

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»



ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ.
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ - 2025
Колективна монографія

ПОЛТАВА 2025



ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2025



2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ.
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2025**

Колективна монографія

Полтава 2025

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Відповідальний редактор

ІЛЛЯШ Оксана, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

Технічний редактор

СМОЛЯР Наталія, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

Члени редакційної колегії

СТЕПОВА Олена, професор кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор.

ГОЛІК Юрій, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, професор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

СМОЛЯР Наталія, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

БРЕДУН Віктор, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук.

СЕРГА Тетяна, асистент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», аспірантка.

УДК 502/504+620.9](2.064)

Рецензенти:

ШИМАНДІЙ Володимир, професор Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук, професора.

ЛУКАШ Олександр, професор кафедри екології, географії та природокористування Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, доктор біологічних наук, професор.

ВИННИКОВ Юрій, завідувач кафедри буріння та геології Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор, лауреат премії імені Володимира Вернадського.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (протокол №9 від 19.06.2025 року)

ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2025:

колективна монографія / під ред. О. Е. Ілляш. Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2025. 262 с.

COLOGY. ENVIRONMENT. ENERGY SAVINGS – 2025: a collective monograph / edited by O. Illiash. Poltava: National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». 2025. 262 p.

У колективній монографії представлені результати досліджень у сфері екології, захисту навколишнього природного середовища, зокрема оцінки наслідків для довкілля воєнних дій, пов'язаних із вторгненням РФ в Україну, раціонального використання природних ресурсів, енергозбереження й розвитку альтернативної енергетики, а також із проблем збереження біорізноманіття та заповідної справи, проблем екологічної освіти..

Розраховано на науковців, викладачів, керівників й фахівців органів державного управління, екологів, аспірантів, здобувачів вищої освіти й всіх, хто цікавиться питаннями охорони довкілля, енерго- та ресурсозбереження, заповідної справи й екологічної освіти.

Матеріали друкуються мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автори.

ISBN 978-617-8466-32-9

© Колектив авторів, 2025

**РОЗДІЛ І.
УПРАВЛІННЯ
ГЛОБАЛЬНОЮ ТА
РЕГІОНАЛЬНОЮ
ЕКОЛОГІЧНОЮ
БЕЗПЕКОЮ**



COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRESS TOWARDS SDGS FOR PERI-URBAN COMMUNITIES: SOCIAL AND ENVIRONMENTAL COMPONENT

Radomska M.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Yaroshenko D.R., Master's student, **Osadchuk T.**, Master's student

State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine

Abstract. The paper presents consideration of the achievements and challenges peri-urban communities face on the way to the sustainable development goals on the example of towns of Boyarka and Borodyanka. The analysis was done using the information from open sources and questioning of local residents. Each goal was rated and major accomplishments and drawbacks were defined. It was defined that plans of sustainable development are missing and this compromises the perspectives of towns in reaching sustainability, while noticeable accomplishments are seen in social pillar. Environmental aspects are fragmentally taken into account and adaptation to climate changes is given minimal attention. There is a need to develop strategies of sustainable development, which will combine actions into complementary and thus efficient system.

Keywords: *sustainability, equality, infrastructure development, ecosystems conservation.*

Sustainable development is a concept that defines development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It combines balanced economic development, social well-being and healthy environment. The essence of sustainable development is to ensure the well-being of society without depleting natural resources, polluting the environment and worsening living conditions.

Cities have already become the places where most of the world population reside. The development is extremely important for cities, because it is urban areas that consume most of resources, while generating most of wastes and pollution. At the same time cities, sustainable development involves many contradictions.

Sustainable economy and circularity entail effective use of resources, leading to decreasing self-costs of production and increased investment attractiveness, which creates conditions for economic growth and development of small and medium-sized businesses. But high density of both business and population increases demand for fast and cheap production, which compromises quality and increases pressure on the environment due to

pollution. Cities also offer a better access to social services, which increases the standard of living, but promote social inequality and formation of the areas with lower personal security. The environmental profile of most cities is usually loaded with multiple sources of pollution, intensive transportation and overconsumerism. As a result, urban areas are the most polluted ecosystems. But they also possess the biggest potential for the solution of environmental problems in terms of financial, innovative and human resources [1].

Thus, sustainable development is an important strategic task for urban policy and forms the basis for ensuring the harmonious development of cities. Ukrainian cities are pursuing sustainable development very unregularly. Many cities of Ukraine have declared some form of sustainable policy or plan of achieving sustainable goals, but most fail to control their implementation or postpone them due to lack of the necessary resources or institutional obstacles on the way to implementation of such plan [2].

Legal background of for promotion of sustainability in Ukrainian cities has also developed slowly, even though there is noticeable progress and gradual shift from general abstract principles to specific action plans and the identification of priorities [3]. However, the strategic directions of implementation still need to be correlated with local initiatives. The scientific novelty of this article is its comprehensive analysis of the evolution of the sustainable development concept at various levels and its practical value is in providing insights for policymakers and professionals working in the field of sustainable urban development.

Most of major Ukrainian cities have approved strategies of their development (all regional capitals have it), even though many have declarative character. The most detailed and progressing strategies are typical for capital city, as well as Kharkiv and Lviv. However, their commuter town are not that efficient and, in some cases, may experience of environmental and social problems from metropolitan areas to their peri-urban communities, lacking resources of big cities for management of such problems. These communities quite often demonstrate well developed self-provision in agricultural sector [4], but lack spatial attribution and adaptation of SDGs to their local conditions [5].

