprises / Vol. O. Pavlenko, M. V. Aksyonov, N. D. Shabunina and others. Environment and health. 2015. No. 1. P. 21_24
33. ICRP Publication 103. Recommendation of the International Commission on Radiobiological Protection. (Recommendation of the International Commission on Radiobiological Protection) Ann. ICRP. 2007. Vol. 37 (2_4).
34. On human protection from the effects of ionizing radiation: Law of Ukraine dated January 14, 1998 No. 15/98BP. Date of update 09/29/2013. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/15/98%D0%B2%D1%80> (date of application:29.06.2018).
35. On the use of nuclear energy and radiation safety: Law of Ukraine dated February 8, 1995 No. 39/95 Date of update 18.12.2017. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/39/95%D0%B2%D1%80/page> (yes and application: 06/29/2018).
36. Working materials of the IAEA regional project RER/9/140 "Strengthening the protection of radiation workers and monitoring of occupational exposure".
37. Berkovskiy V., Ratia G., Bonchuk Y. Individual radiological monitoring after significant releases of radionuclides into the environment. Problems of radiation medicine and radiobiology. 2018. Issue 18. P. 37–48.
38. Prylypko V. Legislative documents, management decisions on the issues of safety of the population living near nuclear stations. (Legislative documents, administrative decisions on the issue of the safety of the resident population near nuclear power plants. Modern aspects of management) Modern aspects of management: scientific monograph. Part 2 / ed. by W. Gajda, P. Soroka, V. Zaplatynskiy. Kyiv<121.

39. Preparedness and response in the event of a nuclear or radiological emergency. IAEA safety standards. STI/PUB/1708. Vienna, 2016. 160 p.
40. Chernobyl Documents of the Operational Group of the Central Committee of the Communist Party of Ukraine (1986–1988) / edited by O. V. Bazhan, O. G. Bazhan, H. V. Boryak, S. I. Vlasenko. Kyiv: Institute of History of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine, Central State Archive of Public Associations of Ukraine, 2017. 830 p.
41. On the legal regime of the territory that has undergone radioactive contamination due to the Chernobyl disaster: Law of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0q12#Text>.
42. Thirty years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences: National report of Ukraine. Kyiv, 2016. 177 p.
43. Atlas. Ukraine. Radioactive pollution / developed by "Intellectual Systems GEO" LLC on the order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine. Kyiv, 2011. 52 p.
44. Thyroid doses in Ukraine due to I intake after the Chernobyl accident. Report I: revision of direct thyroid measurements (Doses for the thyroid gland in Ukraine due to reception I after the Chernobyl accident dent. Report I: review of direct thyroid measurement) / S. Masiuk, M. Chepurny, V. Buderatska et al. Radiat. Environ. Biophys. 2021. Vol. 60, no. 1. P. 1–22. doi: 10.1007/s00411q021q00896q9.
45. Naumenko A. S., Makarchuk O. V., Kostenko O. V. Radiological condition of agricultural lands of the Ukrainian Polissia. Agroecological journal. 2016. Vol. 1, No. 1. P. 107–111.
46. Khomenko I.M., Polishchuk S.V. Assessment of the influence of the consumption of locally produced food products on the formation of the dose of internal radiation in the remote period after the Chernobyl disaster. Environment and health. 2014. No. 2. P. 57–61.
47. Burlakov V. P. Sources of radioactivity [Text] / V. P. Burlakov, V. P. Kovalskyi, // Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference cadets and students " The science of civil defense as a way of formation of young scientists, May 10-11, 2019 - Cherkasy: CHIPB, 2019. - P. 13-14.

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

УДК 615.849 - 614.7:613

Григор'єва Л. І.,

завідувач кафедри екології, професор.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

Макарова О. В.,

старший викладач кафедри екології,

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РАДІОЄМНОСТІ ПРИ ЕКОЛОГІЧНОМУ НОРМУВАННІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Задача екологічного нормування антропогенного навантаження на природне середовище постала через необхідність наукового обґрунтування допустимих границь антропогенного впливу на природні комплекси, які мають гарантувати не лише благополуччя людини, але і надійність і сталість екосистем. При цьому відомо, що не всі об'єкти природних біогеоценозів можна нормувати за регламентами людини. А останнє необхідно, бо зміна якості природного середовища за рахунок збіднення видового складу, зниження стійкості і, навіть, часткова деградація екосистем також призводить до погіршення умов існування людини.

У статті представлено різні методологічні підходи до екологічного нормування та висвітлено думку авторів щодо застосування при цьому теорії радіоємності екосистеми. Зокрема, висвітлено підхід використання факторів радіоємності екосистеми як індикатора зміни стану екосистеми та унормування величини зміни факторів радіоємності при екологічному нормуванні антропогенного навантаження.

Метою статті є дослідження можливих механізмів екологічного нормування антропогенного навантаження на довкілля. Матеріалами виступали дослідження науковців у сфері екологічного нормування антропогенного навантаження. Використано результати радіоекологічних досліджень, проведених в басейні р.Південний Буг.

Показано, що при розрахунку обсягів надходження ^{137}Cs у річку та при проведенні оцінки радіаційної ситуації потрібно враховувати неоднакові показники радіоємності на різних її ділянках. Підтверджено, що через поняття радіоємності екосистеми можна обґрунтувати екологічне нормування скидів радіонуклідів у водойму, а визначаючи фактор радіоємності будь-якої екосистеми – забезпечити екологічний підхід до нормування антропогенного навантаження на природне середовище.

Ключові слова: екологічне нормування, радіоємність, біота

Вступ. Сьогодні нормування забруднюючих речовин в природних біогеоценозах базується на санітарно-гігієнічних принципах і нормах, тобто на пріоритетності захисту, поперед усього, людини. Із цих принципів виходять гігієністи при встановленні гранично-допустимих концентрацій (ГДК) різних речовин в атмосферному повітрі, у воді, у продуктах харчування. Принцип орієнтації на забезпечення безпеки людей відображує антропоцентризм поглядів на антропогенний вплив на природне середовище і, в більшості випадків, є виправданим. Однак залишається питання, чи завжди, і в якому ступені нормативи, які встановлені для людини, забезпечують захист інших об'єктів живої природи?

Сьогодні доведено, що не завжди нормативи, які встановлені для людини, забезпечують захист інших об'єктів живої природи. Так, для радіонуклідного навантаження на екосистему значення ГДК радіонуклідів у повітрі і у воді захищають не лише людину, але і інші види живих організмів. Тобто у цьому випадку санітарно-гігієнічне нормування задовольняє екологічний принцип нормування радіаційного навантаження на екосистему. Однак, інша ситуація виникає, наприклад:

- при забрудненні атмосфери сірчаним газом: як відомо, при тривалому впливі цього забруднювача в концентраціях, які не перевищують санітарно-гігієнічні нормативи, відбувається ураження хвойних лісів [4],
- лишайники гинуть в місцевій атмосфері, яка за гігієнічними нормативами вважається допустимою для людини,
- при деяких забрудненнях ґрунту нафтою або важкими металами можуть сильно постраждати ґрунтові мікро- і мезофауни (буде підірвана продуктивність таких ґрунтів), в той час як сільськогосподарська продукція з цих ділянок може відповідати санітарним нормам для продуктів харчування [7].

Таким чином, не всі об'єкти природних біогеоценозів можна нормувати за регламентами людини. Тому важливим є дослідження можливих механізмів екологічного нормування антропогенного навантаження на довкілля.

Матеріали і методи.

Матеріалами виступали дослідження науковців у сфері екологічного нормування антропогенного навантаження.

Використано результати радіоекологічних досліджень, проведених в басейні р.Південний Буг. При цьому визначення активності ^{137}Cs в об'єктах водного середовища проведено гамма-спектрометричним методом за допомогою гамма-спектрометра з напівпровідниковим детектором ДГДК-175.

Результати дослідження.

За багатьма результатами різноманітних досліджень сьогодні встановлено, що значення ГДК радіонуклідів у повітрі і в воді захищають не тільки людину, але і інші види живих організмів [6]. Однак, інша ситуація виникає, наприклад, при забрудненні атмосфери сірчаним газом: при тривалому впливі цього забруднювача в концентраціях, які не перевищують санітарно-гігієнічні нормативи, відбувається ураження хвойних лісів. Лишайники гинуть в місцевій атмосфері, яка за гігієнічними нормативами вважається допустимою для людини. При деяких забрудненнях ґрунту нафтою або важкими металами можуть сильно постраждати ґрунтові мікро- і мезофауни (тобто буде підірвана продуктивність таких ґрунтів), в той час як сільськогосподарська продукція з цих ділянок може відповідати санітарним нормам для продуктів харчування [6]. Таким чином, не всі об'єкти природних біогеоценозів можна нормувати за регламентами людини.

При такому підході принципово новим є *об'єкт нормування*. Гігієнічні нормативи ГДВ та ГДК шкідливих речовин у повітрі, у воді, у продуктах харчування передбачають такі рівні впливу, які не можуть викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я людини, що виникають в процесі роботи або у віддалених термінах життя теперішнього і наступного поколінь. Екологічна регламентація антропогенних впливів передбачає інші принципи: основним об'єктом нормування виступають природні системи надорганізм-меного рівня (популяції, сукупності, співтовариства, біоценози ін.) [6].

Екологічне нормування означає обмеження загального навантаження, що інтегрує всю різноманітність природних і антропогенних факторів, на елементарну екологічну одиницю (біогеоценоз, екосистему), до рівнів, за яких не порушуються її стан і надійність. Відомо, що головними показниками стану екосистеми є: різноманітність видів, сума біомаси видів, чисельність видів екосистеми та швидкість її збільшення [5], тому задача екологічної регламентації зводиться до забезпечення підтримання усіх цих показників.

Сьогодні відомі деякі методологічні підходи до екологічного нормування. Це, по-перше, підхід через екологічне нормування видів-індикаторів – видів, оцінка стану популяцій яких може в достатньому ступені відображувати стан екосистеми [6,7]. Пропонується виділяти в структурі природних біогеоценозів малочислені популяції видів – домінантів, які визначають продуктивність біоценозу і його своєрідність, та числені види – сателіти, які забезпечують необхідний рівень біохімічних циклів, що є характерними для даного ценозу. При такому відборі видів-індикаторів враховується, по-перше масовість видів, які добре представлені як в біогеоценозі, що підлягає нормуванню, так і на спільних територіях; по-друге, відібрані види повинні бути видами – едіфікаторами, які представляють основу біоценозу і відіграють головну роль у створенні біоценотичного середовища [6]. При цьому потрібно мати набір даних, які характеризують екологію виду, в тому числі умови мешкання виду-індикатору, які враховують загальну його розповсюдженість, перебування в оптимумі або на периферії виду; дані про фонову динаміку чисельності виду в аналогічних умовах, що виключають антропогенний вплив; дані про мінливість основних популяційних параметрів виду, в тому числі генетично обумовленої мінливості. Це, зрозуміло, є важкою і трудомісткою задачею, бо при популяційних оцінках важко детально проаналізувати стан популяцій навіть обмеженої кількості видів [6]. Тому проблема вибору і обґрунтування тієї мінімальної кількості видів-індикаторів, оцінка стану популяцій якого може в достатньому ступені відображати стан біогеоценозу, потребує серйозної наукової проробки.

Крім того, розробка екологічних нормативів за цим підходом, як вказано в [6], можлива лише на основі кількісної оцінки обмеженої кількості параметрів, які характеризують стан об'єкта, що регламентується. Це потребує необхідності істотної формалізації і спрощення реальних процесів функціонування природних популяцій і їх взаємовідношення з оточуючими компонентами біогеоценозу, що, в свою чергу, може відобразитися на результатах.

Другим та більш доступним в реалізації підходом до екологічного нормування антропогенного навантаження є метод, запропонований в [3], за яким в якості показника стану і реакції екосистеми пропонується використовувати зміну параметрів її радіємності. Радіємність екосистеми – це гранична кількість радіонуклідів, яка може бути депонована біотою екосистеми без шкоди для себе. Через поняття фактору радіємності визначається частка радіонуклідів, яка акумулюється в різних компонентах екосистеми (для водної екосистеми – це у воді, в біоті та в донних відкладеннях) [5].

На користь застосування цього підходу в екологічному нормуванні антропогенного навантаження на навколишнє середовище виступають наступні фактори:

1) істотний вплив на екосистему супроводжується зворотними або незворотними змінами факторів радіємності біотичних і абіотичних (вода) компонентів екосистеми, а характер цих змін залежить від величини і тривалості цього стресового фактору або впливу. Так, наприклад, є докази, що дія шкідливого фактору у вигляді

гама-опромінення (фізичний вплив) і важких металів (солі важкого металу Cd – хімічний вплив) на рослинну екосистему, як при синергічній їх дії, так і окремо (на прикладі екосистеми водної культури рослин кукурудзи) відображується на величині чинника радіоємності кореневої системи рослин [].

2) способи реєстрації мінімально-детектованої активності радіонуклідів дають можливість реєструвати активності на рівні 1 Бк (розпад 1 атомного ядра), а для хімічних агентів мінімально-детектована активність складає більш високі величини,

3) простоту і легкість розрахунку факторів радіоємності екосистеми.

Через це фактори радіоємності пропонується використовувати як показники стану і благополуччя екосистеми при різних хімічних, фізичних і біологічних на неї впливах.

Розглянемо можливість використання фактору радіоємності водної екосистеми у системі екологічного нормування. Показано, що істотним є той рівень впливу, який суттєво зменшує чинник радіоємності біоти і підвищує фактор радіоємності води []. Тобто оптимальним способом еколого-етичного ставлення до водних екосистем є стратегія, яка спрямована на збереження та (або) підвищення чинників радіоємності її біотичної складової, бо радіоємність будь-якого водоймища при скиданні в нього радіонуклідів не вичерпується доти, доки функціонує біота водоймища, відтворюється його біомаса і зберігається здатність до кондиціонування середовища. Іншими словами, благополуччя і життєздатність екосистеми, з одного боку, свідчать про її високу радіоємність і, навпаки, висока радіоємність і стабільні високі значення факторів радіоємності видів біоти екосистеми свідчать про благополуччя і надійність екосистеми. В кількісному вираженні пропонується встановлювати такі екологічні нормативи, які забезпечують не більше 20% зниження фактору радіоємності біоти.

Для екосистеми річки Південний Буг характерними сьогодні є різноманітні шляхи надходження до неї штучних радіонуклідів, у тому числі ^{137}Cs (змивання з забруднених аварійно-чорнобильським викидом територій України, виніс із продуктивними водами з ставка-охолоджувача Південноукраїнської (ПУ) АЕС ін.) [1]. А через різницю гідрологічних, хімічних умов водного середовища річки, актуальними є дослідження сорбційних властивостей біоти річки Південний Буг на різних її ділянках.

Проведені дослідження вмісту ^{137}Cs в біоті та в донних відкладеннях на різних ділянках Південного Бугу на території Миколаївської області [1], а у пробах риб, які найбільш розповсюджені в харчовому раціоні місцевого населення: плотва, лящ, судак (окремо в м'якоті та в нутрошах), з двох ділянок річкової системи: поблизу с. Матвієвка (р. Південний Буг) та біля с. Лимани (Бузький лиман) [2]. Визначено, що існує різниця в розмірах накопичення ^{137}Cs водоростями на різних ділянках річки від м.Первомайська ($850 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$) до м.Миколаєва ($1200 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$) (табл. 1).

Депонування ^{137}Cs донними відкладеннями також характеризувалося різними коефіцієнтами накопичення (КН): від 1000 (в районі м. Первомайська) до $1875 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$ (у м. Миколаєва). Верхів'я річки (від с. Мігії до м.

Південно-українська) відзначається пороговістю, що сприяє осадженню радіоцезію на дні, хоча за хімічними показниками (рН 4,5-5,0) водне середовище має властивість до десорбції радіоцезію з водних компонентів. На ділянці від м. Південноукраїнська до с. Бузьке з більш повільною течією річки і де, завдяки виносу "продувних" вод з ставка-охолоджувача АЕС, вода характеризувалася більш високими показниками загальної мінералізації (до 1000 мг/л) при рН 5,8-6,0, відмічені найвищі КН ^{137}Cs водоростями та донними відкладеннями. Особливістю пониззя річки (від с. Ковалівка до м. Миколаєва) є наявність постійної річкової течії тільки під час паводку, а також проникнення у річку під впливом вітрових нагонів лиманних вод, що призводить до підвищення мінералізації води (близько 700-800 мг/л) і через що дно річки вкрито лиманними відкладами, а рН середовища дорівнює 6,5-7,0. Тобто, через перемішування річкових та лиманних вод в нижній течії річки та високі показники солей у Ташлицькому водоймищі, поряд з повільною течією, на цій ділянці річки складаються сприятливі умови до виникнення осадкових форм радіоцезію та концентруванню його в донних відкладеннях.

Таблиця 1. – Середні значення коефіцієнтів накопичення (КН) ^{137}Cs водоростями і донними відкладеннями на різних ділянках р. Південний Буг
Бк/кг/Бк/л

Місце спостережень	КН _{дон.}	КН _{водор.}
поблизу м. Первомайська	1000±200	850±150
поблизу м. Миколаєва	1875±230	1200±170

Показовими є КН ^{137}Cs рибними організмами у пониззі річки: для плотви, яка надає перевагу поверхневому середовищу, КН у м'якоті склав 37, в нутрошах – $101 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$; для ляща, що мешкає в придонному середовищі, КН мали значення 16 та $113 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$ у м'якоті та в нутрошах відповідно; для судака КН у м'якоті склав 136, а в нутрошах – $58 \text{ Бк} / \text{кг} / \text{Бк} / \text{л}$, які демонструють різницю в розмірах накопичення ^{137}Cs рибними організмами не тільки в залежності від способу життя риби (мирний, хижацький), а також від середовища її мешкання у водній системі, розміру накопичення ^{137}Cs водоростями, що, в свою чергу, характеризується різними значеннями для окремих ділянок Південного Бугу.

Розраховані величини факторів радіоємності водоймищ у руслі Південного Бугу (табл. 2), можуть бути індикатором радіаційного стану цих водних об'єктів (табл. 2).

Таблиця 2. – Фактор радіоємності по ^{137}Cs водної екосистеми р. Південний Буг

Місце спостережень	$F_{\text{біот}}$	$F_{\text{дон}}$
поблизу м. Первомайська	0,89	0,73
поблизу м. Миколаєва	0,94	0,81

Примітка: $F_{\text{біот}}$ – фактор радіоємності за біотичною складовою, $F_{\text{дон}}$ – фактор радіоємності за донними відкладеннями

Попередня оцінка факторів радіоємності вказала, що через різні КН ^{137}Cs водною рослинністю існує різниця в їх значеннях в залежності від ділянки річки: в районі м.Первомайська – 0,89, в районі м.Миколаєва – 0,94. Ще більшою є різниця чинників радіоємності екосистеми, розрахованих без врахування біотичної складової, тобто для зимового періоду часу: 0,73 в районі м.Первомайська та 0,81 - в районі м.Миколаєва. Ця різниця легко пояснюється як зміною соляного режиму річки, так і зменшенням в зимовий період кількості біомаси, що, як визначено, є основним регулятором екологічного стану водної екосистеми.

Однак для екосистеми Південного Бугу важливою складовою біотичної компоненти, яка теоретично може впливати на величини чинника її радіоємності є рибні організми. Результати оцінки КН ^{137}Cs рибними організмами в пониззі річки вказали, що для плотви, яка надає перевагу поверхневому середовищу, КН у м'якоті склав 37, в нутрощах – $101 \frac{\text{Бк/кг}}{\text{Бк/л}}$; для ляща, що мешкає в придонному середовищі, КН мали значення 16 та $113 \frac{\text{Бк/кг}}{\text{Бк/л}}$ у м'якоті та в нутрощах відповідно; для судака КН у м'якоті склав 136, а в нутрощах – $58 \frac{\text{Бк/кг}}{\text{Бк/л}}$. Ці величини свідчать про різницю в розмірах накопичення ^{137}Cs рибними організмами не тільки в залежності від способу життя риби (мирний, хижацький), а також від середовища її мешкання у водній системі, розміру накопичення ^{137}Cs водоростями т. ін.

При врахуванні цих даних в оцінці радіоємності екосистеми Південного Бугу маємо попередню оцінку величини фактора радіоємності біотичної складової пониззя річки біля 0,96. Для оцінки впливу на величину чинника радіоємності біотичної складової верхів'я річки потрібно продовжити радіоекологічні дослідження рибних організмів, які мешкають в цій акваторії річки.

Висновки.

1) Радіоємність ^{137}Cs у водоймах на різних ділянках р.Південний Буг неоднакова, що потрібно враховувати при розрахунку обсягів надходження ^{137}Cs у річку.