Aim of the given research is to analyze the progress of commuter settlements towards the sustainable development goals on the example of communities of Boyarka and Borodyanka. These settlements belong to similar categories of settlements, have strong connections to the capital, and possess similar infrastructure.

The analysis was performed for all 17 SDGs based on expert assessment, where residents of these settlements, were asked to evaluate the

level of each goal achievement by the scale from 0 to 5, where 1 point corresponds to a low level of goal achievement, and 5 points reflects excellent results.

Rating were then combined into a single grade, which represents mode value. Respondents included students of universities, representatives of public organizations, civil servants and environmental activists, and representatives of general public. The total number of respondents questioned was 50 in each settlement.

Borodyanka is an urban-type village of Buchansky district, Kyiv region, Ukraine. It is located on the left bank of the Zdvizh River (a tributary of the Tetereva River). The distance to the city of Kyiv is 55 km.

The total population is 12,952 (2019, estimate). The population is decreasing. By age group most population belong to the 36-55 age range, followed by senior people over 55, and young adults of 18-35 years old are two times smaller in number than elderly people.

Main industrial enterprises belong to the agricultural sector and food industry, and also includes aluminum production «Alyupol» and regional aviation center «AS». Medical infrastructure is provided by 3 larger medical institutions in operation. The village has well-developed social infrastructure, including schools, public spaces, and sport facilities, however, there is a lack of teaching and medical staff.

There is a network of tourist locations on the territory of the Borodyanka: a museum, an airfield, the Horevakha barrow (Maryan barrow, Tivan; approximately 2 millennia BC); hillfort on the Tal River near the village Mirchi; a barrow near the Boarding House on the eastern outskirts (see Polish Uprising 1863). The community has the potential to develop green tourism.

Borodyanka Airport was founded in 1936 as a military airport, later it was used as a reserve for strategic aviation. Since 1993, it has been included in the State Register of Civil Airports of Ukraine (class «D»). The Borodyanka railway station of the South-Western Railway (1902) is located on the outskirts of the village. The territory of the community is crossed by the M-07 international highway Kyiv – Kovel – Yagodyn, which coincides with the European route E373.

Since the beginning of Russia's full-scale invasion of Ukraine, hostilities have been taking place on the territory of the village. The path of the enemy army in the direction of Kyiv lay through Borodyanka. There were no military facilities in the village, despite this, the occupiers destroyed a large part of the village with shelling and bombing. High-rise buildings on Tsentralnaya Street were destroyed (eight of them were completely destroyed). The destruction in Borodyanka became the largest in the Kyiv

region. Under the Russian occupation, the village turned into solid ruins. According to the analysis of UN satellite images (May, 2022), as a result of hostilities in Borodyanka, 52 structures were heavily damaged, 60 were partially damaged, and 42 were completely destroyed. Three gas pipelines, a water main, and a power line were cut off, transformer substations, a bridge over the Zdvizh River were destroyed, and communication towers were purposefully destroyed. Most objects of cultural heritage were damaged.

The reason for choosing Borodyanka for the research was that it currently undergoes restoration and there is possibility to compare the current progress of reconstruction with the goals of sustainable cities and to make recommendations for the improvement of reconstruction strategy.

After the liberation from Russian occupation in April 2022, attention was focused on assessing the extent of the destruction and planning for reconstruction. Borodyanka, as well as five other towns and villages, are being rebuilt according to an experimental restoration program. The idea of an experimental project was born within the walls of the Ministry of Community Development, Territories and Infrastructure and the State Agency for Reconstruction and Development of Infrastructure. It was approved by the Cabinet of Ministers for Borodyanka and 5 other town heavily destroyed.

According to the main idea of the project, each of the six settlements is a subject to comprehensive restoration, where instead of point-by-point reconstruction of individual destroyed buildings, a complete transformation is carried out according to a new layout, accounting modern trends in architecture and preservation of the historical heritage. The fundamental principle of the project is «build back better». The purpose of the experiment is to develop a fundamentally new, high-quality scheme for the reconstruction of Ukrainian villages and cities that have suffered significant destruction as a result of a full-scale invasion. The implementation of the project is planned for 2023-2025. It is expected that improved and modernized versions of the affected villages with better infrastructure will facilitate the return of displaced people to their homes.

During 2024, 11 high-rise buildings and 892 private buildings have been restored. 42 private houses and 5 apartment buildings were dismantled. The next step is to restore 7 administrative buildings, 29 multi-apartment residential buildings and reconstruction of the street. The financial provision of the project is contributed by a range of international organizations.

The plan was put into action and the first results began to be noticed around the beginning of 2023, but though it gave good physical results there are clear signs of low pursuit of sustainability goals. The first sign of failure was that not all buildings in Borodyanka fit the term «Inclusiveness». We are

talking about the so-called «Soviet staircase» – one or two steps before the entrance to the building. According to available data, one or two steps before the entrance to buildings in the Soviet Union had several practical and architectural reasons:

1. Protection against flooding and precipitation: The steps in front of the entrance served as a barrier that protected the building from water, snow and dirt. Especially in areas with frequent rains or snowfalls, this helped to avoid flooding of the first floors and to keep the interior of the building clean.

2. Increased thermal insulation: In colder climates, the steps also helped raise the door slightly above the ground, which reduced heat loss. Thermal insulation was important as the first floor was usually the most vulnerable to heat loss.

3. Architectural Standard: Soviet architecture used typical building designs that often included steps as part of the aesthetic design. This could give buildings a more monumental or representative appearance, even if they served simple administrative or residential functions.

4. Protection from dust and dirt: Given the frequent use of unpaved roads or sandy paths, steps helped to reduce the amount of dust that could enter the premises.

5. Typification of construction solutions: Many buildings in the USSR were built according to typical projects, where steps were part of standard structural solutions. This made the construction process more economical and simpler.

This step not only makes the building less accessible to people with disabilities, but also creates a hazard when it is icy or if a person is simply not careful. There are known cases of injuries to people due to the fact that this step was slippery or a person simply did not notice it in the dark or when he was in a hurry. Also, its presence forces the store owner or the company responsible for the building to spend on the ramp. According to the new building regulations, the «Soviet staircase» was removed, but it is still there in the old adopted plans, and this step is also present in the restored building of the store. Also, there are no ramps in restored multi-apartment buildings, there is no modification of stairs if a ramp was not installed or provided for in the architecture of the staircase.

Also, the update system did not reach the transport component. Public transport in Borodyanka is organized mainly in the form of minibuses and buses that connect the village with Kyiv and nearby settlements. Such buses have a fairly high level of exhaust emissions, and taking into account their age of operation and the number of modernizations and inspections, combined with the frequency of their trips, we will get a huge amount of exhaust in general. Borodyanka also has a railway station that provides rail

transport services. The condition of railway cars varies. Regarding electric transport, in Borodyanka there is only one electric vehicle charging station at 304 Tsentralna Street, as well as at all gas stations, but they are located outside Borodyanka.

The waste management problem is complex. In Borodyanka, the local municipal enterprise «Blagoustrii-Borodyanka» and a range of private companies are engaged in the removal of garbage. The municipal enterprise is also responsible for the landfill in Borodyanka. However, the operation of the landfill caused environmental and legal problems, since «Blagoustrii-Borodyanka» does not have all the necessary permits for waste disposal. This has led to environmental threats, including the risk of groundwater contamination. The problem with the Borodyanka landfill is that it does not have a full set of necessary permits, which is a serious violation of environmental legislation. This issue was repeatedly raised by representatives of the environmental inspection. Due to violations of environmental regulations, the landfill creates risks for the environment, in particular, contamination of groundwater and adjacent territories. The lack of proper infrastructure for waste treatment leads to the accumulation of garbage and the potential formation of toxic substances that can enter water and soil. Due to the lack of effective solutions for waste processing and disposal, the landfill is overloaded with waste, which also worsens the ecological situation in the region. Also, there are no sorting bins for garbage in Borodyanka. They were installed earlier, but due to the fact that the removal is provided by a single machine, they began to function as tanks for mixed waste. Borodyanka is not equipped with the functions of removing sorted waste, so there is no sense in sorting tanks either.

Borodyanka village is not energy independent. It is very dependent on the state energy supply networks, and there are no plans for the implementation of community solar or wind energy systems. Borodyanka is in the same natural conditions as Kyiv, where solar panels are installed on street lamps and by private users, so the potential is not zero, but it is not used now.

There are 2 green zones in Borodyanka, the Central Park and the Green Zone on the banks of the Rudka River. The Central Park is the main place of recreation for Borodyanka residents. Events are held there, there is a playground and places to relax. But during the attacks on the city by Russian troops, the park was damaged. The visual assessment demonstrated that more than 80% of the trees are damaged considerably and will probably be cut down, which means a temporary loss of the park. In any case according to the principles of a sustainable city, there should be more green areas.

Still a range of achievements of sustainability goals could be named

for Borodyanka. For example, new store buildings built by the European principles and have the necessary provisions for inclusiveness and use environmentally friendly, sustainable materials, ensuring a safe environment for everyone, including people with chemical sensitivities.

One of the biggest achievements in the field of inclusiveness is the Borodyanka Center for the Rehabilitation of Veterans. It is planned that the center will receive an average of more than two thousand veterans per year.

The second biggest achievement is the Lithuanian-Ukrainian Lyceum. It was founded back in 1860, by the abbot of the church Philip Karpov founded the parish school. In 2023, the Lithuanian-Ukrainian Lyceum was built with the funds of Lithuanian funds, and in 2024 the first classes were started. It has modern equipment and a unique underground shelter able to accommodate up to 800 people, equipped with an elevator for inclusivity.

Regarding the provision of the general needs of citizens, access to which is a direct requirement of the principles of urban sustainability, there are no problems with this. All houses, except those that are self-sufficient, are supplied with water, electricity and gas. The water is of very high quality due to its well origin and is quite expensive compared to other cities. Transportation is also available. Some shuttle taxis are modified options for greater accessibility for people with disabilities, such as ramps and wide doors for wheelchairs and driver signal buttons

The second object of research is the town of Boyarka. It hasn't suffered from massive destructions during the onset of invasion, so it represents a community with fairly smooth development and no additional strength on resources, which could be invested in the sustainability.