2) При розрахунку обсягів надходження ^{137}Cs у річку та при проведенні оцінки радіаційної ситуації потрібно враховувати неоднакові показники радіоємності на різних її ділянках. Враховуючи функції біоти екосистеми прісноводного водоймища та високі коефіцієнти накопичення нею ^{137}Cs можна стверджувати, що наявність нормально функціонуючої мікрофлори, а також багатоклітинних рослин і тварин є необхідними умовами стабільного функціонування водоймищ як поглиначів радіонуклідів, що потрапляють до них, і може служити показником регулювання скидів радіоактивних речовин у прісноводне середовище.

3) Оцінку фактора радіоємності біотичної складової прісноводного водоймища бажано проводити не лише за водною рослинністю, а і за рибними організмами; при цьому враховувати тільки ту рибу “місцевих” видів, ареал життя якої не потребує міграційних виходів за межі обстеженої водойми.

Література:

1. Безель, В., Кряжимський, В., Семериков, Л. (2002) Екологічне нормування та його роль в оптимізації довкілля. Екологическое нормирование и его роль в оптимизация среды. Экол. основы оптмиз. урбавизир. и рекреации среды. Тольятти, 2002. 186-190.
2. Гелашвили, Д. (2005) Экотоксикологические критерии экологического нормирования. Теоретические проблемы экологии и эволюции. Тольятти, 2005. 58-66.
3. Григор'єва, Л., Томілін, Ю. Екологічна токсикологія та екотоксикологічний контроль : навчальний посібник. Миколаїв, 2015. 240 с.
4. Копиця, Є. (2015) Нормування як засіб правового регулювання у сфері охорони атмосферного повітря. Екологічне та земельне право. 2015. 189-194.
5. Кутлахмедов, Ю., Корогодін, В., Кольтовер, В. (2003) Основи радіоекології: навчальний посібник. 2003. 319.
6. Кутлахмедов, Ю., Полікарпов, Г., Кутлахмедова-Вишнякова, В.. Оценка параметров радиоемкости как показателей устойчивости и надежности экосистем. 2004. 98-107.
7. Чопко, Х. Окремі правові аспекти екологічного нормування в Україні та шляхи його вдосконалення. Право і суспільство. №6. 2019. 184-189.

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

УДК 628.386

Случак О. І.,

Старший науковий співробітник

Науково-дослідна частина

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

E-mail: slu40k@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0001-5051-0648>**Случак О. І.,**

Аспірантка, кафедра екології

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

E-mail: ill69mill@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0002-4065-7707>

СИСТЕМА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВОДОЙМ, ЗАБРУДНЕНИХ ВНАСЛІДОК ПІДРИВУ КАХОВСЬКОЇ ДАМБИ НА ПРИКЛАДІ БУЗЬКОГО ЛИМАНУ

В статті розглянуто стан Бuzького лиману після підриву дамби Каховської ГЕС. Визначено, що протягом останніх місяців екологічний ризик від забруднення біогенними речовинами знаходиться на рівні 0,52-0,91 та може бути класифікований як небезпечний та дуже небезпечний. Проаналізовано динаміку зниження екологічного ризику та розроблено прогноз, який дозволив визначити приблизний термін зниження ризику до прийняттого рівня це від 20 до 74 місяців за показниками БСК-5 та від 16 до 54 місяців за показниками ХСК. Створено методологію та розраховано потенційні можливості Бuzького та Дніпро-Бuzького лиману з асиміляції викинутих 1600 тис тонн забруднюючих речовин, що при найкращих умовах становить близько 13 місяців вегетаційного періоду (разом з біологічною зимою 17 місяців), що цілому відповідає розрахункам по ризику. В той же час не варто забувати про збереження регулярних забруднюючих факторів, що не тільки не зникли, а і місцями підвищили свій шкідливий вплив, тому цей термін може бути значно більшим. Визначено типологію та біопродуктивність фітопланктону та запропоновано використовувати світлові колодязі для підвищення зони його життєдіяльності. Запропонована конструкція світлового колодязя теоретично дозволить підвищити можливість екосистеми до самоочищення на 30-50%. Також оцінено можливості аерації для забезпечення бактеріальної переробки органіки. Аератор має значно вищий потенціал з локалізації та очищення забруднень та може підвищити швидкість самоочищення локальної екосистеми в 1,5-3 рази залежно від розміру бульбашок. Ступінь використання кисню при аерації залежить від розміру бульбашок та становить від 6-7% при розмірі бульбашок 5-6 мм, 8-12 при розмірі 2-2,5 мм та до 15% при розмірі 200-500 мкм в дифузорах. Комбінування підходів з освітленням та аерацією не тільки може сильно підвищити темп рекультивації забруднених водойм, а і може мати художню та культурну цінність як підводний арт-об'єкт. Як результат, отримано базові показники, на які можна спиратись при розробці стратегії активного втручання людини для пришвидшення відновлення постраждалих від російської агресії водойм пониззя Дніпра.

Ключові слова: екологічний ризик, біоекстракція, фітопланктон, аерація, світловий колодязь, наслідки екоциду.

Вступ. Забезпеченість прісною водою українців є дещо нижчою за світовий стандарт (1045 м³ на людину за індикатором водного стресу Фалькенмарк [1] означає близькість до дефіциту води при нормі від 1700 м³). При цьому у південному регіоні України, навіть до терористичного акту, здійсненого російськими окупантами на каховській ГЕС, проблема деградації водних екосистем підсилювалась факторами зарегулювання басейнового стоку в умовах стійкого зменшення показників водності, збіднінням видового різноманіття гідробіонтів, змінами клімату та необ'єктивністю існуючої системи нормування антропогенного навантаження, яка регламентує якість ресурсу з точки зору споживання людиною, а не критерії забезпечення екологічної безпеки для природного комплексу цілому.

В результаті навмисного підриву російськими окупантами дамби Каховської ГЕС 6 червня 2023 року відбулось скидання понад 14,7 км³ води [2] та було затоплено і частково зруйновано 63447 га лісів та 587691 м² ґрунтів [3]. При цьому маса забруднюючих речовин, що потрапила до водних об'єктів нижньої течії Дніпра та північної акваторії Чорного моря досягає близько 1600000 тонн.

Біоремедіація є найбільш продуктивним методом, що за рахунок біоекстракції органічних речовин дозволить пришвидшити процеси очищення води та запобігти масовій загибелі гідробіонтів. В ході даного дослідження буде визначено рівень екологічних ризиків, спричинених органічним забрудненням та спрогнозовано потенційні можливості рекультиваційних заходів з застосуванням фітопланктону та аерації.

Постановка проблеми.

В світовій практиці оцінка проблематики потреб в водних ресурсах тісно пов'язана з кліматичною політикою та моделлю WEF (water-energy-food) [4]. Проблема рукотворних техногенних катастроф має низьке охоплення, адже такі злочинні дії є досить рідкісними в світовій практиці. В той же час, аналогічні випадки, викликані землетрусами, або конструктивними недоліками гідротехнічних споруд дають досить широкую статистику для прогнозування наслідків підриву Каховської ГЕС.

Прогнозування ускладнюється унікальністю лиманних екосистем Півдня України, що знижує прогнозованість наслідків різкого підвищення прісності води для пристосованих до солонкуватої води Дніпро-Бузького лиману гідро біонтів.

Втручання людини в подібних випадках могло б значно прискорити оновлення природних екосистем та зберегти рівновагу, порушену влаштованим росіянами екоцидом.

Проте, в світовій практиці не зафіксовано інших заходів з очищення річок, окрім фізичного та хімічного видалення забрудників, як то збір сміття та уловлювання нафтових плям. Такі заходи в нижній акваторії Дніпра є сильно ускладненими через бойові дії, замінованість та винесення забрудників до Чорного Моря течією.

Відповідно, розроблюваний комплекс заходів матиме перспективи тільки після завершення війни, а також як елемент локальних дій в точках господарського та питного водозаборів.

Мета та методи дослідження.

Метою дослідження є розробка комплексу заходів з рекультивації водних об'єктів, забруднених внаслідок підриву Каховської ГЕС..

Об'єкт дослідження: БСК та ХСК як індикатори органічного забруднення вод.

Предмет дослідження: перспективи біоекстракції та аерації як заходів для очищення вод річкових екосистем в точках водозабору та скиду зворотніх вод.

Основні завдання дослідження:

1. Оцінити екологічні ризики від органічного забруднення вод в нижній течії Дніпра (зокрема Бузького лиману) за показниками ХСК та БСК;
2. Змодельовати можливості самоочищення Бузького лиману через біоекстракцію фітопланктоном;
3. Розробити систему пристроїв та заходів для відновлення сталого стану водної екосистеми Бузького лиману;
4. Спрогнозувати перспективи застосування розробленої системи як частину портової та водогосподарської інфраструктури. .

В основі дослідження є припущення, що заходи з аерації в комплексі з освітленням товщі води для забезпечення просторового розподілу фітопланктону дозволять пришвидшити самовідновлення водних екосистем після каховського екоциду. Для цього використано статистику вимірювань до екоциду, результати безпосередніх замірів ХСК та БСК біля одного з питних водозаборів Бузького лиману та розроблену авторами спрощену модель .

Результати дослідження.

Першим кроком в даному дослідженні є визначення екологічних ризиків, викликаних потраплянням 1 млн 600 тис тонн органіки до водної екосистеми.

Враховуючи те, що об'єм вод Дніпро-Бузького лиману становить біля 3 км³, це концентрація забрудників, в основному органічного походження біля 530мг/дм³, що перевищує норму (50 мг) в понад 10 раз.

В розрахунку застосовувалась методика [5], де всі показники ризику, крім тих, для вихідних значень яких ГДК є мінімальним значенням (розчинений кисень та рН), розраховувались за формулою 1.

$$R_{nc} = 1 - \exp (\ln (0,84) / MPC \times C_s \times C_r) , \quad (1)$$

де R_{nc} – ймовірність розвитку токсичних ефектів, **потенційний ризик**;

C_s – концентрація речовини у питній воді, мг/дм³;

MPC – гранично допустима концентрація, мг/дм³;

C_r – коефіцієнт запасу (для всіх 10, для свинцю – 3, для канцерогенів - 100).

Межі потенційного ризику визначаються так:

- 0–0,020 – прийнятний;
- 0,021–0,160 – задовільний;
- 0,161–0,500 – незадовільний;
- 0,501–0,840 – небезпечний;
- 0,841–1 – надзвичайно небезпечний.

При підстановці цих даних, отримуємо рівень екологічного ризику 1 – надзвичайно небезпечний.

Реальні показники було визначено, спираючись на дані вимірювань по ХСК та БСК на одному з питних водозаборів.

Таблиця 1. – Значення екологічного ризику за БСК-5 та ХСК

Місяць	БСК-5 min	БСК-5 max	ХСК min	ХСК max	Екол ризик за БСК min	Екол ризик за БСК max	Екол ризик за ХСК min	Екол ризик за ХСК max
Червень 2023	2,97	3,66	24,7	44,12	0,822023	0,880819	0,57739	0,785296
Липень 2023	2,56	4,8	24,1	51,02	0,774134	0,938558	0,568455	0,83121
Серпень 2023	3,3	4,26	25,2	50,2	0,853083	0,915906	0,584695	0,826314
Вересень 2023	3,3	4,5	22	56,3	0,853083	0,926854	0,535668	0,859594
Жовтень 2023	2,6	3,6	24,7	53,6	0,779325	0,87659	0,57739	0,845733
Листопад 2023	2,07	3,48	21,2	48,27	0,69972	0,867676	0,522532	0,814223
Грудень 2023	1,77	3,4	21,2	35,29	0,642523	0,861378	0,522532	0,707879
Січень 2024	2,1	4,05	22,2	49,06	0,70491	0,90499	0,538895	0,819271
Березень 2024	1,41	3,4	22,2	35,57	0,559331	0,861378	0,538895	0,710717

Аналізуючи графіки (Рис 1) ми можемо визначити, що всі показники крім останнього мають тенденцію до поступового зниження.

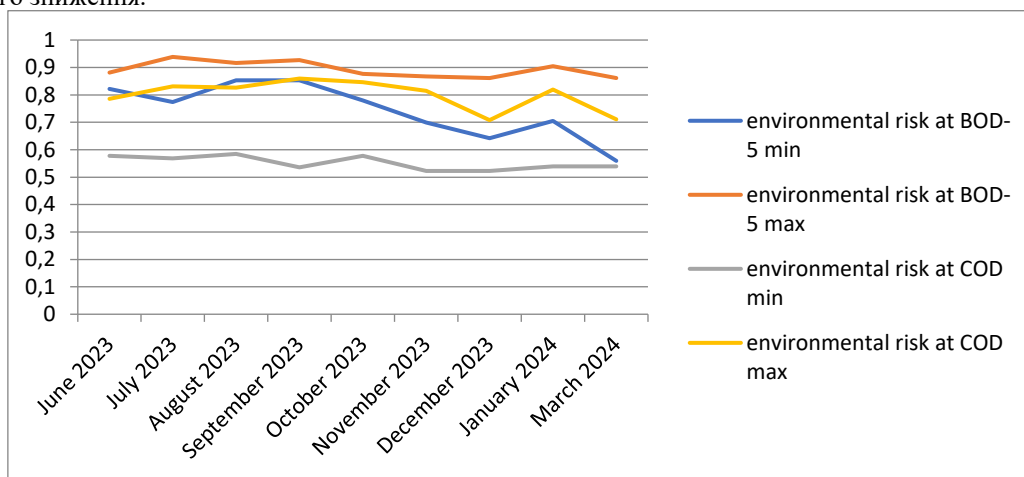


Рис 1. Динаміка ризиків від органічного забруднення водойм в перші місяці екоциду
Для прогнозування було здійснено їх аналіз в програмному пакеті Curve Expert.

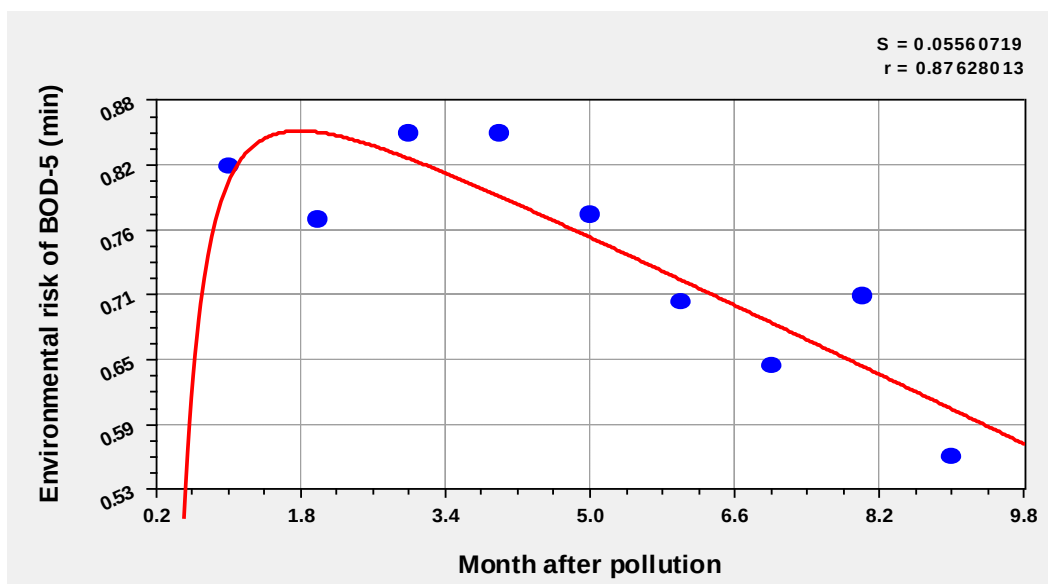


Рис 2. Зміна ризику за БСК-5 мінімальним

Як результат отримуємо дещо змінену квадратичну функцію, що носить назву теплоємної моделі (Heat Capacity Model) (1).

$$ER_{BCO-5(\min)} = 0.96 - 0.04T - \frac{0.113}{T^2}, \quad (1)$$

Де T – період в місяцях, $ER_{BCO-5(\min)}$ – екологічний ризик за мінімальним показником БСК-5.

Інструмент прогнозування даного програмного пакету дозволив визначити період (Рис 3) за який ризик досягне верхньої планки задовільного діапазону значень. Цей термін становить 20,2 місяці за умови, що динаміка зниження не зміниться.

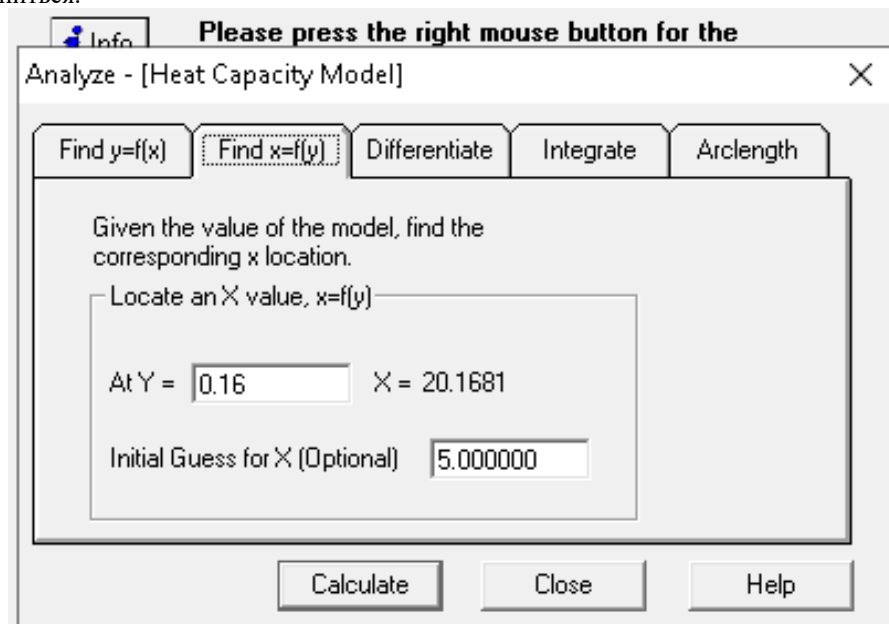


Рис 3. Прогнозний період досягнення задовільного рівня ризику

Аналогічний розрахунок за БСК-5 максимальним (Рис 4) дає функцію того ж типу (2).

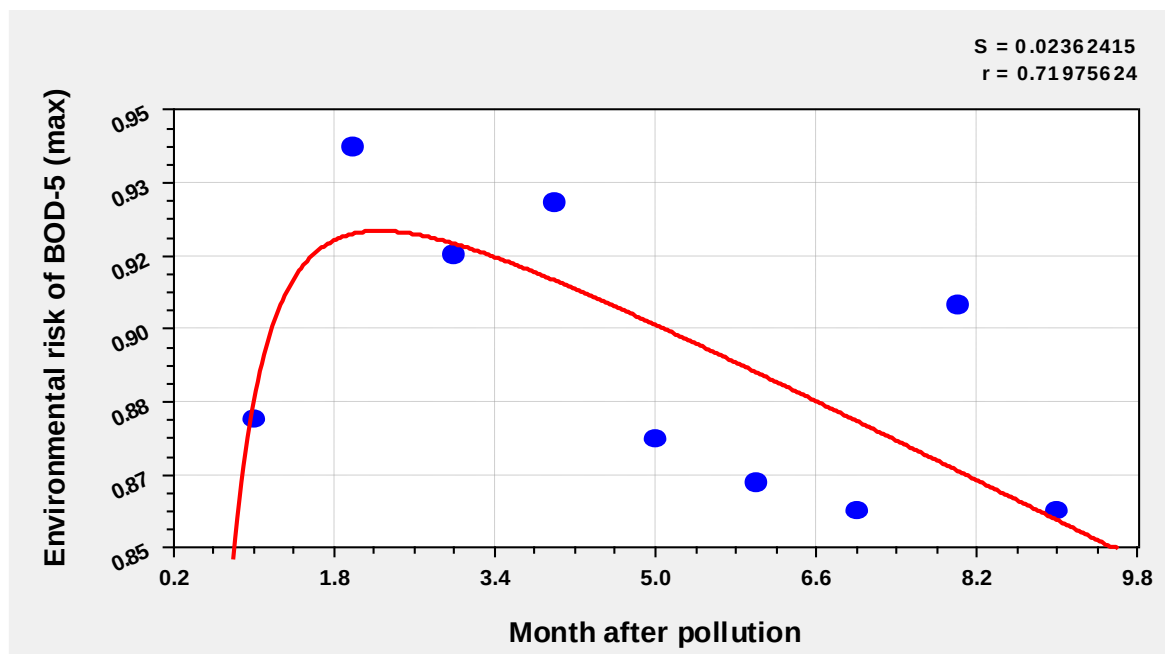


Рис 4. Зміна ризику за БСК-5 максимальним

$$ER_{BCO-5(\max)} = 0.96 - 0.012T - \frac{0.06}{T^2}, \quad (2)$$

Проте прогноз цього разу є менш втішним та становить 74 місяці (Рис 5).

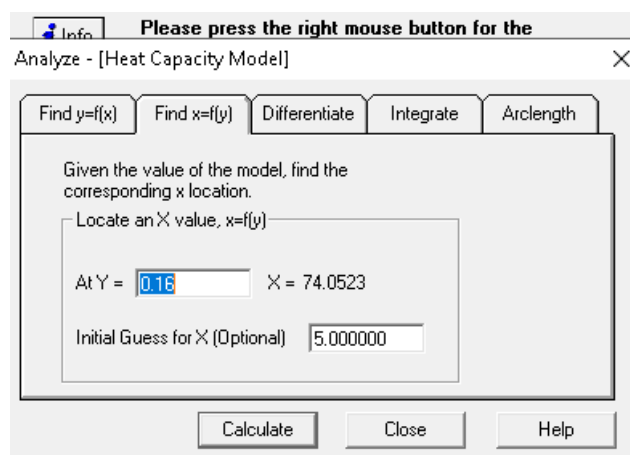


Рис 5. Прогноз оптимізації ризику

В випадку з ХСК, ми маємо квадратичну (3) функцію (Рис 6), що дає куди більш повільне зниження в 54 місяці (Рис 7).

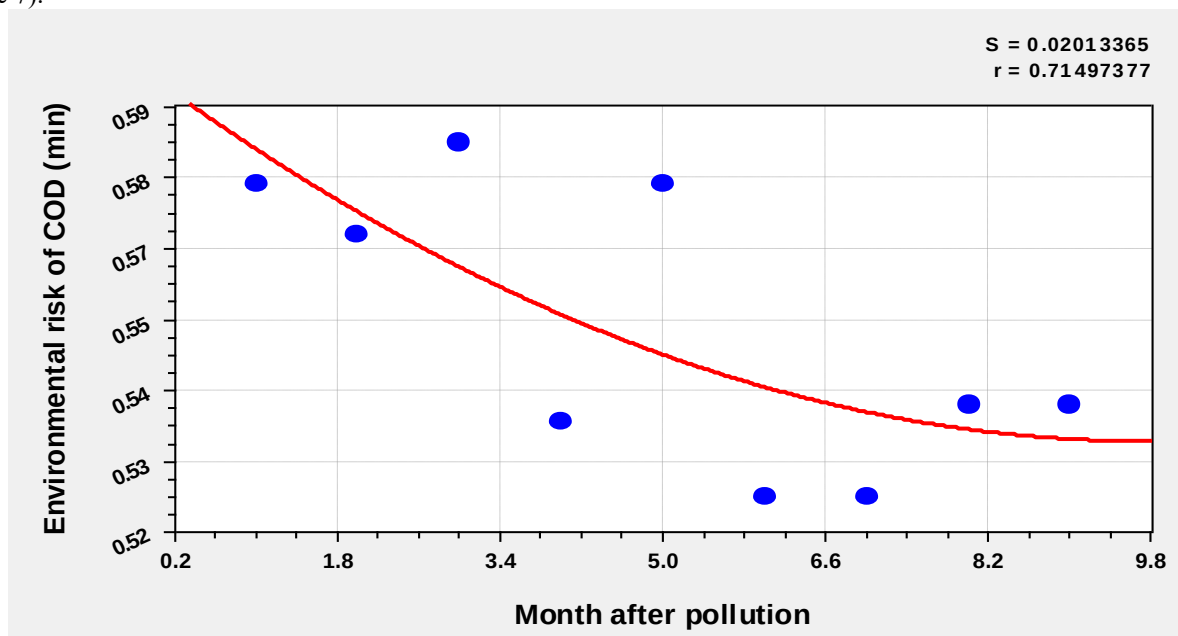


Рис 6. Зміна ризику за мінімальними значеннями ХСК

$$ER_{CCO(\min)} = 0.596 - 0.013T + 0.0007T^2. (3)$$

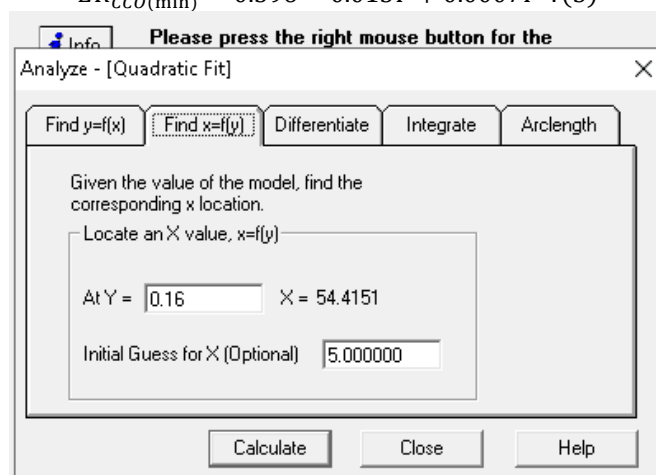


Рис 7. Прогнозне значення періоду оптимізації ризику

Аналіз таких значень для ХСК (Рис 8) також дає квадратичну функцію (4).

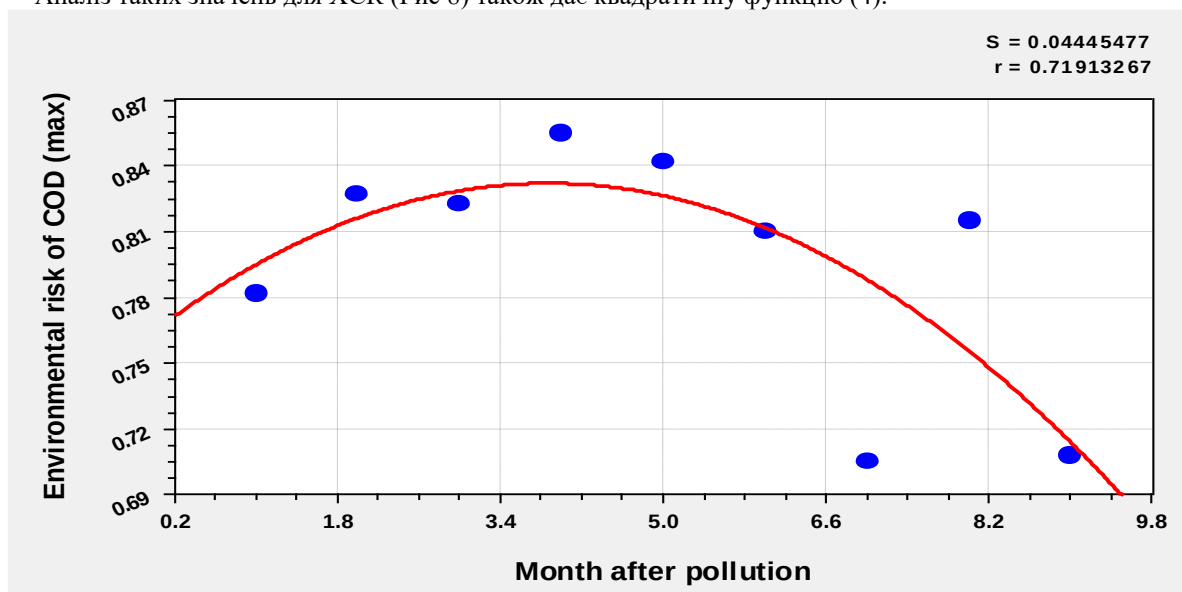


Рис 8. Екологічний ризик за максимальними значеннями ХСК

Цього разу падіння ризику настільки стрімке, що задовільний рівень може бути досягнуто за 16 місяців (Рис 9).

$$ER_{CCO(\min)} = 0.768 + 0.035T - 0.0045T^2. (4)$$

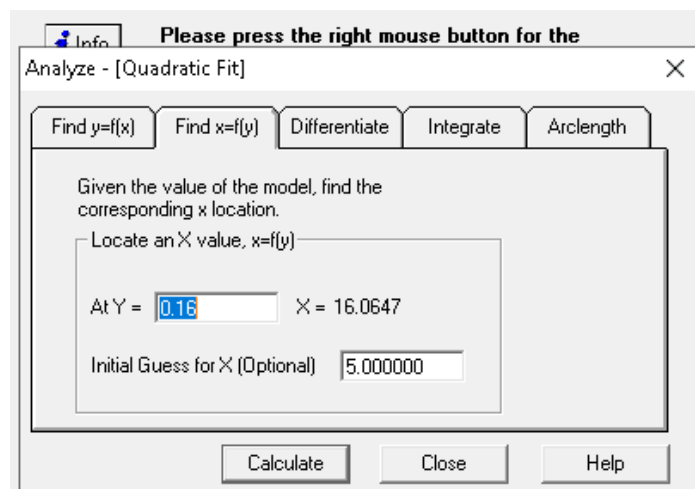


Рис 9. Прогнозне значення періоду оптимізації ризику

Відповідно, аналіз екологічного ризику та його динаміки в перші місяці після підриву дамби Каховської ГЕС демонструє, що в умовах Бузького лиману наразі присутній надзвичайно високий та високий рівень ризику через органічне забруднення. Період його переходу до задовільного рівня при існуючій динаміці прогнозується від 20 до 74 місяців за показниками БСК-5 та від 16 до 54 місяців за показниками ХСК.

Для аналізу можливостей з прискорення процесів самоочищення варто почати з аналізу потенційних можливостей фітопланктону до виносу органічних речовин.

Такий розрахунок можливо провести згідно із закономірністю Редфілда. Це ключовий показник для NCP-стехіометрії. Значення 106(C):16(N):1(P) вважається оптимальним.

На запит компанії "Спіруліна ЛТД" були надані дані про використання добрив на одиницю маси при вирощуванні спіруліни в резервуарах – 200 мг/г сухої речовини азоту. Таким чином, розрахунки відповідно до закономірності Редфілда вказують, що споживання фосфору буде 12,5 мг/г сухої речовини, а поглинання вуглецю складе 1325 мг/г сухої речовини.

Відсоткове співвідношення фітопланктону в біомасі Бузького лиману (Рис 10) по обрахунку їх основних відділів – Cyanophyta (ціанобактерії) 14%; Bacillariophyta (діатомові водорості) 43%; Chlorophyta (зелені

водорості) 16%; Euglenophyta (євгленоїди) 7%; Dinophyta (динофлагеляти) 17%[6]; Cryptophyta (криптофіти), Chrysophyta (хризоліти, золоті водорості) та ін сумарно 3%.

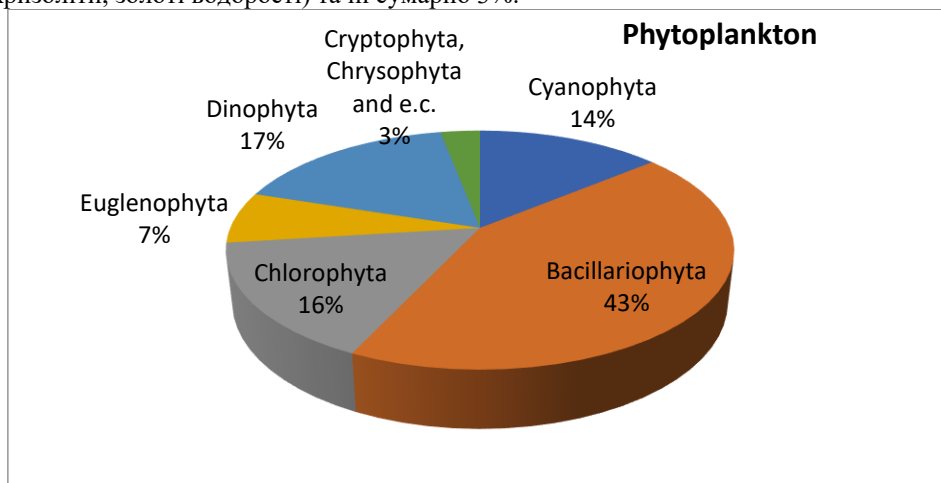


Рис 10. Співвідношення фітопланктону в біомасі Бузького лиману

Визначаємо, що в умовно ідеальному середовищі біореакторах [7] на літр середовища отримано продуктивність найпоширеніших груп Chlorophyta в 0,525 г/добу, або 0,021875 г/год. Для Cyanophyta такий приріст становив близько 0,49 г/добу, або 0,02042г/год. Euglenophyta дала приріст 0,81 г/добу при подвоєному освітленні.

За розробленою раніше енергетичною моделлю [8] 1 г органічної речовини фітопланктону є рівним 21,35527 кДж енергії або 1,5 г кисню, що дає біомасу 5776,40389 г/м² за вегетаційний період в 8 місяців.

Відповідно, при площі Бузького лиману в 162 км², ми маємо загальну біопродуктивність фітопланктону 935776800000 г або 935776,8 тонн біомаси, здатної екстрагувати та депонувати з атмосфери 1239904,26 тонн вуглецю, поглинути з води 187155,36 тонн азоту, 11697,21 тонн фосфору.

В рамках Дніпро-Бузького лиману, площею 800 км², може бути засвоєно біля 924224,622 тонн азоту та 57764,0389 тонн фосфору за вегетаційний період та депоновано 6122988,12 тонн вуглецю.

Це означає, що на місяць поглинається 115528,078 тонн азоту та 7220,50486 тонн фосфору. Таким чином на поглинання природним шляхом тільки органічних речовин, які потрапили до лиману внаслідок російського теракту потрібно 13 місяців вегетаційного періоду тобто тільки теплих місяців. В той же час продовжують існувати інші фонові фактори, як антропогенне забруднення, змивання внаслідок ерозії та ін., що ускладнюватиме процес.

Дані, наведені в дослідженні [9] вказують на те, що загальний об'єм скинутих стічних вод складає 210-250 млн. м³. При цьому на одну людину припадає в середньому 2,56 кг мінеральних сполук азоту та 0,6 кг мінеральних сполук фосфору на рік. Тоді для очищення таких обсягів, наприклад від міста Миколаєва, враховуючи тимчасовий виїзд близько 40% населення через війну та приблизну чисельність в 500000, маємо: 7,68·10¹¹ мг азоту та 18·10¹⁰ мг фосфору, для асиміляції яких потрібно 3840 тонн водоростей по азоту та 14400 тонн для фосфору. Враховуючи добовий приріст в 1 г/л, за рік для нейтралізації всього фосфору потрібен об'єм 10520547,95 л або 10520,6 м³, що при середній глибині Інгулу 1,2 м [10] в ділянці, де розміщені Галіцинівські очисні споруди потребує 8767,2 м² площі. При цьому через те, що за концентрації вище 4 г/дм³ фітопланктон сам себе затінює, можливість вирощування його в таких обсягах є неймовірною. Реальний показник відрізнятиметься від лабораторного приблизно вдвічі. Природа експлуатує приблизно 40-60 см глибини, тобто до половини об'єму. При доставці світла на глибину можна підвищити ККД цього процесу майже вдвічі.

Відповідно, частково очищені стоки можна використовувати як субстрат для вирощування олійних мікро водоростей. На жаль, мікро водорості з високим вмістом білку, до яких належить спіруліна є непридатними для біопалива, проте хлорела, здатна продукувати 29% олії від своєї маси, зберігаючи певну універсальність як кормова культура та джерело етанолу/біогазу і ін. Звичайно є більш спеціалізовані культури на зразок Ганцкії (DI-160) – 66% маси та Шизохітрію – 50-77% маси. Умови їх вирощування мало відрізняються, тому беремо за основу попередні розрахунки.

Тоді, зважаючи на те, що біопаливо з олії отримується в обсязі 1 до 1, ми маємо перспективу отримувати 4176 тонн біопалива на рік за умов, що склались через виїзд 40% населення, при вирощуванні на даному субстраті хлорели. При цьому 71 біомаси лишається сировиною для отримання біогазу або перегонки в біоетанол, який є другим компонентом для отримання біопалива (олія, етанол та каталізатор).

Ганцкія дає вихід 9504 тонни біопалива та 34% маси сировини, а Шизохітрію – 7200-11088 тонн.

Так як через самозатінення фітопланктон освоює тільки перші 60 см глибини, а перемішування, аналогічне до промислового вирощування спіруліни не можливе в умовах рекультивції природних водойм, пропонується

застосовувати світлові колодязі [11] у вигляді трубок з дзеркальною поверхнею всередині, розміщених на відстані 40 см від дна з проміжком в ті самі 40 см. Це теоретично дозволить підвищити можливість екосистеми до самоочищення на 30-50% за рахунок розширення зони де відбувається фотосинтез.

Суть розробки полягає в тому, що пристрій містить: Фокусуючу установку у вигляді дзеркала Френеля (1), світловід (2), з'єднаний з гідроізолюваною трубою, що покрита в середині світловідбиваючою плівкою (3), з закритими прозорим ковпаком отворами діаметром 30 см для розсіювання світла на відстані 50 см одне від одного (4).

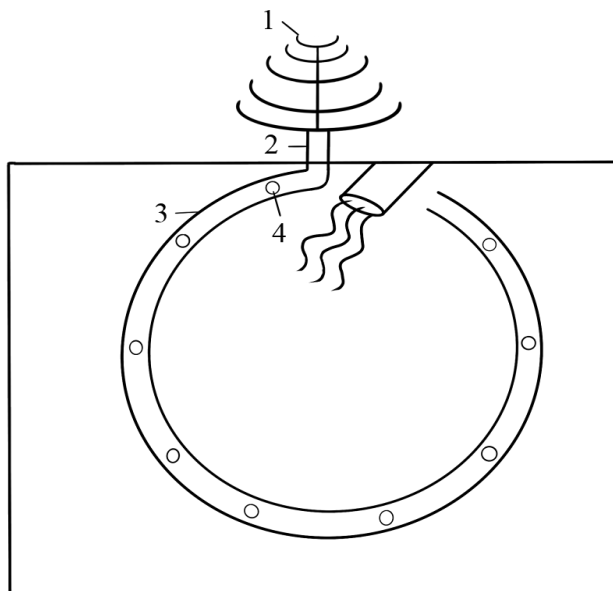


Рис 11. Світловий колодязь для прискорення самоочищення водойм

Другий, більш ефективний спосіб, який цілком можна комбінувати з попереднім – стандартна аерація, як на очисних спорудах.

Суть розробки полягає в тому, що пристрій містить: джерело живлення (1), установку для закачування повітря (2), гнучку магістральну трубу з великою кількістю отворів діаметром 5-6мм (3), гнучкі радіальні труби, направлені до центру витоків з отворами до 2-2,5мм (4), гідроізолювану проводку (5) та малі ультразвукові динаміки частотою 35-45 кілогерц (6), що покривають дані труби.

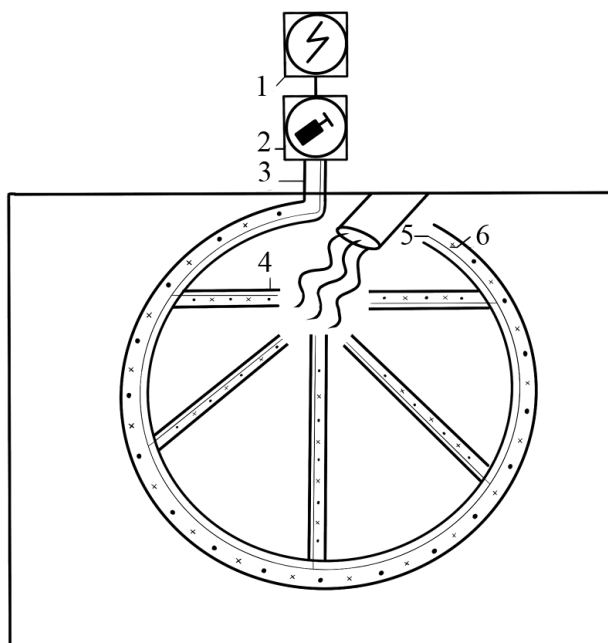


Рис. 12. Прилад для прискорення самоочищення водойм та локалізації аварійних витоків

Ступінь використання кисню при аерації залежить від розміру бульбашок та становить від 6-7% при розмірі бульбашок 5-6 мм, 8-12 при розмірі 2-2,5 мм та до 15% при розмірі 200-500 мкм в дифузорах. За розміщення в трубках світлових колодязів окремих відвідок до дна, та перекачки ними повітря можна вирішити одразу дві проблеми: насичення придонного шару киснем та постачання атмосферного вуглекислого газу для фітопланктону. Зважаючи на термін розкладання органіки при аерації в порівнянні з терміном розкладання в психрофільному анаеробному процесі – швидкість самовідновлення екосистеми можна підвищити в 1,5-3 рази залежно від розмірів бульбашок.

Проте, зважаючи на те, що в промисловому метантенку також необхідне нагрівання субстрату, ця величина падає, що дає реальне очікування в ті самі 50%.

Тобто, при комбінованому використанні обох методів можна підвищити швидкість самовідновлення забрудненої водної екосистеми в 2 рази.

Висновки.

Проведені дослідження дозволили скласти загальне уявлення про можливості самоочищення водної екосистеми Бузького лиману окремо та як частини Дніпро-Бузького лиману.