The city of Boyarka has a good geographical position. The capital can be reached by train in 25 minutes and by road (routed taxi) in 40 minutes. In the direction of Kyiv and back every 5-10 minutes there are 7 routes that can be used to reach any suburb of the right bank of the capital. The city borders the Odesa highway, has one railway station, Boyarka, and the Tarasivka stop. High-comfort long-distance electric trains and suburban electric trains stop at the station.

The history of Boyarka goes back several centuries and it was known as a trading post in the Middle Ages, and already had the status of a town in the 17th century. Today, the city preserves some of its historical architecture, which is important for cultural heritage.

According to the last population census, the number of inhabitants of Boyarka is approximately 17 thousand people. The city has seen a constant change in population due to the war. The population structure includes a significant part of young people, which makes Boyarka attractive for educational and cultural initiatives. However, there is also the problem of an

aging population, which requires attention from the authorities in the context of social services.

Main branches of Boyarka's economy are industry, agriculture, and service sector. Industry is represented by small and medium-sized enterprises engaged in the production of furniture, building materials and food products. The outskirts of Boyarka are characterized by the development of the agricultural sector. Local farmers grow vegetables, fruits and grain crops that are supplied to the markets of Kyiv. Boyarka is actively developing the area of services, including shopping facilities, restaurants, medical facilities and cultural facilities that meet the needs of residents.

The labor market in Boyarka is characterized by an average level of employment. The main professions of residents are related to trade, education, health care and construction. However, there is a problem of unemployment in the city, especially among young people and older people, who have difficulty finding work.

Boyarka has a developed transport infrastructure with regular bus connections to Kyiv and other settlements. However, in the conditions of population growth, there is a need to improve the road surface and modernize public transport. Living conditions are improving, but there are still problems with housing affordability and utilities. The authorities are working on projects to modernize housing stock and ensure a reliable supply of water and electricity.

The state of environment in Boyarka is a cause for concern due to air, water and soil pollution. Main sources of pollution include growing number of cars, poorly controlled emissions of small factories and inefficient waste management. This leads to the deterioration of air quality, which negatively affects the health of the population, and the pollution of water bodies, which affects biodiversity. There are no sorting bins for garbage in the town, which complicates waste management and adds environmental concerns to the town. Another issue is absence of renewable sources of energy in use. Some private households employ individual installations, but they are not numerous and don't have comprehensive effect.

Boyarka has several green areas, including parks and squares, which play an important role in improving the quality of life of residents. They serve as places for recreation, sports and social events. However, their area is insufficient to meet the needs of the growing population, and there are issues with their maintenance and preservation of biodiversity.

The local government implements several environmental programs aimed at improving the state of the environment:

1. Implementation of a separate garbage collection system and encouraging the population to participate.

2. Measures aimed at reducing energy consumption in residential sector.

3. Conducting information campaigns to increase environmental awareness of the population.

The city's population is characterized by diversity in age and social groups. There is a balanced distribution of age among residents, which ensures a stable demographic structure and contributes to the integrated development of the city. Young people, active families and elderly people together create a dynamic social fabric in which each group has its own needs and prospects.

The city of Boyarka is actively developing its social infrastructure, taking into account the modern needs of the population. The number of schools, kindergartens and extracurricular education institutions is sufficient to provide the needs of population and attention is paid to the modernization of educational institutions.

The local network of clinics and medical centers allows for access to modern medical services. Expanding the range of preventive measures and health support programs allows residents to receive timely assistance and counseling. The city has active cultural centers, public spaces and sport facilities to organize active recreation and maintain a healthy lifestyle. However, there are concerns about the equal access of population to the medical services, since there is a lack of professionals due to exodus towards the capital region.

Boyarka is known for its residential complexes, which combine historical and modern architectural elements. Despite the financial limitations the city has invested into the reconstruction of the housing stock, improvement of communications, and energy efficiency of buildings. There are programs to support low-income families, which are aimed at providing affordable housing and social services for each resident.

Boyarka residents are starting to participate in the life of the city, since the number of volunteer organizations is growing and contributing to social support, assistance to vulnerable groups of the population and the implementation of local social projects.

Despite positive trends, Boyarka faces certain challenges that require further attention from local authorities. Thus, there are issues with ensuring equal access to social services: it is necessary to expand opportunities for obtaining quality professional educational, without the need to use Kyiv educational resources and invest in the the introduction of the latest educational technologies.

Integration of vulnerable groups of the population is also an issue: social programs should be strengthened to support people with disabilities,

senior citizens and other vulnerable groups, ensuring their full participation in the life of the city. The city of Boyarka implements standard social programs aimed at improving the quality of life of these groups, which includes subsidies, material support, educational and medical benefits. At the same time youth needs support as well to keep them in the town and prevent urban-rural flight. Creating favorable conditions for the development of youth initiatives, retraining programs and support for startups can contribute to economic growth and social stability.

The social goals of sustainable development include creating equal opportunities for all citizens, improving the quality of education, health care, promoting gender equality and reducing social inequality. Gender equality is an issue, since typically society favors men in local self-government and managerial positions. However, a range of initiatives were initiated by the NGOs to increase the activity of women in public activities and developing leadership qualities. The Coordinating Board for gender equality was created in municipal council and the Reference book on inclusiveness, equality and barrier-free development was created and distributed in the community. The same initiatives were implemented in Borodyanka.

The results of evaluation of progress towards SDGs in cities Boyarka and Borodyanka are summarized in table 1. Though the assessments are quite subjective, they represent the opinion of residents and this is a valuable insight into the efficiency of strategies aimed at sustainable development and visibility of their results.

**Table 1 – Assessment of sustainable development goals achievement
(results of local residents questioning)**

SDGs	Evaluation of the town of Boyarka	Rating	Evaluation of the town of Borodyanka	Rating
 Eradicate every form of extreme poverty including the lack of food, clean drinking water, and sanitation.	The town of Boyarka has a large number of food shops and farmer market, which accessible and affordable. Drinking water is evaluated to be of good quality, but there are some employment problems and small garbage problems.	4	The situation with the availability of products is satisfactory. There are two supermarkets, a sufficient number of affordable grocery stores and well placed. Water supply in Borodyanka is affordable and the water is of high quality, it can be drunk from the tap without health risks.	4

			There are problems with employment, as there are no large companies or enterprises nor free, high-paying positions	
 End hunger, achieve food security and improved nutrition, and promote sustainable agriculture.	The town and its borders are actively engaged in agriculture and many families are able to provide their nutritional needs by themselves.	5	There are varied sources of food, both outlets, farmer markets and subsistence agriculture is well developed	5
 Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages.	The city has hospitals, laboratories and pharmacies, sports grounds and medical laboratories. A range of various sports sections and clubs to support health and fitness are also available.	5	The city has a central district hospital, a maternity hospital, pharmacies are spread throughout the central part of the city, and there is a medical laboratory and veterans rehabilitation center. There is a lack of qualified medical staff.	4
 Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all.	The city has 5 schools and the Classical Gymnasium, 7 kindergartens, Boyarska BC, Regional Center for Children's Creativity, a private comprehensive school for girls. Music school,	5	There is 1 school and 3 lyceums in the city, as well as 2 preschool institutions. The level of teachers in some schools is not sufficiently adequate, there is a shortage of personnel.	4

	Special boarding school for visually impaired children. Part-time higher education can be obtained at the Boyar College of Ecology and Natural Resources.			
 Achieve gender equality and empower all women and girls.	There are no problems with this in the city, as in Ukraine, girls and women can work and study freely, in addition to joint educational institutions, there is a separate private school for girls. However, managerial position and municipal authorities heads are predominantly male.	5	There are no problems with gender equality globally, but there are local disputes that are common in Ukraine. However, managerial position and municipal authorities heads are predominantly male.	5
 Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all.	The city has clean piped water, the private sector has wells, some problems with ponds polluted by the city's residents.	4	Water is extracted from natural wells, is drinkable and clean, and is supplied directly to homes. There are no problems with the quality of services and the water itself.	4

7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY  Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all.	Electric cars and private houses with solar panels appear in the city, there are problems with road lighting and lights, there are no improvements at the city level.	3	There is a charger for electric cars in Borodyanka, and electric cars are also found in the city itself. There are no alternative energy sources at the moment, but they are planned for construction in the future.	3
8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH  Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all.	There is work in the city, but there are problems with decent pay, corruption, and unreasonable management.	3	There are jobs in Borodyanka, but they are mostly in positions that are not highly paid or promise career growth.	3
9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE  Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization, and foster innovation.	The transport network is well built, new houses are being built and old ones are being modernized to improve energy efficiency.	3	The transport network is well built, new houses are being built and old ones are being modernized to improve energy efficiency. Due to massive reconstruction there are prospects for the considerable overall improvement of infrastructure quality.	4

10 REDUCED INEQUALITIES  Reduce inequality within and among countries.	Before the war, there were no problems with this, but after the start of invasion the structure of the city population changed and some social tensions are noticed.	3	No problem with that	5
11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES  Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient, and sustainable.	Improvements and modernization of buildings are being carried out, such as insulation, energy efficiency, changing meters, replacing electrical appliances and water pipes.	3	Building improvements and modernizations are being carried out, such as insulation, energy efficiency, replacement of equipment in buildings, and upgrading of electrical systems.	4
12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION  Ensure sustainable consumption and production patterns.	The city has facilities for receiving glass, plastic, metal and electronics, organic matter is used as fertilizer or fodder, trees and paper are used for heating. There is no information campaign to support positive practices of waste management.	4	There are plastic cap collection points in the city, but generally waste management issues are not resolved. There is no information campaign to support positive practices of waste management.	3
13 CLIMATE ACTION  Combat climate change and its impacts by	People switch to electric cars, reduce energy consumption, but this is all done for the sake of economy and convenience. Nobody thinks	2	There are no actions in this direction. Reconstruction plans do not consider the needs of climate changes adaptation.	1