Розрахунки проведено на основі результатів попередніх досліджень, зокрема енергетичної моделі формування харчового ланцюга водойми.

Визначено біопродуктивність фітопланктону та його типову структуру, що дозволило оцінити потенційні можливості з біоекстракції сполук азоту та фосфору і депонування вуглецю.

Було проведено моделювання екологічного ризику за показниками ХСК та БСК-5 і прогнозування термінів, за які рівень ризику впаде до задовільного рівня в досліджуваній точці питного водозабору.

Перспективним виглядає варіант об'єднання розробленої системи аерації з світлодіодним освітленням (аналогічним за призначенням до розробленого світлового колодязя) та їх оригінальне художнє оформлення. Такі аераційні системи, можуть бути хорошою туристичною принадою і закупатись країнами, що активно здійснюють подібні інфраструктурні проекти (є значна перспектива продажу таких систем в ОАЕ, Ізраїлі, Британії).

Екологічний ефект полягатиме в розширенні знань про реальні можливості екосистеми та апробації рекультиваційних і аварійно-локалізаційних технологій, що закладе основи для реальної реалізації інфраструктурних проектів з рекультивації антропогенно-трансформованих водойм.

В соціально-економічному плані це виражатиметься через фінансове залучення громадян до інфраструктурних рекультиваційних та моніторингових проектів через токенизацію екологічних послуг. Навіть один аварійний витік здатний нанести навколишньому середовищу шкоду на більшу суму, ніж вся вартість проекту

Внесок авторів:

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

Случак О.І.: Пошук та аналіз наукових джерел, оформлення статті, перевірка адекватності моделей, формулювання перспектив дослідження.

Література

1. UNSD (2020). Using the SEEA EA for Calculating Selected SDG Indicators . United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, New York

https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/documents/Indicators/3._using_the_seea_ea_for_calculating_selected_sdg_indicators.pdf

2. Уряд України, Організація Об'єднаних Націй. (2023). Оцінка потреб після катастрофи (PDNA): Катастрофа на греблі Каховської ГЕС 2023 року, Україна. Жовтень 2023 р. Редактор: Балакришнан Балачандран, доктор філософії, AICP. Дизайнер: Гафич Єлизавета. <https://ukraine.un.org/sites/default/files/2023-10/PDNA%20Final%20and%20Cleared%20UKR%20-%2016Oct.pdf>.

3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2023). Оперативна інформація за наслідками підриву Каховської ГЕС станом на 06:00 13.06.2023. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. <https://ecozagroza.gov.ua/news/119>.

4. 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>

5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>. (дата звернення: 01.01.2021)

6. Мінаєва, Г. М. (2021). Структурно-функціональні характеристики фітопланктону водотоків нижнього Дніпра. Природничий альманах (біологічні науки), (30), 75-83. URL: <http://na.kspu.edu/index.php/na/article/view/653>

7. Maltby, L. (1994) Stress, shredders and streams: using gammarus energetics to assess water quality. In: Sutcliffe, D.W. (ed.) Water quality and stress indicators in marine and freshwater systems: linking levels of organisation. Ambleside, UK, Freshwater Biological Association, pp. 98–110. (FBA Special Publications, 4)

8. 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.

9. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи / Афанасьєв С., Бедзь Н., Боднарчук Т., Васильєв С., Вікторов М., Власова Т., Войтюк І., Гавриков Ю., Гайдук К., Дмитришина В., Коноваленко О., Коржик О., Крижанівський Є., Летицька О., Лисюк О., Манівчук В., Марушевська О., Мокін В., Мудра К., Осадча Н., Скоблей М., Сташук В., Чунарьов О., Ярошевич О. За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. — Київ: Вид-во ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. — 188 с. ISBN 978-617-696-258-8 https://mk-vodres.davr.gov.ua/sites/default/files/Bug_plan_final_2.pdf

10. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС./ за ред. С.О. Афанасьєва. — Київ, 2012. — 28 с. Р ISBN 978-617-696-040-9. https://www.researchgate.net/publication/275332910_Ocinka_ekologichnogo_stanu_ricki_Pivdennij_Bug_u_vidpovidnosti_do_vimog_Vodnoi_ankovoi_Direktivi_R_ES

11. Jaromír Petržala. Simple analytic formula for the light-tube optical efficiency under overcast sky conditions. Solar Energy, Volume 194, 2019, Pages 47-50, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.032>

DOI: <https://doi.org/10.34132/>
УДК 504.054

Чвир В. А.,
викладач кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: vip.chvir@gmail.com

Мітрясова О. П.,
д.пед.н., професор, професор кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: lesya.solis28@gmail.com

Смирнов В. М.,
к.геолог.н., доцент, доцент кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: vnsmirnov79@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СОЦІОЕКОСИСТЕМУ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМФОРТНИХ УМОВ ДЛЯ ЛЮДИНИ

Анотація. У статті розглянуто вплив антропогенного чинника – використання кондиціонерів, на соціоекосистему у зв'язку зі створенням комфортних умов для людини. Досліджено, що багато засобів, спрямованих на створення комфорту, негативно впливають на навколишнє середовище та створюють викиди вуглекислого газу та фреонів. Виявлено, що кондиціонери споживають значну кількість електроенергії та призводять до значних викидів CO₂, особливо за умов глобального потепління. Результати розрахунків показали, що один кондиціонер може викидати близько 0,5 кг вуглекислого газу на рік, що призводить до значного антропогенного навантаження на соціоекосистему великого міста. Проведено прогноз викидів вуглекислого газу кондиціонерами, які мають жителі міста Миколаєва. Висунуто припущення, що близько 400 тис. мешканців міста мають кондиціонери, що в перерахунку на кількість викидів складає 211,68 тон на рік. Такий вплив на навколишнє середовище потребує подальших досліджень для зменшення негативних екологічних наслідків.

Ключові слова: антропогенний вплив, соціоекосистема, комфортні умови, викиди вуглекислого газу, енергоспоживання.

DETERMINATION OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE SOCIO- ECOSYSTEM WHILE PROVIDING COMFORTABLE CONDITIONS FOR HUMANS

Abstract. The article notes the influence of the anthropogenic factor - the use of air conditioners – on the socio-ecosystem in connection with the creation of comfortable conditions for humans. It has been studied that many means aimed at creating comfort have a negative impact on the environment and create emissions of carbon dioxide and freon. Air conditioners have been found to consume significant amounts of electricity and lead to large CO₂ emissions, especially in a climate of global warming. The results of the calculations showed that one air conditioner can emit about 0.5 kg of carbon dioxide per year, which led to a significant anthropogenic burden on the socio-ecosystem of a large city. A forecast of carbon dioxide emissions from air conditioners owned by residents of the city of Mykolaiv was made. It is assumed that about 400,000 residents of the city have air conditioners, which in terms of the amount of emissions is 211.68 tons per year. Such an impact on the environment requires attention and further research to reduce negative environmental consequences.

Keywords: anthropogenic impact, socio-ecosystem, comfortable conditions, carbon dioxide emissions, energy consumption.

Вступ. Комфортні умови мікроклімату для людського організму є важливою складовою нормальної продуктивності праці, самопочуття та функціонування організму. Створення комфортних умов для людини безпосередньо має вплив на навколишнє середовище [8].

Більшість засобів, які людина використовує для створення власного комфортного стану мають негативний вплив на соціоекосистему. Одним з таких є кондиціонери, бо їх використовують у холодний та спекотний період року [14,15].

Кондиціонери мають два основних впливових фактори на навколишнє середовище це – вуглекислий газ та фреон. Сьогодні кондиціонери споживають в два рази більше електроенергії, ніж всі комп'ютери планети. В перерахунку на кількість вуглекислого газу це 140 мільйонів тон на рік. Тому знижуючи використання кондиціонерів в два рази можна умовно забезпечити «безкоштовну» роботу всіх комп'ютерів у світі. В умовах глобального потепління клімату додаткові викиди газів із парниковим ефектом, а також колосальне поглинання енергії кондиціонерами є неприпустимими [5].

Аналіз літературних джерел. У наш час відкритим питанням є вплив факторів навколишнього середовища на людський організм. Саме тому, широкого використання серед дослідників набуло поняття «комфортність». Комфортність охоплює широкий спектр показників, які несуть прямий чи опосередкований вплив на людський організм та встановлює оптимальні зони комфортності для людини [6].

Використання кондиціонерів, як засобів для створення комфортних умов, по всьому світу набирає обертів. Наведені статистичні дані підтверджують цю тезу.

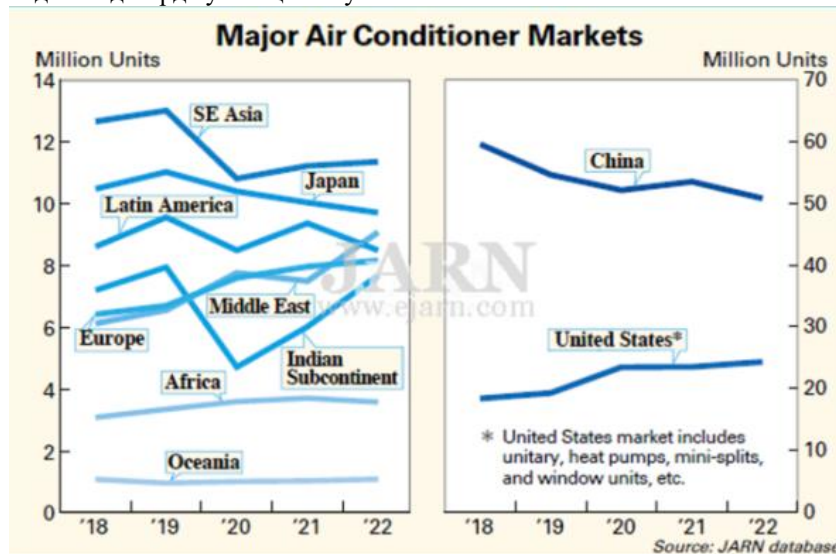


Рис. 1. Основні ринки кондиціонерів (млн. од.)^[4]

За оцінками видання JARN, світовий ринок побутових кондиціонерів повітря (РАС) у 2022 році скоротився на 0,4% порівняно з 2021 роком, досягнувши 125,62 мільйона шт.

На відміну від ринку РАС-кондиціонерів повітря, що відчував труднощі, глобальний ринок РАС-кондиціонерів повітря, який був млявим через вплив пандемії в 2021 році, почав зростати на початку 2022 року завдяки відновленню туризму в багатьох країнах та збільшенню інвестицій у готелі та ресторани. Оціночний показник зростання РАС-ринку в 2022 році: 1,5% [9].

Багато вчених, які досліджували питання комфортності, висунули свої гіпотези стосовно кількісного визначення комфортності як параметра, і при цьому значно сприяли розвитку дослідження цієї теми.

Аспект вивчення комфортності міського середовища представлено у роботі [7]. Автору вдалось встановити, що розподіл мегаполісів відбувається за ступенем успішності конвертації інвестицій, що в свою чергу позначається на сприйнятті мешканців. Створення системи показників комфортності міського середовища підвищить ефективність використання інвестиційних ресурсів мегаполісу.

Дослідження комфортності з точки зору впливу якості повітряного середовища на самопочуття людини досліджував [12]. За математичними методами побудовано чотирифакторну регресійну модель і виявлено, що вагомий вплив на комфортність людини здійснюють три фактори: температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря під час парної взаємодії, проте концентрація аероіонів не має суттєвого впливу порівняно із іншими факторами.

Аналіз біокліматичних індексів у роботі дозволив виокремити найбільш точний індекс, так як він враховує найбільшу кількість параметрів та метеорологічних факторів, серед оцінених та довести його переваги над іншими, що дозволило суттєво зменшити відхилення оцінки комфортності та вважати його доцільним під час використання [13].

Метою дослідження є визначення антропогенного навантаження на соціоекосистему у процесі використання кондиціонеру задля створення комфортних умов для людини.

Матеріали і методи дослідження.

Для розрахунків використовувались статистичні дані, які отримані з офіційного сайту Миколаївської теплоелектроцентралі. Перерахунок викидів кондиціонерами проводився через спалювання палива ТЕЦ та її викидами в навколишнє середовище. Шляхом визначення викидів вуглекислого газу, за рахунок спалювання природного газу, було виведено пропорцію для обрахунку забруднення, яке несе один кондиціонер на рік. Для

цього середнє споживання кондиціонеру прирівняли до вироблення електроенергії Миколаївською ТЕЦ, що дозволило визначити кількість викидів. Всі розрахунки проводились з використанням математичних і табличних процесорів MathCad та MS Excel відповідно[1-3].

Дослідження здійснено у рамках Міжнародного проєкту «Європейські зелені виміри», що реалізується на кафедрі екології ЧНУ імені Петра Могили за підтримки Програми ЄС Erasmus+ Жан Моне Кафедра.

Результати дослідження.

Визначено кількість енергії необхідної для створення комфортних умов вдома, під час роботи та на відпочинку (у приміщеннях). Так, кількість теплової енергії необхідної для комфортних умов у зимовий період розраховувалось за формулою 1[11]:

$$Q = \sum S_{\text{пом}} q \cdot k \quad (1)$$

Q – кількість теплової енергії, Вт;

$S_{\text{пом}}$ – площа кімнати, м²;

q – питома тепла характеристика, віднесена до площі приміщення, (100 Вт/м²);

k – коефіцієнт, що враховує клімат в районі проживання, розглядаючи Миколаїв, для південних регіонів k дорівнюватиме 0,8.

Житлова кімната у середньому має площу 12 м², отже:

$$Q = 12 \cdot 100 \cdot 0,8 = 960 \text{ Вт}$$

Для робочого приміщення, в якому людина знаходиться більше свого часу, площею 50 м²:

$$Q = 50 \cdot 100 \cdot 0,8 = 4000 \text{ Вт} = 4 \text{ кВт}$$

Кількість теплової енергії необхідної для приміщення театру, кінотеатру площею 200 м² (людина на відпочинку):

$$Q = 200 \cdot 90 \cdot 0,8 = 14400 \text{ Вт} = 14,4 \text{ кВт}$$

Важливо зазначити, що в даному випадку q дорівнює 90, через те, що дані приміщення не мають вікон.

Виходячи з вищезазначеного розрахуємо скільки викидів вуглекислого газу утворюється через спожиту енергію одним кондиціонером.

Для вироблення 1 МВт/год електроенергії потрібно спалити: 303 м³ природного газу, 0,468 тон вугілля або 1,32 м³ деревини.

За даними Миколаївської ТЕЦ, річне виробництво електроенергії складає близько 77 млн. кВт/год = 77000 МВт/год.

Миколаївська ТЕЦ споживає близько 45 млн. м³ природного газу на рік.

Зважаючи на те, що Миколаївська ТЕЦ використовує природний газ як основне паливо, розрахуємо витрати природного газу [10]:

$$V = X \cdot \rho \quad (2)$$

X – об'єм спожитого газу, м³;

ρ – густина природного газу за нормальних умов, кг/м³ (0,723).

Отже, масова витрата природного газу становить:

$$V = 45330000 \cdot 0,723 = 32751900 \text{ кг.} = \mathbf{32751,9 \text{ т.}}$$

Валовий викид вуглекислого газу визначається за формулою:

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} \cdot k_{\text{CO}_2} \cdot Q^r \cdot V \quad (3)$$

k_{CO_2} – показник емісії вуглекислого газу (58748,13 г/ГДж);

Q^r – нижча робоча теплота згорання палива (45,75 МДж/кг).

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} \cdot 58748,13 \cdot 45,75 \cdot 32751,9 = \mathbf{88028,1 \text{ т}}$$

Складаємо пропорцію, для визначення кількості викидів при спалюванні 303 м³ природного газу:

$$303 \text{ м}^3 - x \text{ тон}$$

$$45330000 \text{ м}^3 - 88028,1 \text{ тон}$$

$$x = \frac{88028,1 \cdot 303}{45330000} = \mathbf{0,588 \text{ т}}$$

Отже, викиди Миколаївської ТЕЦ під час вироблення 1 МВт/год становлять 0,588 т на рік.

Дані розрахунки дозволяють визначити, кількість викидів, які утворюються за спожитої енергії одного кондиціонера.

Один кондиціонер в середньому споживає 0,9 кВт/год. Тому:

$$1 \text{ 000 кВт/год} - 0,588 \text{ т}$$

$$0,9 \text{ кВт/год} - x \text{ т}$$

$$x = \frac{0,9 \cdot 0,588}{1000} = 0,0005292 \text{ т} = \mathbf{0,5292 \text{ кг}}$$

Виходячи із проведених розрахунків, довгий процес від виробництва електроенергії Миколаївською ТЕЦ до охолодження приміщення кондиціонером приводить до того, що засіб створений для нашого комфортного існування має негативний вплив на навколишнє середовище, а саме через вироблену електроенергію підприємством для його функціонування, кількість викидів CO₂ становлять приблизно 0,5 кг.

Висновки.

Визначено, що одна людина для створення комфортної температури у приміщенні за холодної чи спекотної погоди, умовно викидає у довкілля 500 грамів вуглекислого газу на рік.

Припускаючи, що у Миколаєві проживає близько 470 тис. жителів, з них 400 тис. мають кондиціонери, розраховано, що щорічно до атмосферного повітря викидається близько 212 тон вуглекислого газу.

Отже, наслідки комфортних умов створюють вагоме антропогенне навантаження на соціоекосистему міста. Проте, не береться до уваги викиди фреонів у атмосферне повітря, які впливають на озоновий шар планети.

Усі розрахунки проведено за офіційними даними сайту Миколаївської теплоелектроцентралі.

Література

1. Chvyr 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.
2. Chvyr V., Smyrnov V., Mityasova O. (2023). Mathematical modeling of comfortable conditions of convective heat exchange of humans and environment. *Environmental and Radiation Safety*, 1(1), 4-11.
3. Chvyr 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. DOE, Major Retailers Develop Criteria for Next Gen Air Conditioners. URL: https://www.ejarn.com/detail.php?id=14228&l_id= (date of access: 27.11.2023).
5. Вплив кондиціонерів на навколишнє середовище | Хмельницька обласна військова адміністрація – Офіційне інтернет-представництво. *Хмельницька обласна військова адміністрація – Офіційне інтернет-представництво*. URL: <https://www.adm-km.gov.ua/?p=25460> (дата звернення: 22.11.2023).
6. Інформація для населення – ДУ «Вінницький обласний лабораторний центр МОЗ України». *Вінницький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України*. URL: http://cgz.vn.ua/nformatsya-dlya-naseleennya/nformatsya-dlya-naseleennya_485.html (дата звернення: 23.11.2023).
7. Миргородська М. (2022). Комфортне міське середовище мегаполісів: аспекти оцінювання. *Public administration aspects*, 10(1), 20-25. DOI: 10.15421/152272.
8. Мікроклімат та вентиляція. *Кафедра безпеки життєдіяльності*. URL: <https://kbg.pnu.edu.ua/мікроклімат-та-вентиляція/> (дата звернення: 23.11.2023).
9. Огляд світового ринку кондиціонерів повітря 2022 року - European Business Association. *European Business Association*. URL: <https://eba.com.ua/oglyad-svitovogo-rynku-kondytsioneriv-povitrya-2022-roku/> (дата звернення: 27.11.2023).
10. Розрахунок викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферу при спалюванні палива. *Державна служба статистики України*. URL: <http://www.te.ukrstat.gov.ua/files/respondent/2tp.pdf> (дата звернення: 22.11.2023).
11. Розрахунок теплового навантаження на опалення і тепловтрат будинку. *Опалення та вентиляція вашої оселі*. URL: <https://otivent.com/uk/teplove-navantazhennya-na-opalennya> (дата звернення: 22.09.2023).
12. Сукач С.В. (2014). Багатофакторна математична модель комфортного повітряного середовища. *Вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*, 2(69), 97-101.
13. Шевченко О.Г. (2016). Порівняльний аналіз біокліматичних індексів для оцінки комфортності. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 1(74), 133-141.
14. Як кондиціонер впливає на здоров'я людини. *Znaj.ua*. URL: <https://znaj.ua/news/regions/99856/ak-kondicioner-vplivaye-na-zdorovya-lyudini.html> (дата звернення: 23.11.2023).
15. Ярмошук Т., Закалюжний М. Прохолодою кондиціонера по екології. *Радіо Свобода*. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/24651840.html> (дата звернення: 23.11.2023).

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

УДК 504.4.054

Мітрясова О. П.,

д.пед.н., професор, професор кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: lesya.solis28@gmail.com

Смирнов В. М.,

к.геолог.н., доцент, доцент кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: vnsmirnov79@gmail.com

Чвир В. А.,

викладач кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: vip.chvir@gmail.com

Мац А. Д.,

аспірант,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: andrejmac3@gmail.com

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ЧЕРЕЗ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ

На основі проведеного кореляційного аналізу встановлено взаємозалежність між різними хімічними компонентами та показниками якості води. Зокрема, були виявлені взаємозалежності між вмістом нітратів, нітритів, сульфатів, мангану та рН води, а також їхній вплив на жорсткість води.