regulating emissions and promoting developments in renewable energy.	about global climate change due to ignorance.			
14 LIFE BELOW WATER  Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development.	There are no water bodies for fish breeding in the city itself	-	There are no water bodies for fish breeding in the city itself	-
15 LIFE ON LAND  Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss.	Parks, forests, green spaces, and an ecological center with small animals, the private sector breeds chickens and other livestock, dogs, cats are present in the city, however, no actions are implemented for conservation of local typical ecosystems, no comprehensive studies of local biodiversity were conducted.	3	There is one park in Borodyanka, but it was damaged as a result of hostilities and is subject to reconstruction. There are no other green recreational areas in the city, except for small local green areas. No actions are implemented for conservation of local typical ecosystems, no comprehensive studies of local biodiversity were conducted. Ecosystems are heavily damaged by war actions	1
16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS  Promote	Local communities are currently in the process of developing their institutions. The	3	Local communities are currently in the process of developing their institutions. The current situation in the country prevents	2

peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels.	current situation in the country prevents rating of town by this parameter in full scale. Family education takes place, children are explained their rights and responsibilities, legislation.		rating of town by this parameter in full scale. The destructions in the city are still not mitigated and many local residents are still out of the town. Family education takes place, children are explained their rights and responsibilities, legislation.	
 Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development.	Town partner cities Pulawy (Poland), Bziny (Slovakia), Martvili (Georgia), Ozurgeti (Georgia), Czarnków (Poland), Biržai (Lithuania), Ustka (Poland), Ropaz region (Latvia), which support Boyarka in reformations and infrastructure development, however, sustainable development is not in the focus of this cooperation.	3	Town partner cities are Minsk-Mazowiecki (Poland) and Navalagamelha (Spain). There is cooperation with large foundations such as UNICEF and UNESCO for the reconstruction projects.	3
Total		58		56

The resulted total scores are relatively similar 58 for Boyarka and 56 for Borodyanka, when the maximum of 85 points. These corresponds to 66-68% of total, which means the over half of work towards sustainability in implemented. At the same time, there are differences behind these values. In particular, mode of ratings in different: Boyarka has mode value of 3, while Borodyanka has 4, which means that the latter one performs better, but due

to massive destructions Borodyanka is rated notably lower in some SDGs (15, 16), while outcompetes in others (3, 9, 10). The general trend is that Borodyanka has been affected by war in multiple ways, and destruction of material assets is only a part of the problem. Long-term effects arise due to loss of professionals, which compromises sustainable development of the community more than direct harm.

The common problem for both towns and which is probably actual for many other peri-urban communities in Ukraine is lack of attention to sustainable development on the whole: there are no corresponding plans and strategies developed. This impairs the ability of communities to progress towards SDGs, since they lack comprehensive perspective of the work to be done and the integral strategy. Another issue is that both towns omit climate adaptation needs in their plans, which is especially threatening for the resilience of infrastructure. The problem hasn't been dealt in any way in reconstruction plans of Borodyanka and plans of infrastructure development of Boyarka. Minimal attention is also paid to biodiversity studies and conservation at the territory of communities, which must be addressed appropriately. Environmental status of the town territories is mostly evaluated as satisfactory to good by most respondents. But accounting prospects of metropolitan development the quality of environment might be compromised in the future [6]. To prevent problems of this type communities must invest efforts and resources in building environmental resilience and balance of ecosystems.

Overall, the level of local institutions development is not high enough to develop efficient plants and provide coherent actions for the achievement of sustainable development goals. Financial and human resources are also limiting factors for such small communities, but partnership can mitigate these problems. The biggest progress is done in the 1-6 SDGs, but energy efficiency and renewable energy are still behind the European trends.

The social characteristics of towns demonstrate that the city is actively developing in the social sphere, directing efforts to improve the quality of life of its residents. Improved infrastructure, high level of civic activity, attention to education, healthcare and cultural development will contribute to the formation of a harmonious and stable urban environment in towns under consideration.

Information sources used:

1.Comi, A., Gruenwald, N., Danchuk, V., Kynytska, O., Vakulenko, K., Zakrzewska, M. (2023). How Cities and Universities Approach the Sustainable Development Goals. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Doni, F.,

Salvia, A.L. (eds) Handbook of Sustainability Science in the Future. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68074-9_155-1

2.Kuzmak, O. I., & Kuzmak, O. M. (2023). Transformational processes of ensuring sustainable urban development: the realities of Ukraine. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254(1), 012079. DOI 10.1088/1755-1315/1254/1/012079

3.Blinova, M., & Rodyk, Y. (2024). Analysis of the implementation of the Sustainable Urban Development Goal in Ukraine. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1376 (1), 012040. DOI 10.1088/1755-1315/1376/1/012040

4.Rao, N., Patil, S., Singh, C., Roy, P., Pryor, C., Poonacha, P., & Genes, M. (2022). Cultivating sustainable and healthy cities: A systematic literature review of the outcomes of urban and peri-urban agriculture. Sustainable Cities and Society, 85, 104063. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104063>

5.De Toro, P., Formato, E., & Fierro, N. (2023). Sustainability Assessments of Peri-Urban Areas: An Evaluation Model for the Territorialization of the Sustainable Development Goals. Land, 12(7), 1415. <https://doi.org/10.3390/land12071415>

6.Ticau, I. R., Dan, M. C., Hadad, S., & Nistoreanu, P. (2023). Sustainable Development in Peri-Urban Regions: A Triangulation Analysis. Sustainability, 15(20), 14837. <https://doi.org/10.3390/su152014837>

ГРУНТОВІ ВОДИ КОЛОМАЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЯК ДЖЕРЕЛО ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Бурда А.Ю., здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, **Бунякіна Н.В.**, кандидат хімічних наук, доцент,
Смоляр Н.А., кандидат біологічних наук, доцент,
Дрючко О.Г., кандидат хімічних наук, доцент