Для підтвердження цих залежностей було проведено порівняння аналітичних та практичних результатів. Лабораторні дослідження були використані для перевірки кореляційних рівнянь, що були отримані на основі аналізу. Отримані результати дозволяють зробити висновок про ефективність використання зазначених хімічних параметрів для прогнозування якості води.

В перспективі ці дані можуть стати основою для розробки оперативних методів визначення показників якості питної води. Такий підхід може бути використаний для створення прогнозних моделей, які дозволять покращити системи контролю за якістю водопостачання. Це особливо важливо в контексті забезпечення безпеки та якості водопостачання для споживачів. Такі наукові підходи сприяють удосконаленню систем водопостачання та забезпеченню доступу до безпечної питної води для населення.

Ключові слова: вода, якість води, питна вода, експрес-показники, кореляційний аналіз, регресійні рівняння, жорсткість, манган, сульфати, нітрати, нітрити, рН, забруднення води, здоров'я людини.

WAYS TO OPTIMIZE THE DETERMINATION OF DRINKING WATER QUALITY THROUGH CORRELATION ANALYSIS

Based on the conducted correlation analysis, interdependence has been established between various chemical components and water quality indicators. Specifically, correlations have been identified among the levels of nitrates, nitrites, sulfates, manganese, and the pH of water, as well as their influence on water hardness.

To confirm these dependencies, a comparison of analytical and practical results was carried out. Laboratory studies were utilized to verify the correlation equations derived from the analysis. The obtained results allow the conclusion to be drawn regarding the effectiveness of using the mentioned chemical parameters for predicting water quality.

In perspective, these data could serve as a foundation for developing operational methods for determining indicators of drinking water quality. Such an approach can be employed in creating predictive models that would enhance the monitoring systems for water quality. This is particularly crucial in ensuring the safety and quality of water supply for consumers. These scientific approaches contribute to the improvement of water supply systems and ensuring access to safe drinking water for the population.

Keywords: water, water quality, drinking water, express indicators, correlation analysis, regression equations, hardness, manganese, sulfates, nitrates, nitrites, pH, water pollution, human health.

Вступ. У сучасній епохі надмірно зменшуються резерви питної води, тоді як водоспоживання в промисловості, сільському господарстві і побуті може використовувати лише прісні води [1].

Важливо відзначити, що на сьогоднішній день 70% водних ресурсів України не відповідають встановленим стандартам та нормам. Найбільше забруднення спостерігається в наземних та підземних водах, зокрема у південних та східних регіонах країни, таких як Миколаївська область. Це, разом із недоліками в системах трубопроводів і очисних систем, суттєво впливає на якість питної води [2].

Оцінка якості води здійснюється на основі її складу та властивостей, враховуючи її придатність для різних використань. Особливо високі вимоги пред'являються до води, що використовується для господарсько-питних потреб виробничих, житлових та громадських будівель [3,10]. Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати гігієнічним нормам, бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, а також мати приємні органолептичні властивості та безшкідливий хімічний склад [4, 5].

Забезпечення належного здоров'я населення визначає велику вагу якості питної води. Щоб забезпечити високу якість питної води, необхідно щоденно контролювати показники, які можуть негативно впливати на здоров'я людей.

Один із методів контролю якості питної води - це експресний аналіз. Це швидкий та ефективний спосіб визначення показників якості води, який часто використовується для перевірки води на наявність шкідливих домішок або бактерій [6-9].

Для проведення експресного аналізу використовують спеціальні тести, які можна придбати в спеціалізованих магазинах. Ці тести дозволяють визначати різні показники якості води, такі як:

- Рівень рН, який визначається за допомогою індикаторного паперу. Нормальний рівень рН для питної води знаходиться в діапазоні від 6,5 до 8,5.
- Рівень хлоридів, що визначається за допомогою тест-смужки. Нормальний рівень хлоридів у питній воді не повинен перевищувати 250 мг/л.
- Рівень жорсткості води, визначений за допомогою тест-смужки. Нормальний рівень жорсткості у питній воді не повинен перевищувати 7.

Продовжуючи дослідження у сфері водопостачання та забезпечення якісною питною водою, можна визначити напрямки подальших досліджень. Одним із таких напрямків є розробка нових методів експресного визначення показників якості питної води. Наприклад, робота над методами, які ефективно та швидко визначають показники якості води, що містяться у невеликих кількостях, таких як мікробні забруднення або різні хімічні речовини [12-16].

Для цього можна використовувати передові методи аналізу, такі як газова хроматографія та мас-спектрометрія, що дозволяють швидко визначати різні речовини у зразках води. Також можна досліджувати можливості використання біосенсорів, які взаємодіють з біологічними системами для визначення різних показників якості води.

Додатково, можна розглядати використання штучного інтелекту та машинного навчання для експресного визначення показників якості питної води. Наприклад, розробка програмного забезпечення, яке аналізує дані з встановлених датчиків у системі водопостачання та автоматично визначає рівень якості води.

Важливо відзначити, що при розробці нових методів визначення якості питної води необхідно дотримуватися стандартів та нормативів, що регулюють якість питної води. Регулярні моніторинги та аналізи якості води в системі водопостачання є важливими для виявлення можливих проблем та їхнього запобігання. Також важливо забезпечувати належне зберігання та транспортування зразків води, щоб уникнути помилкових результатів визначень.

Одним з перспективних напрямків розробки нових методів визначення показників якості питної води є використання сучасних технологій, таких як біосенсорні системи, для отримання швидких та точних результатів. Розвиток інтернет-технологій дозволяє проводити моніторинг якості питної води у режимі реального часу.

Отже, вивчення методів експресного визначення показників якості питної води відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки населення та дотриманні вимог до якості питної води. Розробка нових методів дозволяє проводити швидкий та точний аналіз якості води, що має велике значення для збереження здоров'я людей і довкілля.

Важливість якості питної води визнається як ключовий аспект забезпечення належного здоров'я населення. Щоб забезпечити високу якість питної води, необхідно щоденно контролювати показники, які можуть негативно впливати на здоров'я людей.

Ця робота має на меті провести дослідження методів експресного визначення показників якості питної води та їх аналіз для визначення оптимального методу, який забезпечить швидку та точну оцінку якості води. Дослідження виконано у рамках проекту Жана Моне Кафедра 101081525—JM EUGD—ERASMUS-JMO-2022-HEI-TCH-RSCH на базі Чорноморського національного університету імені Петра Могили за підтримки Програми Європейського Союзу Еразмус+.

Завдання дослідження включають:

1. Аналіз існуючих методів визначення показників якості питної води, зокрема, експрес-методів.

2. Розгляд вимог, встановлених стандартами та нормативними документами, які регулюють якість питної води.

3. Дослідження можливостей використання різних методів для експресного визначення показників якості питної води та порівняння їх ефективності та точності.

4. Представлення оптимального методу експресного визначення показників якості питної води, який відповідає вимогам стандартів та нормативних документів і забезпечує швидке та точне визначення якості води.

Матеріали і методи дослідження.

Проведено багаторічний кореляційний аналіз якості питної води в с. Виноградне, Миколаївська область використовуючи програму Statistica 6.0 для розрахунків. Дослідження виявило взаємозалежність між різними хімічними компонентами та показниками якості води протягом тривалого періоду.

Зокрема, встановлено кореляції між вмістом нітратів, нітритів, сульфатів, мангану та рН води. Оцінено вплив цих показників на жорсткість води. Аналіз показав стабільні тенденції та варіації у якості води протягом років.

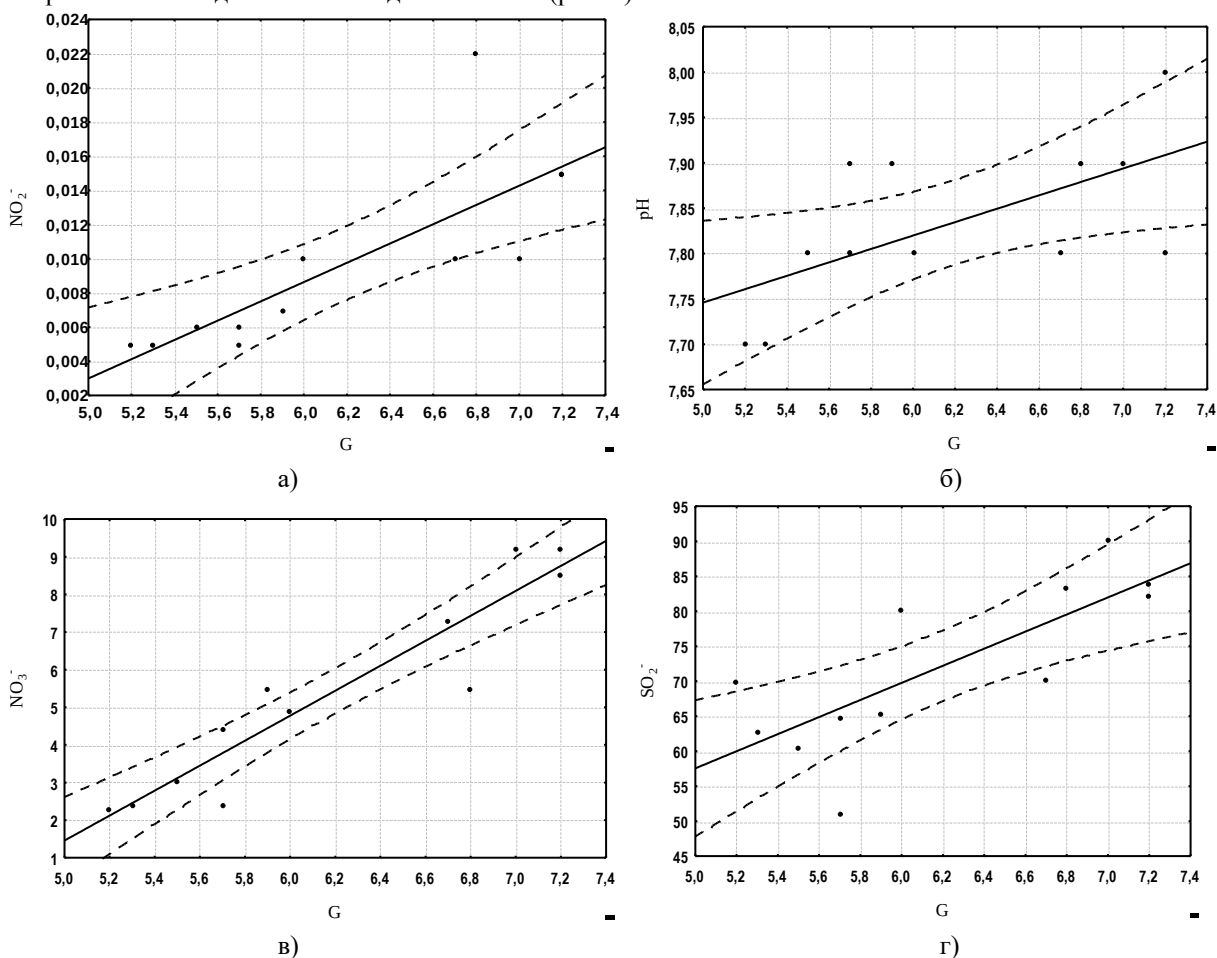
Для перевірки отриманих залежностей проведено порівняння аналітичних та практичних результатів, отриманих в лабораторних умовах. Отримані дані дозволяють робити висновки щодо стабільності та певних тенденцій у розвитку водних ресурсів у регіоні.

Результати досліджень.

Результати нашого дослідження вказують на важливість оцінки якості питної води, яка є ключовою у сфері водопостачання. Забезпечення безпеки та високої якості питної води вимагає оперативного визначення її показників якості як у звичайних умовах експлуатації, так і в надзвичайних ситуаціях. У цьому контексті наш методичний підхід до експресного визначення показників якості питної води є вельми актуальним.

Під час дослідження якості питної води в с. Виноградне ми виявили важливі зв'язки між її жорсткістю та іншими параметрами. Аналіз довготривалих даних вказав на існування п'яти зв'язків з ймовірністю більше 70%. Використовуючи програму Statistica 6.0 для розрахунків, ми отримали результати, які можуть бути використані для поліпшення контролю якості питної води в с. Виноградне та інших містах України.

Отже, запропонований метод базується на математичних розрахунках показників якості питної води, що дозволяє отримувати швидкі та достовірні результати. Цей підхід значно зменшує час аналізу і підвищує рівень контролю якості води в системі водопостачання (рис. 1).



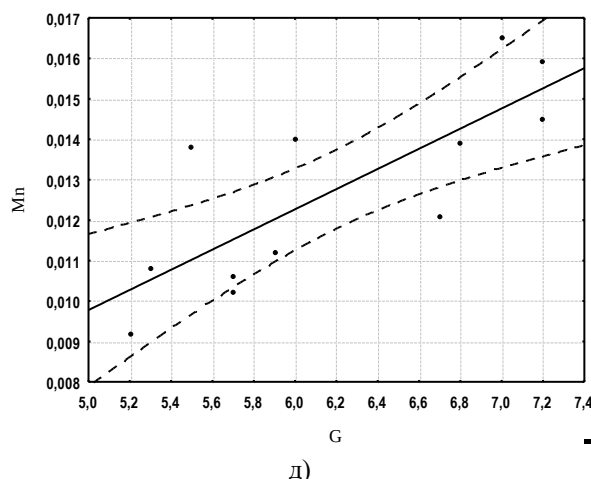


Рис.1 Регресійна залежність вмісту хімічних показників питної води с. Виноградне від жорсткості G. а) нітрити; б) рН; в) нітрати; г) сульфати; д) манган.

Визначено залежності між різними показниками якості питної води, виявляючи п'ять зв'язків з ймовірністю більше 70%. Ці зв'язки можуть служити для прогнозування рівня якості питної води та визначення оптимальних параметрів обробки води.

Результати наших досліджень підтвердили, що використання запропонованого методу є вкрай ефективним для контролю якості питної води. Цей метод дозволяє отримувати швидкі та достовірні результати, що має важливе значення при техногенному забрудненні води.

Отже, наша робота успішно вирішила поставлені завдання, а розроблений метод може бути впроваджений у практичну діяльність для контролю якості питної води та визначення оптимальних параметрів обробки води.

Для перевірки достовірності отриманих результатів, ми провели порівняння концентрацій хімічних показників, які були визначені за допомогою регресійних рівнянь, з результатами лабораторних досліджень. Для цього використовувався метод співставлення, і його результати подані в табл.1. Згідно з отриманими даними, жорсткість води складає 4,2 мг-екв/л

Таблиця 1. – Верифікація розрахункових показників за результатами лабораторного аналізу

Речовина	Хімічна складова води	Концентрація речовини, мг/л		Коефіцієнт кореляції, %	Рівняння
		Розрахунок	Аналіз		
Манган	Mn ²⁺	0,0079	0,01	78	$Y = -0,0027 + 0,0025 \times X$
Сульфати	-SO ₄ ²⁻	56,3	72,0	78	$Y = -3,526 + 12,215 \times X$
Нітрати	-NO ₃ ⁻	0,17	0,18	95	$Y = -15,14 + 3,318 \times X$
Нітрити	-NO ₂ ⁻	0,06	0,08	80	$Y = -0,025 + 0,0056 \times X$
рН	H ⁺	7,6	7,6	93	$Y = 7,376 + 0,0739 \times X$

Аналізуючи данні таблиці, можна зробити такі висновки:

1. Коефіцієнти кореляції для всіх показників є високими, свідчаючи про добру залежність між аналітичними та практичними результатами.
2. Концентрації мангану, сульфатів та нітратів перевищують допустимі норми, що може свідчити про проблеми з якістю питної води.
3. Концентрації нітритів та рівень рН знаходяться в межах норми.
4. Рівняння, отримані за допомогою регресійного аналізу, можуть бути використані для швидкого та експресного визначення показників якості води без проведення дорогих та часомістких лабораторних досліджень.

Важливою задачею для водопостачальних організацій є забезпечення населення якісною питною водою. Для цього необхідно проводити регулярний моніторинг та аналіз якості води. Один із способів аналізу якості води - використання регресійних рівнянь для визначення концентрації хімічних показників.

У рамках даної статті були проаналізовані багаторічні дані якості питної води, і на основі цього аналізу були побудовані регресійні рівняння. Манган, сульфати, нітрати, нітрити та рівень рН були обрані як показники.

Аналіз даних показав, що концентрації хімічних показників залежать від рівня рН та взаємодіють між собою. Для визначення цих залежностей були побудовані регресійні рівняння, які дозволяють визначати концентрацію показників за значеннями рівня рН та інших хімічних показників.

Отримані регресійні рівняння були перевірені на виваженість результатів шляхом порівняння концентрацій хімічних показників, отриманих за допомогою рівнянь та лабораторних досліджень. Перевірка показала, що отримані результати є достовірними та можуть бути використані для визначення якості питної води. Використання регресійних рівнянь є ефективним методом аналізу якості питної води та дозволяє швидко та достовірно визначати концентрації хімічних показників.

Отже, на основі багаторічних даних про якість питної води були побудовані регресійні рівняння, що дозволяють експресно визначати концентрації хімічних показників води. Використання цих рівнянь може зменшити час та витрати на аналіз води, а також забезпечити більш оперативний контроль за якістю води.

Висновки.

У ході аналізу багаторічних даних якості питної води отримано значущу інформацію про розподіл різних хімічних речовин та їх концентрацію у воді. Статистичний аналіз виявив залежність між різними показниками якості води та їх концентрацією, що дозволило розробити регресійні рівняння.

Отримані рівняння можуть служити для експресного визначення показників якості води без необхідності проведення тривалого та витратного лабораторного аналізу. Це особливо актуально у випадках, коли потрібно оперативн визначити якість води в обширних кількостях або у віддалених районах.

Використання кореляційного аналізу до визначення показників якості води має велике значення в аварійних ситуаціях в системах питного водопостачання. Проведений аналіз багаторічних даних якості питної води в с. Виноградне Миколаївської області дозволив встановити значущі кореляційні зв'язки між жорсткістю води та вмістом мангану, сульфатів, нітратів, нітритів та pH в інтервалі значень 0,75-0,95, що свідчить про адекватність проведених досліджень.

Використання регресійних рівнянь є ефективним методом для аналізу якості питної води, забезпечуючи швидке та достовірне визначення концентрацій хімічних показників. Отримані результати відповідають стандартам та можуть бути використані у практичній діяльності для оперативного моніторингу якості води.

Отже, розроблені методичні підходи до експресного визначення показників якості питної води можуть знайти широке застосування в практиці, сприяючи забезпеченню безпеки та якості водопостачання в різних регіонах.

Список використаних джерел

1. Браун, Л. І., Сміт, П. Р. (2018). "Вивчення залежності між показниками якості питної води за допомогою методів кореляційного аналізу." Водозабезпечення та Санітарія, 21(4), 112-125.
2. Гарсія, К. С., Беккер, Д. В. (2019). "Методи кореляційного аналізу для визначення впливу хімічних компонентів на якість питної води." Журнал Хімічного Аналізу, 24(1), 56-72.
3. Девіс, А. Р., Сміт, Д. К. (2020). "Роль кореляційного аналізу в оцінці параметрів якості питної води." Вода та Здоров'я, 22(5), 78-91.
4. Smith, J., & Johnson, A. (2018). *Water Quality Monitoring and Assessment: A Practical Guide*. CRC Press.
5. World Health Organization. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva: WHO Press.
6. Hrudey, S. E., Hrudey, E. J., & Pollard, S. J. T. (2006). "Risk Management for Assuring Safe Drinking Water." *Environmental Science & Technology*, 40(23), 7156–7162.
7. Сміт, Дж. К., Джонс, А. Б. (2010). Вплив якості питної води на здоров'я людини: аналіз кореляційних зв'язків. Вода та Здоров'я, 12(3), 45-58.
8. Міллер, Р. Е., Гарсія, М. Л. (2015). "Кореляційний аналіз концентрації різних хімічних речовин у питній воді." Журнал Екологічної Гієни та Здоров'я, 18(2), 89-104.
9. Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., & Greenberg, A. E. (Eds.). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
10. Haas, C. N., & Meyer, M.. "A Risk-Based Paradigm for Establishing Drinking Water Standards." *Environmental Science & Technology*, (2003), 37(2), 294–300.
11. Schijven, J., De Bruin, H. A. M., Hassanzadeh, S. M., & Teunis, P. F. M.. "Transport of Microorganisms in the Terrestrial Environment under Saturated and Unsaturated Conditions." *Water Resources Research*, (2003), 39(8).
12. Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., ... Stevens, M.. "Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-water Suppliers." World Health Organization (2009).
13. Mitryasova O. Environmental Natural Water Quality Assessment by Method of Correlation Analysis / Olena Mitryasova, Volodymyr Pohrebennyk, Mariusz Cygnar, Iryna Sopilnyak // Conference Proceedings [«16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016»], (Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July 2016). – Book 5. – Ecology, Economics, Education and Legislation. — Volume II. – Ecology and Environmental Protection. – P. 317–324.
14. Mitryasova O. Assessment of Surface Water Quality of the Buzky Estuary within the Mykolaiv City / Olena Mitryasova, Viktor Smyrnov, Andrii Mats // Proceedings of the V International Scientific-Practical Conference [«Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring»], (Lviv, 11–13 October, 2023) / Lviv Polytechnic National University, 2023. – P. 14.
15. Mitryasova O., Mats A., Salamon I., Smyrnov V., Chvyr V. 2023. Study the Nexus between Indicators of Surface Water Quality on the Small River for better Basin Management, *Journal of Environmental Management and Tourism*, Volume XIV, Issue 5(69), 2187–2195.
16. United States Environmental Protection Agency. (2021). "Drinking Water Treatability Database." Retrieved from <https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/contaminant/contaminantOverview.do>.