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

GROUNDWATER OF KOLOMATSK TERRITORIAL COMMUNITY AS A SOURCE OF DRINKING WATER SUPPLY

Burda A., master's student, **Bunyakina N.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, **Smolar N.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, **Dryuchko O.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. Дослідження спрямоване на аналіз фізико-хімічних та токсикологічних характеристик ґрунтових вод Коломацької територіальної громади, розташованої в Полтавській області (Україна). В умовах зростаючого антропогенного впливу на довкілля важливо було оцінити стан ґрунтових вод, які є джерелом питної води для місцевого населення. Зразки ґрунтових вод були відібрані з різних ділянок територіальної громади відповідно до стандартних процедур відбору проб. Аналізи проводилися у сертифікованій лабораторії з використанням сучасних аналітичних методів, таких як потенціометрія, титриметрія та фотоколориметрія. За експериментальними результатами виявлено значне перевищення рівня нітратів у деяких зразках, що може свідчити про забруднення підземних вод. Результати дослідження можуть стати основою для розробки регіональної програми з охорони водних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки регіону.

Ключові слова: ґрунтові води, фізико-хімічні та токсикологічні показники якості води, забруднення, нітрати.

Abstract. The research of the scientific work is aimed at analyzing the physicochemical and toxicological characteristics of the grounded waters of the Kolomatsk territorial community, located in Poltava region. In the conditions of

anthropogenic impact on the environment, it was important to assess the state of grounded waters, which are a source of drinking water for the local population. Samples of grounded waters were taken from different areas of the territorial community in accordance with standard sampling procedures. The analyzes were carried out in a certified laboratory using modern analytical methods, such as potentiometry, titrimetry and photocolorimetry. According to the experimental results, a significant excess of the level of nitrates in some samples was established, which may indicate groundwater contamination. The results of the study can become the basis for the development of regional programs for the protection of water resources and ensuring the ecological safety of the region.

Keywords: *grounded waters, physicochemical and toxicological indicators of water quality, pollution, nitrates.*

Оцінка фізико-хімічних і токсикологічних властивостей ґрунтових вод є ключовим елементом екологічного моніторингу та охорони здоров'я.

Токсикологічні параметри включають вміст токсичних речовин, таких як важкі метали, органічні забруднювачі та патогенні мікроорганізми. Навіть у малих кількостях ці речовини можуть серйозно загрожувати здоров'ю людей та екосистемам.

Регулярний моніторинг ґрунтових вод є необхідним для раннього виявлення забруднень і зменшення ризиків, пов'язаних із використанням водних ресурсів. Це є основою для забезпечення водопостачання, охорони навколишнього середовища і збереження здоров'я населення.

До складу Коломацької територіальної громади входить 11 сіл, а саме: Коломацьке, Степанівка, Дудникове, Василівка, Мале Ладижине, Сонячне, Старицьківка, Олексіївка, Зоря, Рубанівка і селище Степне.

Коломацька територіальна громада Полтавського району Полтавської області розташована у східній частині Полтавщини. Географічне положення Коломацької територіальної громади в межах помірного кліматичного поясу зумовлює риси помірно-континентального типу клімату в межах її території.

Клімат помірно-континентальний, теплий, м'який: середня температура повітря є такою: липень (+20,5°C); січень (-7,0°C); середньорічна кількість опадів 450-570 мм; коефіцієнт зволоження 0,7; тривалість безморозного періоду становить 174 дні. Найбільший вплив на формування погодних умов і клімату мають величина і характер сонячного випромінювання, віддаленість громади від великих водних мас, належність до зони дії переважно атлантичних помірних та арктичних холодних повітряних мас, рівнинність. У цілому, кліматичні умови громади сприятливі для людей і розвитку сільськогосподарського та лісгосподарського виробництва.

Площа водного фонду – 1,3% території. В адміністративних межах Коломацької сільської ради протікає річка Коломак, яка є лівою притокою Ворскли (басейн Дніпра). У долині річки розташований ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Вільхівщанський», що проходить за межами сіл Коломацьке, Дудникове, Степанівка, Мале Ладизине та Василівка, а також поблизу сіл Черкасівка та Вільхівщина сусідньої громади.

Всього сільськогосподарських земель на території громади – 90,0% від загальної площі земель, із них: ріллі – 78,75%, багаторічних насаджень – 0,72%, сіножатей 4,47% та пасовищ 3,88%, під господарськими будівлями і дворами – 1,29%, під господарськими шляхами і прогонами – 0,9% [1].

Згідно з [2], питна вода – це вода, яка призначена для споживання людьми (водопровідна, фасована, з бюветів, пунктів розливання, шахтних колодязів та каптажів джерел), щоб задовольняти фізіологічні, санітарно-гігієнічні, побутові та господарські потреби споживачів, а також для виробництва продукції, яка вимагає її використання. Якість цієї води, оцінювана за органолептичними, мікробіологічними, паразитологічними, хімічними, фізичними та радіаційними показниками, повинна відповідати встановленим гігієнічним вимогам.