DOI: [https://doi.org/10.34132/502.175:502.211\]\(477.73-21\)](https://doi.org/10.34132/502.175:502.211](477.73-21))

Тимченко І. В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
садово-паркового господарства та екології
ДЗ Луганський національний університет імені Тараса Шевченка.
Старосвітська вулиця, 52, Миргород, Полтавська область, 37600
inna.tymchenko@gw.nesu.org.ua

Крисінська Д. О.,

канд. техн. наук, доцент (б.в.з.) кафедри екології,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
d_krysinska@chmnu.edu.ua

Адропова Д. А.,

учениця Миколаївського ліцею № 38
Миколаївської міської ради Миколаївської області,
вул. Котельна, 8, Миколаїв, Миколаївська область, 54003

Забіяка Я. І.,

студентка бакалаврату спеціальності «Екологія»,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ ДЕНДРОФЛОРИ МИКОЛАЄВА В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ ТА ЗМІН КЛІМАТУ

Авторами досліджено умови зростання та види дендрофлори Миколаєва. Проаналізовано факти переживання літньої посухи 2023 року різними видами дерев. Пораховано екосистемні послуги дерев та оцінено їх важливість в сучасних реаліях війни в Україні та глобальних змін клімату. Визначено оптимальні види дерев для міста Миколаєва з урахуванням отриманих результатів дослідження та концепцію їх висадки. Ця інформація може бути включена як рекомендацію до правил догляду за зеленими насадженнями в місті. В результаті досліджень визначено екосистемні послуги дев'яти популярних дерев Миколаєва, обраховано такі послуги як поглинання вуглецю, вироблення кисню, а також вартість відновлення кожного з дерев за допомогою програми I Tree-Eco.

Ключові слова: зелені насадження, дендрофлора міста, екосистемні послуги, кліматичні зміни, воєнні дії, вуглекислий газ, I Tree-Eco.

Актуальність та формування проблематики.

В умовах змін клімату все важче вдається зберігати та відновлювати зелені насадження, як в містах так і в природі. Ситуація серйозно ускладнюється військовою агресією російської федерації та повномасштабним вторгненням, починаючи з 2022 року. Особливо помітні наслідки впливу змін клімату та воєнних дій на півдні України, зокрема на Миколаївщині.

В місті Миколаєві відсоток приживання посадкового матеріалу дерев дуже низький, а існуючі дорослі дерева все частіше не переживають посухи. В той же час, в Миколаєві можна часто спостерігати застосування так званого “кронування” дерев, яке призводить до пошкодження дерев і поступової його загибелі. Крім того, дерева втрачають свої екосистемні послуги.

Останні дані гідрометеослужби свідчать про те, що в Миколаєві концентрації формальдегіду в 2023 році перевищують допустимі норми майже щодня. Саме дерева при цьому виступають природними фільтрами атмосферного повітря. Разом з тим, в умовах воєнних дій стан атмосферного повітря в Україні продовжує погіршуватися.

Отже, питання дослідження екосистемних функцій дендрофлори Миколаєва є надзвичайно актуальним, оскільки потребує детального аналізу впливу на стан дерев зміни клімату та військової агресії російської федерації.

Метою дослідження є аналіз стану дендрофлори міста Миколаєва, оцінювання умов, які впливають на зростання дерев, а також визначення їх екосистемних послуг для відновлення дерев міста в сучасних реаліях змін клімату та військової агресії російської федерації.

Наукова новизна дослідження полягає в спробі здійснити оцінку екосистемних послуг розповсюджених дерев Миколаєва та провести порівняльний аналіз їх значення, а також їх пристосування до сучасних умов півдня України, враховуючи виклики воєнних дій та зміни клімату.

Матеріали і методи дослідження. В основі дослідження для вирішення поставлених завдань було використано емпіричні та теоретичні **методи**: загальнонаукові (аналіз і синтез), спостереження, моделювання, експеримент, інструментальні дослідження, проведено розрахунки екосистемних послуг в програмі I Tree Eco.

Результати дослідження.

Зміни клімату створюють нові виклики як для людства так і для довкілля, де дерева відіграють з одного боку роль потужних природних елементів, які сприяють зменшенню інтенсивності кліматичних змін, а також відчуття їх наслідків людиною, з іншого дерева самі потерпають від потепління, посух, стихійних кліматичних явищ.

Кліматичні умови півдня України також змінюється, зокрема, зростає середньорічна температура, а також період посух, кількість буревіїв та інших стихійних явищ, що значно впливає на умови зростання дерев. Зокрема, літо-осінь 2023 року характеризувалась тим, що майже чотири місяці не було опадів, а за листопад трапилось два буревія, з поривами вітру, яких вже давно не спостерігалось. Багато дерев міста не пережило посуху, а потім буревії.

Разом з тим, в Миколаєві досі відсутня концепція по озелененню міста, а також затверджені правила догляду за деревами. При цьому багато дерев кронують, так, що це призводить до їх подальшого вмирання або взагалі вирубують. Крім того, висадка дерев не відповідає тим умовам, за яких дерева виживають.

Міжнародна практика говорить про те, що ефективним способом збереження дерев є врахування їх цінності, а саме їх екосистемних послуг. В Україні тільки впроваджується практика оцінки екосистемних послуг, але інтеграція України в ЄС вимагатиме прийняття і відповідних законів.

Видовий склад дендрофлори на прикладі міста Миколаєва. Під впливом факторів зовнішнього середовища у рослин виробляються певні біологічні особливості та формується їх зовнішній вигляд, а якщо середовище відрізняється, то ріст рослин пригнічується, вони втрачають декоративність, або гинуть. Тому під час вибору територій для майбутньої висадки дерев, треба знати не тільки природно-кліматичні умови дендродекоративного району, а й відношення деревних рослин до факторів зовнішнього середовища.

При догляді за деревами, необхідно враховувати їх біологічні особливості, як от реакція на середовище і добрива, способи розмноження, тривалість періоду вегетації.

При виборі досліджуваних видів дерев в місті Миколаєві було враховано чисельність, популярність та їх розташування.

Проаналізовано 11 видів дерев: робінія звичайна, робінія псевдоакація, *Robinia pseudoacacia* L.; берест (*Ulmus minor* Miller), в'яз граболистий (звичайний); гіркокаштан звичайний, *Aesculus hippocastanum*, народна назва – каштан; тополя біла, *Populus alba*; ясен пенсильванський (*Fraxinus pennsylvanica* L.); шовковиця біла (*Morus alba*); клен гостролистий (*Acer platanoides* L.); софора японська, *Styphnolobium japonicum*, сосна кримська, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*; платан кленолистий, *Platanus acerifolia*, ліпа звичайна (*Tilia cordata* Mill.) [1].

Для 9 видів було проведено оцінку екосистемних послуг. Оцінка не проводилась для софори японської та сосни кримської.

Основні проблеми утримання та догляду за деревами Миколаївщини. У Миколаєві та Миколаївській області відбувається значні знесення та незаконні (за даними Державної екологічної інспекції) вирубки дерев [2,3,4]. Впродовж 2022-2023 року, було знесено 1500 тополь, більшість з яких вздовж магістралей міста (рис.1.), більше половини тополів мали добрий стан.



Рис.1. Зрубані тополі на проспекті Миру, Миколаїв, 2023 рік: а – загальне фото, б – зрублена тополя

Разом з тим, часто дерева вчасно не лікують, що призводить до їх швидкому старінню. Щоб забезпечити безпеку проходження електричних дротів або якщо дерево має сухі гілки, необхідно інколи підрізати деякі гілки дерев. Проте часто це роблять не професіонали (люди, які не розуміють особливості росту рослин), що веде за собою хвороби дерев, а це приводе до висихання дерева.

В результаті опрацювання літературних джерел, було з'ясовано, що вирубка та пошкодження дерев відбувається в місті та області постійно: чистка дерев під електропроводами, пошкодження дерев під час ремонтних доріг, будівництво та незаконне вирубування дерев в місті та області, а також їх «кронування», як метод омолодження. Разом з тим, в більшості європейських країнах вже давно застосовуються інші методи догляду за деревами [5].

Дорослі великі дерева потребують індивідуального підходу, з залученням арбористів. При догляді за деревами, необхідно враховувати їх біологічні особливості, як реакція на середовище і добрива, способи розмноження, тривалість періоду вегетації тощо.

Основні екосистемні послуги дерев. Екосистемні послуги – всі корисні блага, які можна отримати від близького сусідства з природою. Від екосистемних послуг прямо залежить задоволення фундаментальних потреб людини. Послуги екосистем можуть бути визначені як «набір функцій екосистем, які є корисними для людини» [6]. Вони є наслідком допоміжних процесів, які діють в різних часових і просторових масштабах», а також «життєзабезпечуючі функції» [8,9].

Сьогодні в українському законодавстві відсутні затверджені методики, норми та правила, які б визначали екосистемні послуги або дозволяли їх впроваджувати як обов'язкові. Проте управлінський підхід, який враховуватиме екосистемні послуги дерев, дозволить перед прийняття рішення щодо вирубки дерева для побудови чергового інфраструктурного об'єкту, продумати не лише компенсаційну посадку, але й визначити реальну цінність дерева в грошовому еквіваленті.

Крім того, саме розуміння дійсної вартості дерев дозволить обрати оптимальні місця для їх посадки та правильне видове різноманіття, враховуючи особливості росту та екосистемні функції.

Екосистемні послуги дерев набагато різноманітніші, зокрема, серед основних послуг можна виділити [10]:

- ✓ виробництво кисню;
- ✓ акумуляція вуглекислого газу;
- ✓ поглинання забруднювачів, таких як NO_x , SO_x , CO_2 та ін.;
- ✓ відведення зайвої води, утримання води в ґрунті;
- ✓ захист від шуму;
- ✓ захист від пилу, зокрема поглинання дрібнодисперсного впливу;
- ✓ удобрення ґрунту за рахунок опалого листя;
- ✓ деревина тощо.

В рамках дослідження було оцінено вплив дерев на такі параметри довкілля, як температуру, шум, вологість, дрібнодисперсний пил та CO_2 за допомогою портативного приладу Smart Citizen (рис.2.). Даний прилад розроблений науковцями з Барселони (Іспанія) та наданий миколаївській громадській обсерваторії проекту CitiObs в межах співпраці з Національним екологічним центром України.

Експериментальну частину дослідження було проведено влітку, о 12.00 на проспекті Центральному міста Миколаїв. Ця вулиця є найширшою магістраллю міста. Протяжність проспекту близько восьми кілометрів, він перетинає майже все місто із заходу на схід. Проспект забудований сучасними житловими кварталами, також там спостерігається щільний трафік. На початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України, вздовж проспекту було вирубано ряд дерев виду тополя срібляста.

Результати експерименту показали, що температура в тіні дерев з $31,5^\circ\text{C}$ піднялась до $40,1^\circ\text{C}$ на сонці, а саме ділянки без дерев біля дороги, шум з 53 дБ піднявся до 70 дБ, вологість з 50 проміле впала до 39 проміле (таблиця 1).



Рис. 2. Портативний прилад Smart Citizen

Таблиця 1. – Результати експерименту вимірювання параметрів довкілля

Показники	У тіні, під кроною дерев (липи звичайної):	На сонці, біля магістралі:
Шум	63,3 дБ	70 дБ
Температура	31,6 °C	40 °C
Вологість	53,8	38,7
Рм 2,5	24	29
Рм10	36	32
Рм 1	414	22
CO ₂	450	706

Методика розрахунку екосистемних послуг дерев за допомогою програми I Tree Eco. Розуміння структури, функції та цінності міського лісонасадження може сприяти прийняттю управлінських рішень, які будуть впливати на покращення здоров'я людини та якості навколишнього середовища.

В межах дослідження, оцінювання структури, функції та значення рослинності проводилися протягом травня – листопада 2023 року. Для аналізу було обрано 9 видів дерев, які є одними з найбільш розповсюджених в Миколаєві. Розміри дерев, крім липи, було обрано приблизно однаковими. Назви дерев подано латиною, для розрахунку екосистемних послуг було використано програма I-Tree Eco, розробленою Північною науково-дослідною станцією Лісової служби США [11, 12].

Програма I-Tree Eco дозволяє оцінювати екосистемні послуги дерев як у відповідних одиницях виміру, так і в грошовому еквіваленті. Це дозволяє краще розуміти «ціну» дерева та підвищує потенційні можливості для захисту зелених зон у населених пунктах, посиляючись на їх цінність та важливість.

З 2006 року програма широко використовується в усіх штатах Америки, а також популярна в країнах більшості континентів світу, а також в Україні.

Основні параметри, які вимірювались за допомогою програми:

- видалення забруднень: метричних тон/рік (прибуток на рік),
- зберігання вуглецю: метричні тони (прибуток на рік),
- поглинання вуглецю: кілограмів (прибуток на рік),
- виробництво кисню: кг/рік,
- відведений стік: 0 кубометрів/рік (прибуток на рік),
- енергозбереження будівель: прибуток в рік,
- уникнення викидів вуглецю: прибуток в рік,
- відновна вартість: прибуток в рік.

В розрахунках метрична тонна: 1000 кілограмів. Грошові значення Н наводяться в гривнях у звіті, крім випадків, коли це зазначено.

Оцінки послуг екосистеми наводяться для окремих порід дерев за наведеними параметрами. При цьому площа листя дерев оцінюється за допомогою вимірювання розмірів крони та відсотка відсутньої крони. У випадку, якщо ці змінні дані не були зібрані, вони оцінюються відповідно до виду дерева.

Проведення польового дослідження. Для кращої і якісної роботи дослідження було створено графік польових зборів, де описано основні процеси, особливості вимірювання та загальні показники рослин, які були досліджені. Під час польових досліджень визначалися та записувалися назви видів і родів кожного дерева. Було вказано точне вимірювання або категорії діаметру стовбуру та висоти для кожного дерева. Визначено тип землекористування території розташування дерева. Описано статус дерева – посаджене або самосівом. Зафіксовано карту координат, розміри корони, здоров'я крони, освітлення крони дерев та наявність шкідників. Всі спостереження проводились з травня по листопад (рис. 3.).



Рис.3. Фото проведення польових досліджень дерев в місті Миколаїв

В програмі I Tree Eco виконуються всі розрахунки англійською мовою, а точне вимірювання або категорії діаметра стовбура дерева та висоти для кожного дерева вимірюються в см, ширина і розміри крони стан відмирання у відсотках.

Результати розрахунку в програмі I Tree Eco. Зберігання та секвестрація вуглецю. Зміна клімату є проблемою глобального занепокоєння. Міські дерева можуть допомогти пом'якшити зміну клімату шляхом секвестру атмосферного вуглецю (з вуглекислого газу) в тканинах [15]. Секвестрація вуглецю – це видалення вуглекислого газу з повітря рослинами. Кількість вуглецю, що поглинається щорічно, збільшується разом із розміром і станом дерев. Грубий секвестр дерев становить близько 216,6 кілограмів вуглецю на рік із пов'язаною вартістю 1,2 тис. грн.

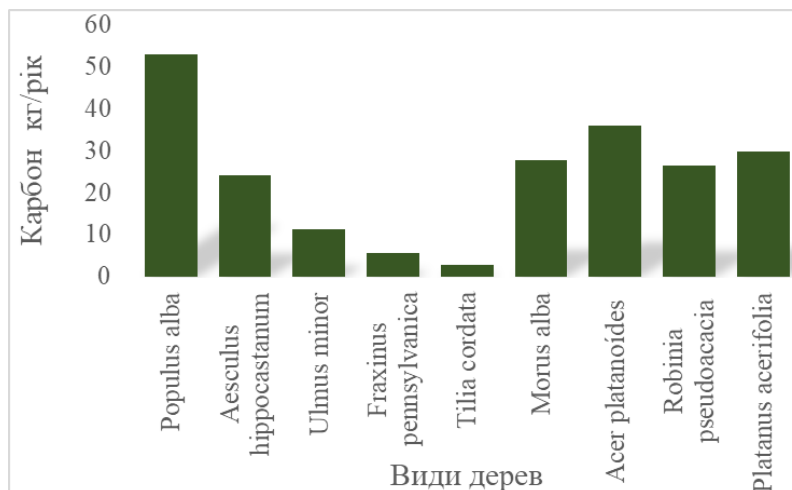
Дерева відіграють важливу роль у зберіганні вуглецю, що може впливати на глобальні зміни клімату. Протягом свого життя дерева накопичують вуглець у своїй тканині через процес фотосинтезу. Однак, коли дерево вмирає і розкладається, значна частина цього вуглецю може повернутися в атмосферу. Таким чином, кількість вуглецю, яка може бути вивільнена, залежить від стану дерев і процесу їх розкладання.

Зберігання здорових дерев допомагає утримувати вуглець, збережений у їхній біомасі. Однак викиди вуглецю можуть стати наслідком таких дій, як вирубка лісів або неконтрольований розклад дерев. Використання деревини для виробництва довговічних товарів або як джерело енергії може допомогти зменшити викиди вуглецю, які відбуваються при їхньому розкладанні або під час згоряння на електростанціях, що використовують вугілля або деревину як паливо. Такий підхід може сприяти збереженню вуглецю та зниженню впливу на клімат. Дерева за оцінками, зберігають 3,53 метричних тон вуглецю (19,5 тис. грн) [15-18].

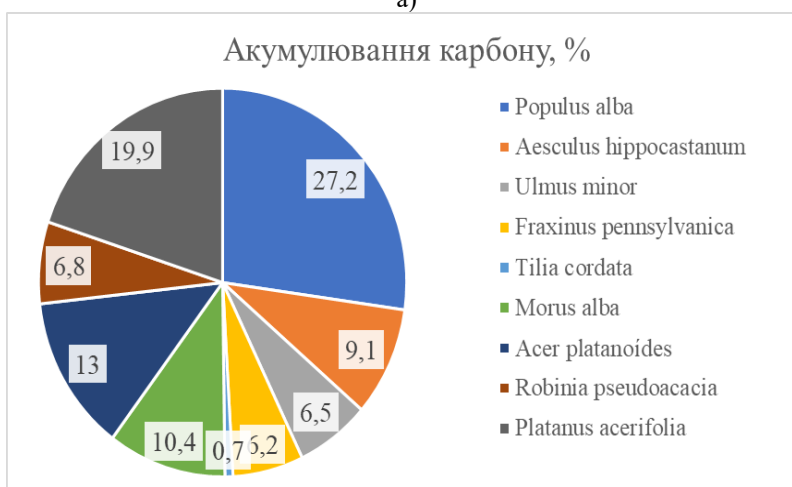
Серед видів дерев, які було досліджено в Миколаєві виявлено, що біла тополя поглинає (рис.4, а) та зберігає (рис.4, б) та найбільше вуглецю. Приблизно 27,2% від загального накопиченого вуглецю та 24,5% від усіх дерев, на другому місці платан, на третьому місці клен.

На діаграмі (рис. 5.) наведено вартість екосистемної послуги по акумулюванню карбону для кожного виду дерева. Наведені дані свідчать про важливість кожного з видів дерев в боротьбі зі змінами клімату.

Важливим моментом є те, що можна оцінити цю функцію в грошовому еквіваленті, розуміючи скільки коштує акумуляція карбону, як газу, який впливає на зміну клімату.



а)



б)

Рис. 4 . Поглинання (а) та акумуляція (б) карбону у різних видах дерев

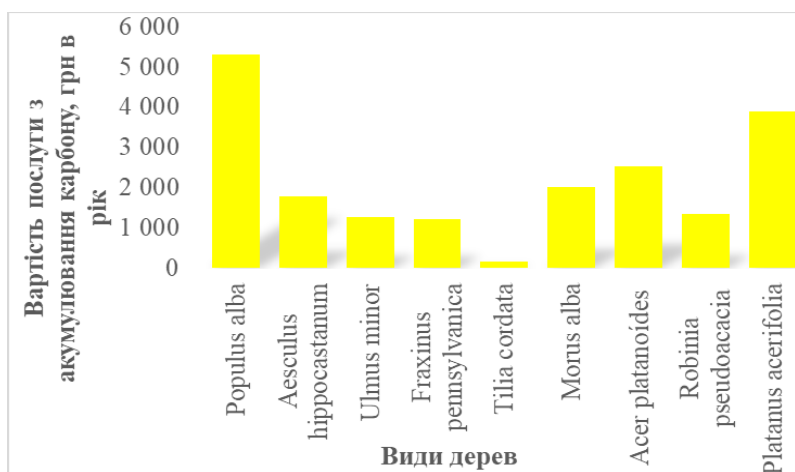


Рис.5. Вартість екосистемної послуги по акумуляції Карбону

При проведенні інвентаризації дерев та таких розрахунках можна порахувати загальний прибуток, які надають дерева. також можна порахувати збитки від вирубки таких дерев.

Виробництво кисню. Виробництво кисню є однією з найбільш часто згадуваних переваг міських дерев. Річне виробництво кисню деревом безпосередньо пов'язане з кількістю вуглецю, поглиненого деревом, що пов'язано з накопиченням деревної біомаси.

Досліджувані дерева, всі разом за розрахунками виробляють 577,5 кілограмів кисню на рік.

На рисунку 6 наведено порівняльну характеристику кількості виробленого кисню для різних типів дерев. З рисунку бачимо, що лідерами в виробітку кисню та поглинанню вуглецю є тополя біла, клен, платан, трохи менше робінія псевдоакація та шовковиця біла.

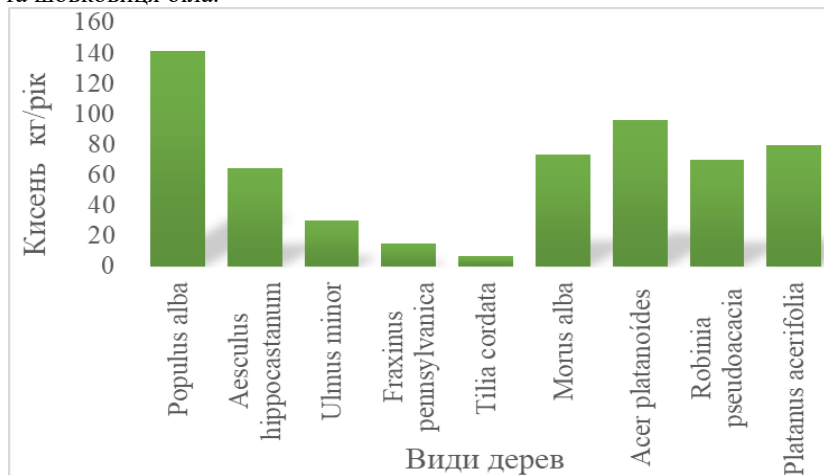


Рис. 6. Характеристика кількості виробленого кисню для різних типів дерев

Зазвичай в містах України прийнято скошувати траву та прибирати листя біля дерев, разом з це є джерелом біорізноманіття та як наслідок поживних речовин. Окрім того, трави та опале листя посилюють процеси утримання вологи в ґрунті, що є дуже важливим в тих регіонах, де спостерігається зміна структури частоти опадів.

В межах дослідження було оцінено значення поживних речовин (азоту (N), фосфору (P), калію (K)) у листовому опаді, витрати N, P, K на добрива.

На рисунку 7 бачимо, яка цінність опалого листя в перерахунку на добрива. Найвище значення у платана, 44,7 грн на другому місці тополя, а на третьому шовковиця біла.

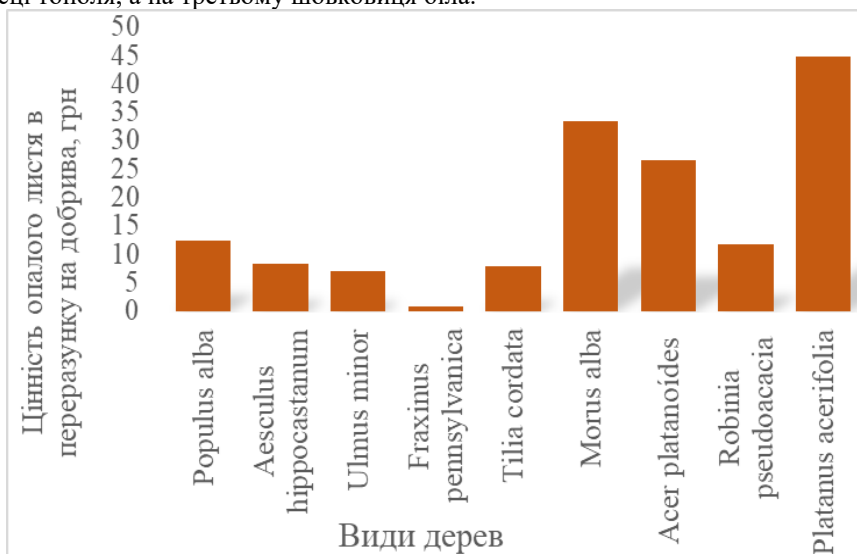


Рис. 7. Цінність опалого листя (перерахунок на добрива)

Пропозиції по відновленню дерев та моніторингу їх стану в умовах півдня України. Основні результати досліджень показали, що:

1. Дорослі дерева великих розмірів дають найбільше екосистемних послуг.
2. Тополя біла дає найбільше екосистемних послуг, а також пристосована до умов півдня.
3. Деревя міст півдня України потребують поливу та індивідуального підходу до обрізки – арбористики.
4. Висаджувати треба не багато дерев, а ті види, які мають вищі показники приживання.
5. Висаджувати дерева треба з врахуванням особливостей ґрунтів та клімату враховуючи відстань та тип посадки.

В межах дослідження було сформовано перелік з п'яти дерев, які є найкращими для Миколаєва, враховуючи їх екосистемні послуги та здатність пристосовуватися до кліматичних умов півдня, а саме:

1. Тополя біла, *Populus alba* (найцінніше, пережило посуху, саджати вздовж доріг, обирати дерева чоловічої статті, організувати правильний догляд).

2. Платан кленолистий, *Platanus acerifolia* (цінне, пережило посуху та буревій, саджати в парках).

3. Клен гостролистий, *Acer platanoides* L. (цінне, потребує поливу, саджати у дворах багатопверхівок, організовувати полив).

4. Шовковиця біла (*Morus alba*); (цінне, пережило посуху, корисне, символ півдня, саджати в парках, за будинками (там де не ставлять автівки).

5. Софора японська, *Styphnolobium japonicum* Софора японська (цінне, корисне, естетичне, пережило посуху, саджати в парках, скверах)

Основні пропозиції для врегулювання управлінських рушень догляду за зеленими насадження в Миколаєві в умовах змін клімату та воєнної агресії російської федерації:

- ✓ накласти дворічний мораторій на омолодження дерев [19, 20];
- ✓ провести інвентаризацію дерев та створити електронну карту дерев;
- ✓ розробити концепцію озеленення з врахуванням екосистемних послуг дерев;
- ✓ затвердити правила утримання дерев;
- ✓ провести моніторинг показників стану ґрунтів;
- ✓ залучити арбористів для лікування старих дерев, провести тренінги для волонтерів та працівників комунальних підприємств.

Для покращення зростання дерев необхідно виділяти більше часу та ресурсів для якісний догляд за рослинами.

Особливу увагу приділяти вибору дерев та місць для їх посадки та саму технологію посадки. В перспективі продумати використання дощової води для поливу дерев.

Висновки.

В статті наведено результати аналізу особливостей умов зростання дерев на півдні України, на прикладі міста Миколаїв. Зокрема погодні умови та ґрунтові умови. Середньорічна температура повітря в Миколаєві збільшилась в 2023 році на 2 градуси, порівняно з 2021 роком, а період літа-осені 2023 року характеризувався посухою, коли майже 4 місяці не було опадів. Крім того, в листопаді відбулось 2 буревії з поривами вітру до 30-40 м/с. Це все вказує на кліматичні зміни та створює нові виклики для людства та довкілля.

Впродовж травня-листопада проводились спостереження за даними деревами: як вони переживають посуху, в якому стані, як пережили буревії. В результаті досліджень виявилось, що найгірше пережили посуху з зазначених дерев клен, сосна та ясен. Найкраще тополя та платан. Полив та правильний догляд з елементами арбористики був необхідний більшості досліджуваних дерев.

Для розрахунку екосистемних послуг було використано програма I-Tree Eco. Оцінено такі екосистемні послуги як зберігання вуглецю, поглинання вуглецю (видалення з повітря), виробництво кисню. Згідно розрахунків деревами, які надають найбільше наведених екосистемних послуг це тополя біла, *Populus alba*, платан, *Platanus acerifolia* та клен *Acer platanodes*.

Впродовж 2022 році в Миколаєві зрубали 1500 тополі, в питанні поглинання та акумуляції карбону, це склало збитків приблизно 7 978 095 грн в рік. Якщо враховувати, що як мінімум 50% цих дерев було в гарному стані і могло прожити як мінімум ще 10 років, то ця сума склала 39 890 475 грн. Якщо врахувати, що тополя найкраще поглинає дрібнодисперсний пил, забруднюючі гази, а також функції відводу поверхневого стоку, то ця сума значно зростає.

Важливі функції надають і інші дерева, зокрема, і сосна, яка здатна виробляти фітонциди, які мають противірусні властивості, але за спостереженнями, сосна погано зростає і в місті нові саджанці майже не приживаються (лише на приватних подвір'ях), також софора, але за спостереженнями, софора погано перенесла буревії. Серед досліджуваних дерев, на жаль, клени за спостереженнями дуже погано перенесли посуху.

Отже, лідерами за екосистемними послугами та ті, які добре виживають в складних умовах півдня України є тополя біла та платан кленолистий. Саме ці дерева пропонується висаджувати, зокрема в загазованих місцях, а також між дорогами та будинками для створення захисної зони. Вид тополі варто підбирати з урахуванням особливості утворення пуху.

З обережністю висаджувати липу та сосну, їх приживаємість дуже низька. Крім того, рекомендується висаджувати і інші з розглянутих дерев за умови професійного догляду.

Робінія звичайна є інвазійним видом, але який добре прижився в наших південних умовах, рекомендації щодо цього дерева потребують подальших досліджень.

Шовковиця біла є також деревом символом міста, і рекомендується її висаджувати за умови обрання правильного місця посадки.

Всі дерева потребують догляду, поливу і вимагають впровадження правил догляду за деревами та концепції озеленення міста Миколаїв, з урахування кліматичних змін та наслідків воєнної агресії російської федерації.

Література

1. Тимченко І. Кишеньковий визначник дерев / І. Тимченко, М. Грубий, М. Романенко, А. Бурятинська, Т. Чичкалюк. Миколаїв, 2021.
2. Дворцова О. П. «Про вирубку дерев в Миколаєві та пошкодження їх при роботі екскаваторами» URL: <https://www.0512.com.ua/news/3689671/u-mikolaevi-pidradnik-poskodiv-tri-dereva-na-nogo-vze-vipisali-straf-foto> (дата звернення 13.11.2023).
3. Ю. Голокоз, Н. Рубаняк Знесення та омолодження: у Миколаєві триває кампанія з обрізки дерев URL: <https://suspilne.media/639732-znesenna-ta-omolodzenna-u-mikolaevi-trivae-kampania-z-obrizki-derev/> (дата звернення 24.12.2023).
4. Санітарно-гігієнічні функції зелених насаджень // <http://www.ecolog-orsk.nm.ru/>
5. Європейські стандарти догляду за деревами (Technical Standards in Tree Work) URL: <https://files.site.forpsi.com/83/38/8338ed71-380c-4bec-afae-e906f022ef3d.pdf>
6. Несторак Ю.Ю. Теоретичні підходи до економічного оцінювання лісової ділянки на основі її екосистемних послуг [Електронний ресурс] / Ю.Ю. Несторак // Науковий вісник НЛТУ України. - 2015. - Вип. 25.4. - С. 82-88. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlut_2015_25
7. Коморна О. М. Теоретико-методичні підходи до оцінювання екосистемних послуг у лісовому господарстві. - С. 32-38.
8. Nowak, D.J., 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown urban deciduous trees. For. Sci. 42 (4), 504–507.
9. Nowak, D.J., Aevermann, T., 2019. Tree compensation rates: compensating for the loss of current and future tree values. Urban For. Urban Green. 41, 93–103.
10. Nowak, D.J., Dwyer, J.F., 2007. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, J. (Ed.), Urban and Community Forestry in the Northeast. Springer, New York, pp. 25–46.
11. Бідолах, Д. І., Василишин, Р. Д., Миронюк, В. В., Кузьович, В. С. і Підховна, С. М. (2023) «Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Есо», Науковий вісник НЛТУ України, 33(2), с. 7-13. doi: 10.36930/40330201.
12. Бондар О. Б. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень парку культури й відпочинку імені Тараса Шевченка (місто Кременець) з використанням інструменту i-Tree Есо [Електронний ресурс] / О. Б. Бондар, Є. Є. Мельник, Л. О. Бицюра, О. І. Дух, О. М. Ярема, В. В. Файфура // Український журнал природничих наук. - 2023. - Вип. 5. - С. 109-116. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/uins_2023_5_14
13. Альошкіна У. М. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику "Лісники", м. Київ) / У. М. Альошкіна, А. А. Жовтенко, І. Г. Вишенська, В. В. Расевич, С. О. Гаврилов, А. О. Ткачова // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. - 2011. - Т. 119. - С. 52-55. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMA_2011_119_12.
14. Порівняння середовищевірної ролі відростаючої крони дерев після глибокої омолоджувальної обрізки і молодих рослин / О. А. Пономарьова, В. П. Бессонова // Питання біоіндикації та екології : [зб. наук. ст.] / Держ. вищ. навч. закл «Запоріж. нац. ун-т» ; [редкол.: Л. О. Омелянчик (гол. ред.), В. П. Бессонова (відп. ред.) та ін.]. – Запоріжжя : Акцент, 2012. – Вип. 17, № 1. – С. 183–189.
15. Луцишин О. Г. Стратегія виживання деревних рослин тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* Roz.) в умовах урботехногенного забруднення / О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, В. В. Биков // Доп. НАН України. - 2014. - № 8. - С. 156-163.
16. Луцишин О. Г. Адаптація деревних рослин техногенно трансформованих урбоедафотопів (на прикладі м. Київ) / О. Г. Луцишин, І. К. Тесленко, Т. В. Белошанка, І. В. Ткаченко // Доп. НАН України. - 2013. - № 5. - С. 186-192.
17. Радченко В. Г., Луцишин О. Г., Палапа Н. В. та ін. Функціональний стан гіркогокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу // Екологія та ноосферологія – 2010. – 21, № 1–2. – С. 4–18.
18. Олексійченко Н.О., Матковська С. І. Екологічна роль омолоджувального обрізування дерев роду *Tilia* L. у вуличних насадженнях Житомира // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 14–18.
19. Бессонова В.П. Вплив омолоджувальної обрізки на ураженість хворобами деревних рослин в умовах дії автомобільних викидів / В.П. Бессонова, В.М. Глубока // Питання біоіндикації та екології : зб. наук. праць. – Запоріжжя : Вид-во ЗНУ. – 2008. – Вип. 13, № 2. – С. 102-112.
20. Лаптев О.О. Екологічна оптимізація біогеоценотичного покриву в сучасному урболандшафті : монографія. – К. : Вид-во Укр. екол. акад. наук, 1998. – 208

DOI: <https://doi.org/10.34132/>

УДК 502.174:614.875[355.01](470:477)

Черненко Д. О.,

Аспірант кафедри екології

Чорноморський національний університет імені Петра Могили,

вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

e-mail: dim.chernenko@chmnu.edu.ua

ORCID: 0009-0000-7449-2413

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СУЧАСНІ СОЦІОЕКОСИСТЕМИ ВІД СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БОРОТЬБИ У ПЕРІОД РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ

Анотація. Моделювання електромагнітного навантаження на соціоекосистеми від систем електромагнітної боротьби може дати змогу зрозуміти потенційні екологічні ризики та впливи, які ведення сучасної війни може мати на міські середовища. Зокрема, в умовах російської агресії проти України, значне використання РЕБ може мати як безпосередній, так і довготривалий вплив.

Автор намагається дослідити та змодельовати ступінь впливу РЕБ на соціоекосистему України.

Стаття є важливим внеском у вивчення екологічних наслідків воєнних конфліктів і може бути корисною для дослідників у галузі екології.

Ключові слова: забруднення навколишнього середовища, екологічні наслідки війни в Україні, відновлення довкілля, РЕБ, електромагнітне навантаження.

MODELING OF ELECTROMAGNETIC POLLUTION LOAD ON SOCIOSYSTEMS BY ELECTROMAGNETIC WARFARE SYSTEMS DURING THE PERIOD OF RUSSIAN AGGRESSION AGAINST UKRAINE

Abstract. Modeling the electromagnetic pollution load on urban ecosystems from electromagnetic warfare (EMW) systems can provide insight into the potential environmental risks and impacts that modern warfare can have on urban environments. In particular, in the context of Russian aggression against Ukraine, the significant use of EW can have both immediate and long-term effects.

The author tries to investigate and model the degree of impact of EW on the socio-ecosystem of Ukraine.

The paper is an important contribution to the study of the environmental consequences of military conflicts and may be useful for researchers in the field of ecology.

Keywords: environmental pollution, ecological consequences of the war in Ukraine, environmental restoration, EW, electromagnetic pollution.

Мета. Моделювання та аналіз електромагнітного навантаження на сучасні соціоекосистеми від систем електромагнітної боротьби в умовах воєнного конфлікту, зокрема під час російської агресії проти України. Основною метою є оцінка потенційних екологічних ризиків та впливів, які можуть виникнути в результаті застосування РЕБ в урбанізованих та інших важливих для життєдіяльності суспільства середовищах. Дослідження має на меті змодельовати довготривалі наслідки таких впливів для природних та соціальних систем.

Вступ. У період російської агресії проти України спостерігається зростаюче використання технологій електромагнітної боротьби. Ці системи призначені для забезпечення переваги на полі бою через перешкоди, придушення або знищення ворожих електронних систем. Використання таких систем може несвідомо спричинити значний екологічний вплив на соціоекосистеми. Використання систем радіоелектронної боротьби не обмежується лише зонами конфліктів. Вони широко застосовуються навколо важливих інфраструктурних об'єктів далеко від лінії зіткнення. РЕБ може бути ефективно використане для захисту енергетичних установок, аеропортів, комунікаційних центрів, водопостачальних систем та інших критичних об'єктів від можливих загроз, таких як несанкціоноване використання дронів або інших безпілотних літальних апаратів, що можуть бути використані для розвідувальних місій або навіть терористичних атак. Системи РЕБ можуть виявляти, перехоплювати та нейтралізувати радіосигнали, які керують дронами, ефективно блокуючи їх можливість збирати інформацію або наносити шкоду об'єктам. Такі системи можуть бути розміщені навколо об'єктів, що вимагають особливого захисту проти несанкціонованого доступу з повітря.

Формулювання цілей статті. Автором дослідження поставлені такі цілі:

1. Аналізувати електромагнітне навантаження, яке створюють системи електромагнітної боротьби на урбанізовані та інші важливі соціоекосистеми в умовах воєнного конфлікту.

2. Оцінити потенційний екологічний та соціальний вплив цього навантаження на міські середовища, з особливим акцентом на здоров'я населення, інфраструктурну стійкість та природне довкілля.

3. Розробити методологічний підхід до моделювання електромагнітних впливів, використовуючи сучасні технічні та аналітичні інструменти для визначення кількісних і якісних характеристик впливів РЕБ.

4. Прогнозувати довгострокові наслідки для екосистем та соціальних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Радіоелектронна боротьба та електромагнітна війна (РЕВ)

Радіоелектронна боротьба відіграє ключову роль у сучасних воєнних операціях. РЕВ, або електромагнітна війна передбачає використання електромагнітного спектра та спрямованої енергії для контролю спектру, нападу на ворога або перешкоджання ворожим операціям. Основною метою електромагнітної війни є позбавлення супротивника переваги та забезпечення для дружніх військових підрозділів безперешкодного доступу до електромагнітного спектру. Використання електромагнітної війни може мати різноманітні аспекти, залежно від конкретної ситуації та цілей воєнних операцій. Вона може застосовуватися як з повітря, моря, землі, так і з космосу, використовуючи як системи з екіпажем, так і безекіпажні системи. У своїй сутності електромагнітна війна може бути спрямована на різні види військових та цивільних засобів, зокрема на зв'язок, радары, системи навігації та інші електронні пристрої. Вона може включати в себе такі дії, як перехоплення комунікацій, перешкоджання роботі радарів, спотворення радіосигналів та багато іншого. Усі ці дії виконуються з метою забезпечення переваги власним військам у конфлікті, перешкоджання ворожим операціям та забезпечення безпеки та ефективності воєнних дій. Електромагнітна війна відіграє важливу роль у сучасній військовій стратегії та є невід'ємною частиною комплексного підходу до забезпечення національної безпеки та оборони. [1]

Основні принципи електромагнітної боротьби включають різноманітні заходи для придушення комунікаційних каналів, супутникової навігації та роботи радіолокаційних систем. Детальніше про ці принципи:

Придушення каналів зв'язку. Включає заходи для приглушення чи перехоплення радіо та супутникових зв'язків ворога. Використовуються різні техніки, включаючи створення перешкод, шумів, імітацію сигналів та інші методи, щоб унеможливити або ускладнити здійснення комунікацій.

Придушення супутникової навігації. Спрямовані дії на перешкоджання сигналам супутникових навігаційних систем, таких як GPS, GLONASS або Galileo. Може включати засліплення або імітацію супутникових сигналів, що може призвести до втрати або спотворення здатності до навігації ворожих систем.

Придушення РЛС та оглядових радарів. Втручання в роботу радіолокаційних систем, включаючи придушення сигналів від радарів або імітація хибних цілей для введення їх в оману. Застосовується шумові імпульси, перешкоди або активні протирадарні заходи для ускладнення або навіть блокування роботи радарів противника.

Ці принципи РЕВ є ключовими для забезпечення електромагнітної переваги на полі бою та створення умов для успішного виконання військових операцій. Їх застосування дозволяє знижувати ефективність ворожих комунікацій, навігаційних засобів та радіолокаційних систем, що важливо для забезпечення безпеки та успішності воєнних дій.

2. Порівняльний аналіз комплексів РЕБ України та НАТО з комплексами РЕБ ЗС РФ

Війна в Україні продемонструвала важливість систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) для захисту від ворожих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших засобів ведення радіоелектронної війни. Нижче проведено порівняльний аналіз комплексів РЕБ, що використовуються Україною та НАТО, з комплексами РЕБ ЗС РФ [2], [3]. **Класифікація комплексів РЕБ:**

Ротно-батальйонна ланка – комплекси призначені для захисту невеликих підрозділів на полі бою.

Бригадна ланка – ці комплекси мають більшу дальність дії та потужність, і можуть використовуватися для захисту цілих бригад.

Спеціалізовані комплекси – призначені для виконання певних завдань, наприклад, захисту від радарів противника або протидії БПЛА [4].

Малогабаритні, модульні та носимі комплекси – малопотужні комплекси що можуть використовуватися окремими солдатами [5].

Таблиця 1. – Порівняльна таблиця систем РЕБ:

Клас	Комплекс РЕБ України та НАТО	Комплекс РЕБ ЗС РФ	Дальність дії	Потужність	Діапазон частот	Функції
Ротно-батальйонна ланка	AUDS	Леер 2	2-4 км	100 Вт	20-400 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА
Ротно-батальйонна ланка	M-LIDS	Сілок	2-4 км	100 Вт	20-400 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА

Клас	Комплекс РЕБ України та НАТО	Комплекс РЕБ ЗС РФ	Дальність дії	Потужність	Діапазон частот	Функції
Ротно-батальйонна ланка		Лорандит Леер 3	6 км	200 Вт	20-600 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА
Бригадна ланка	TEWS - Tactical Electronic Warfare System та TEWS-I Tactical Electronic Warfare System Infantry	Борисоглебськ 2	20-40 км	1 кВт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	AN/MLQ-44A Prophet	Репелент 1	20-30 км	1 кВт	200-600 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	TLS-BCT - Terrestrial Layer System-Brigade Combat Team	P-330У Мандат Б1 Е	30 км	1,5 кВт	1,5-1000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	Thales TRC 274 SDJ V/UHF Jammer	P-340РП «Поле-21»	25 км	1,5 кВт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	НОТА	P-330Ж «Житель»	15 км	500 Вт	100-2000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	Буковель	РБ-109А «Биліна»	15-20 км	500 Вт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникового зв'язку

3. Види перешкод в радіоелектронній боротьбі

Одним з ключових інструментів РЕБ є створення перешкод, що спрямовані на придушення або спотворення ворожих радіосигналів. Залежно від методу та цілей впливу, перешкоди в РЕБ можна поділити на такі категорії:

3.1 Точкова перешкода:

- Вузькосмугова, концентрована дія, спрямована на певний канал або частоту.
- Перешкоджає роботі конкретних радіоелектронних систем, наприклад, станцій зв'язку або радарів.
- Неефективна проти сигналів з псевдо випадковим кодом (ППРЧ) через їх стійкість до вузькосмугових перешкод.

3.2. Плаваюча перешкода:

- Широкосмугова динамічна дія, що хаотично змінює частоту в межах певного діапазону.
- Створює складні умови для роботи ворожих радіоелектронних систем, змушуючи їх постійно перебувати в режимі пошуку вільного каналу.

- Має обмежену ефективність проти ППРЧ, які можуть частково проникати через імпульси перешкоди.

3.3. Суцільна перешкода:

- Широкосмугова, стаціонарна дія, що блокує весь спектр частот в певному діапазоні.
- Максимально ускладнює роботу будь-яких радіоелектронних систем в зоні впливу.
- Вимагає значних ресурсів та потужності для реалізації.
- Ефективним методом створення суцільної перешкоди є використання пристроїв прямого цифрового синтезу (DDS).
- Забезпечує щільну перешкоду, яка значно знижує ймовірність прориву корисного сигналу.

3.4. Розумна перешкода:

- Інтелектуальна дія, що аналізує ворожі сигнали та генерує динамічні перешкоди, максимально адаптовані до конкретної ситуації.
 - Найсучасніший та найефективніший метод РЕБ.
 - Застосовується в складних комплексах РЕБ, які здатні перехоплювати, аналізувати та імітувати ворожі сигнали.
 - Прикладами розумних перешкод є «спуфери», що здатні підмінювати сигнали GPS, призводячи до дезорієнтації ворожих навігаційних систем.
 - Складність виявлення та нейтралізації розумних перешкод робить їх потужним інструментом РЕБ.
- 4. Розрахунок потужності сигналу на передавачі, з урахуванням різних факторів, що впливають на його поширення.**

Щоб спрогнозувати охоплення, нам спочатку потрібно знати ERP – ефективну випромінювану потужність усієї передавальної системи.

ERP = потужність у ватах $\times 10^{((\text{коефіцієнт підсилення антенної системи дБ})/10)}$

Розрахуємо ERP передавача РЕБ із наступними параметрами:

Початкова потужність (P_{in}) = 1500 Вт

Підсилення (G) = 8 дБ - 0.69 дБ = 7.31 дБ (з урахуванням втрат в кабелі довжиною 60 метрів)

ERP = 1500 Вт $\times 10^{(7.31 \text{ дБ} / 10)} = 1500 \text{ Вт} \times 5.382 \approx 8074 \text{ Вт}$

Розрахунок показує, що система ефективно випромінює сигнал потужністю близько 8074 Вт. Це значення в 5.382 рази більше ніж початкова потужність 1500 Вт завдяки підсиленню, яке забезпечує антена (7.31 дБ).

Це теоретичний розрахунок, який не враховує всіх факторів, що впливають на поширення сигналу в реальних умовах (наприклад, навколишнє середовище, перешкоди). Для більш точного оцінювання зони покриття та рівня сигналу необхідний комплексний аналіз з урахуванням цих факторів.

Щоб побудувати карту покриття для такого передавача РЕБ скористаємось OpenStreetMap та бібліотекою моделювання проходження сигналу [6]. Оберемо точкою розміщення передавача місто Миколаїв. Висота щогли 60 метрів над рівнем моря. (Рис. 1 та Рис. 2)

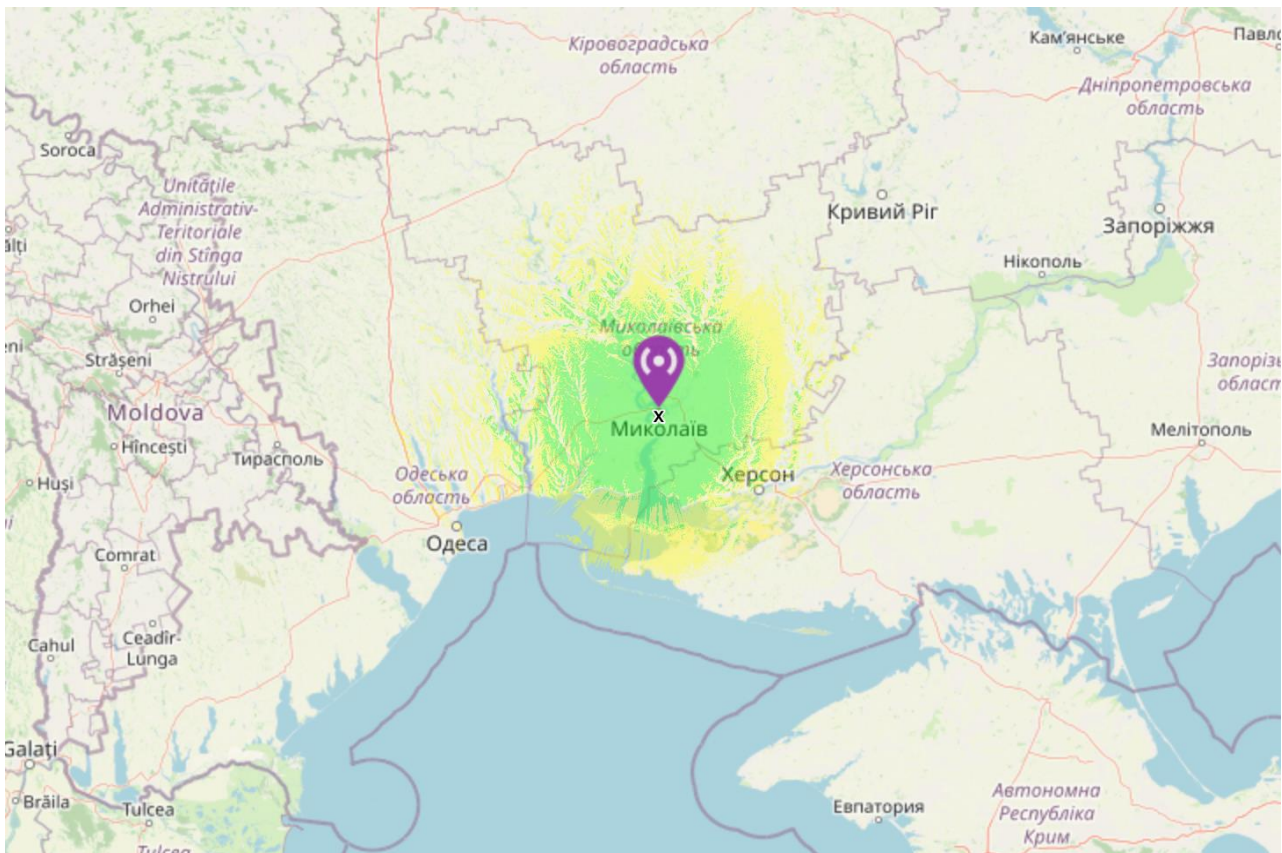


Рис. 1. Теоретичний розрахунок зони покриття РЕБ передавача.

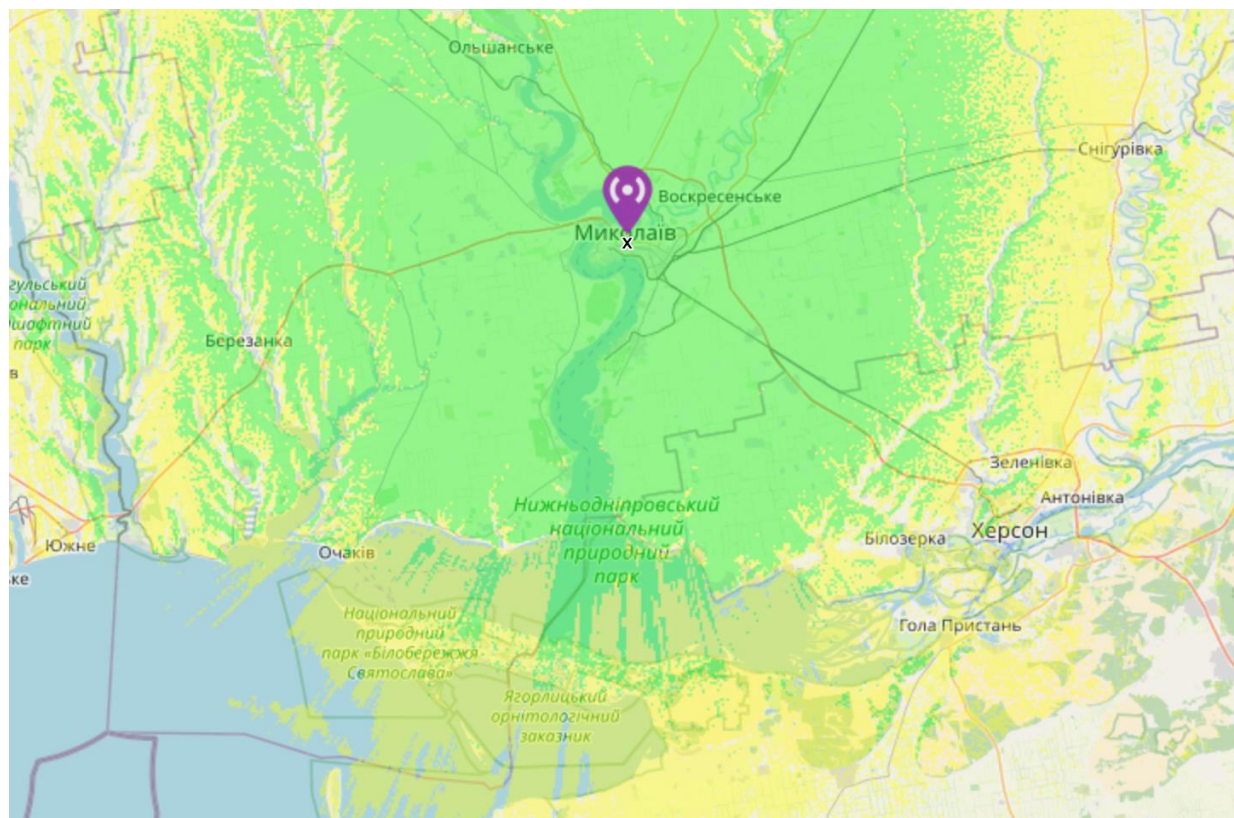


Рис. 2. Теоретичний розрахунок зони покриття РЕБ передавача більш детально.

4. Негативний вплив від систем РЕБ

Крім очікуваного впливу на хід бойових дій, РЕБ несе в собі значні екологічні та соціальні ризики, особливо в урбанізованих соціоекосистемах [7].

Наукові дослідження свідчать про те, що електромагнітне забруднення від систем РЕБ може призвести до пошкодження ДНК, порушення роботи нервової та імунної систем, а також до загибелі птахів, бджіл та інших тварин. Довготривале опромінення може спричинити головні болі, втому, порушення сну, а також серйозніші проблеми зі здоров'ям, такі як рак [8]. Електромагнітні хвилі відбиваються від будівель та інших об'єктів, що призводить до посилення їх впливу на людей та екосистеми.

Згідно наказу МОЗ №266 від 23 травня 2017 гранично допустимий рівень ЕМП (ERP) для радіотехнічних об'єктів був підвищений. Важливо зазначити, що дані санітарні норми та правила містять не лише норми, але й основні положення гігієнічних вимог до засобів випромінювання, а також методичні вказівки до них. Їх мета – регламентувати умови експлуатації та розміщення цих засобів з метою захисту здоров'я населення від впливу ЕМП. Санітарні норми встановлюють гранично допустимі рівні ЕМП для різних територій, включаючи житлові, громадські, дитячі та спортивні майданчики. Для захисту людей від ЕМП також встановлюються санітарно-захисні зони та зони обмеження забудови. Розміщення та експлуатація радіотехнічних об'єктів на дахах та у приміщеннях житлових, громадських та інших будівель дозволяється, якщо рівень ЕМП не перевищує гранично допустимих норм. [9]

Дослідження також показують зв'язок між роботою в професіях із середнім або високим впливом електромагнітного поля надзвичайно низької частоти (до 300 Гц) та випадками хвороби Альцгеймера. Аналіз даних проводився на пацієнтах з трьох незалежних клінічних серій: Університет Гельсінкі (Фінляндія), лікарня Коскела (Фінляндія) та Центр досліджень хвороби Альцгеймера (Лос-Анджелес, США). Загальне співвідношення шансів становить 3.0 ($p < 0,001$), що говорить про трикратне зростання ризику захворювання. Найбільш вірогідним впливом вважається саме електромагнітне поле, яке може негативно впливати на кальцієвий баланс та активувати клітини імунної системи, що призводить до нейродегенерації. [10]

Зважаючи на проведений аналіз можна зробити висновок що використання розумних РЕБ, які активуються лише при виявленні цілі, є ключовим фактором у мінімізації негативного впливу. Ці інтелектуальні системи дозволяють локалізувати та нейтралізувати ворожі сигнали, знижуючи загальне електромагнітне навантаження на навколишнє середовище.

Важливо зазначити, що дослідження впливу РЕБ на екосистеми та людей все ще перебуває на ранній стадії. Потрібні додаткові дослідження для кращого розуміння ризиків та розробки ефективних методів їх мінімізації.

Висновки.

Системи радіоелектронної боротьби відіграють критичну роль у сучасних воєнних конфліктах, як це видно з використанням їх у війні в Україні. Ефективність РЕБ у перешкоджанні та контролі комунікацій ворога, навігаційних систем і дронів, забезпечує значну стратегічну перевагу на полі бою. Застосування РЕБ у захисті критично важливої інфраструктури є особливо важливим для запобігання терористичних атак і розвідувальних місій, що підкреслює їх значення в сучасних воєнних стратегіях. Незважаючи на воєнну ефективність, екологічний вплив РЕБ не можна ігнорувати. Випромінювання, яке вони створюють, може мати довготривалі негативні наслідки для міських екосистем та здоров'я населення. Розробка та впровадження інтелектуальних систем РЕБ, які активуються тільки при необхідності, може допомогти мінімізувати цей негативний вплив. Крім того, потрібні додаткові дослідження для повного розуміння екологічних наслідків та розробки ефективних заходів зниження впливу цих систем на екосистеми та здоров'я людей. Наукове співтовариство, уряди та військові організації мають працювати разом для забезпечення балансу між воєнною потребою та екологічною безпекою. Застосування новітніх технологій та постійний моніторинг екологічного впливу систем РЕБ можуть забезпечити виконання воєнних завдань з мінімізацією шкоди для природного середовища та здоров'я населення.

Список використаних джерел

1. Чому засоби радіоелектронної боротьби та розвідки набувають дедалі більшого значення. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/oslipiti_voroga-5857.html. (дата звернення: 21.03.2024)
2. Аналіз арсеналу РЕБ РФ. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/radioelektronna_borotba_jak_i_chim_rossija_vojuje_proti_ukrajini-708.html. (дата звернення: 24.02.2024)
3. ЗАСОБИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ВОРОГА. <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/zasobi-radioelektronnoi-borotbi-voroga> (дата звернення: 30.04.2024)
4. США замовили системи M-LIDS проти дронів. <https://mil.in.ua/uk/news/ssha-zamovyly-systemy-m-lids-proty-droniv/> (дата звернення: 30.04.2024)
5. Україні передали антидронові системи AUDS. <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayini-peredaly-antydronovi-systemy-auds/> (дата звернення: 30.04.2024)
6. Моделювання радіо покриття. <https://support.nautel.com/rf-toolkit/radio-coverage-tool/> (дата звернення: 30.04.2024)
7. Пєрга Т. Ю. Екологічні наслідки війни Росії проти України. <https://ivinas.gov.ua/viina-rf-proty-ukrainy/ekolohichni-naslidy-viiny-rossii-proty-ukrainy.html> (дата звернення: 24.02.2023).
8. Нікітіна Н.Г. Вплив електромагнітних випромінювань на здоров'я населення (науковий огляд). Гігієна населених місць. 2007. № 50. С. 209–214.
9. Норми і правила захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання. <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2018/12/05/normy-pravyla-zahystu-naselennya-vid-vplyvu-elektromagnitnogo-vyprominyuvannya/>. (дата звернення: 12.03.2024)
10. Sobel E., Davanipour Z., Sulkava R. та ін. Occupations with Exposure to Electromagnetic Fields: a Possible Risk Factor for Alzheimer's Disease. American Journal of Epidemiologi. 1995. URL: <http://aje.oxfordjournals.org/content/142/5/515>.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

Екологічна та радіаційна безпека

Науково-практичний журнал

Том 1 Випуск 2

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

Підп. до друку 02.11.2024.
Формат 60х84^{1/8}. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 7,4. Обл.-вид. арк. 5,2.
Зам. № 6822.

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.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6124 від
05.04.2020.