Відповідно до [3], захист і фільтрація через ґрунти й породи часто забезпечують підземним водам значно вищу якість і потребують менше очищення, ніж поверхневі води. Проте, якість підземних вод може значно відрізнятися залежно від місцевої і регіональної геології та відстані до джерел забруднення. Якість підземних вод також може погіршуватися залежно від методів відкачування води і застосованих захисних заходів. Хоча свердловини або пробні свердловини поблизу можуть дати загальне уявлення про якість підземних вод, їхню остаточну якість можна визначити лише після досягнення водоносного горизонту в місці розташування свердловини.

Цілі сталого розвитку (ЦСР), також відомі як Глобальні цілі, були ухвалені Організацією Об'єднаних Націй у 2015 році як універсальний заклик до дій щодо скорочення бідності, захисту планети та забезпечення того, щоб до 2030 року усі люди жили в мирі і достатку.

17 Цілей взаємодоповнюють одна одну: дії в одній сфері також впливають на результати в інших, тому в розвитку мають бути збалансовані соціальна, економічна та екологічна стійкість.

Країни зобов'язалися визначати пріоритетність прогресу для тих країн і спільнот, які найбільше відстають. ЦСР мають на меті покласти край бідності, голоду, СНІДу та дискримінації жінок і дівчат.

Для досягнення ЦСР у кожному контексті необхідні творчі підходи, ноу-хау, технології та фінансові ресурси всього суспільства [4].

Однією з Цілей сталого розвитку є Ціль 6 «Чиста вода та належні санітарні умови».

Забезпечення населення водою є одним із пріоритетних завдань України. Незважаючи на те, що Україна на сьогодні має внутрішні запаси водних ресурсів, важливими є питання їх доступності до 100% міського та сільського населення, зменшення дисбалансу між посушливими регіонами півдня та іншими, більш водоемними, територіями півночі та північного заходу, зведення до мінімуму та ліквідація скидання відходів і небезпечних речовин, переходу промислових підприємств на замкнені системи водоспоживання. Реалізація таких заходів можлива за активної підтримки уряду та всіх ланок влади і активної кооперації всіх суб'єктів господарювання з метою створення чи використання сучасних, інноваційних екологічно безпечних об'єктів у сфері водопостачання та водовідведення [5].

Ціль 6 має завдання, які Коломацька громада може виконати на локальному рівні у контексті користування ґрунтовими водами:

6.1 До 2030 року забезпечити загальний і рівноправний доступ до безпечної і недорогої питної води для всіх.

6.3 До 2030 року підвищити якість води за допомогою зменшення забруднення, ліквідації скидання відходів і зведення до мінімуму викидів небезпечних хімічних речовин та матеріалів, скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод і значного збільшення масштабів рециркуляції та безпечного повторного використання стічних вод.

6.a До 2030 року розширити міжнародне співробітництво і підтримку в справі зміцнення потенціалу розвиткових країн щодо здійснення діяльності та програм у галузі водопостачання й санітарії, включаючи збір поверхневого стоку, опріснення води, підвищення ефективності водокористування, очищення стічних вод і застосування технологій рециркуляції та повторного використання [6].

Як зазначено в джерелі [7], вода, призначена для пиття, має бути безпечною для споживання, забезпечуючи збереження здоров'я людей. Критерії якості питної води повинні відповідати таким гігієнічним вимогам: безпечність із епідеміологічного та радіаційного погляду, наявність сприятливих органолептичних властивостей та нешкідливий хімічний склад. Гігієнічні вимоги до питної води охоплюють аспекти, такі, як відсутність шкідливих мікроорганізмів, хімічних забруднень, належний рівень мінералізації та інші фізико-хімічні параметри.

Для дослідження води були обрані такі показники: рН, загальне залізо, сульфати, хлориди, амоній, нітрати, нітрити, загальна лужність.

Ці показники дають комплексне уявлення про якість води, її придатність для споживання, технічного використання та вплив на здоров'я людини.

Як зазначено в джерелі [8], важливе екологічне значення для водного середовища має рН – це показник концентрації іонів водню у воді. Зниження рівня рН сприяє підвищенню розчинності карбонатів, сульфідів, фосфатів важких металів і збільшує їх міграцію та доступність для засвоєння живими організмами, що може призводити до отруєння. Відомо, що при низькому рівні рН вода має високу корозійну активність, а при високому рівні ($\text{pH} > 11$) має неприємний запах і може викликати подразнення очей і шкіри.

Згідно [9], ферум є необхідним хімічним елементом для нормального функціонування людського організму. Він впливає на синтез гемоглобіну, міоглобіну та дихальних ферментів. Організм зазвичай накопичує запаси заліза в селезінці та печінці, які можуть бути мобілізовані у разі потреби для забезпечення необхідних функцій. Відповідно до [10], вода з високим вмістом заліза має характерний іржавий колір і неприємний металевий присмак.

Сульфати – це солі сульфатної кислоти. У природних водах вони можуть мати джерела як мінерального, так і органічного походження. Мінеральні сульфати надходять у воду з ґрунту, де вони знаходяться у вигляді сульфатів натрію (Na_2SO_4), магнію (MgSO_4), кальцію (CaSO_4) та інших елементів.

Згідно з [11], хлориди – це речовини, що складаються з іонів хлору та катіонів металу. Вони природно зустрічаються у вигляді мінералів або розчиненими у воді. У воді хлориди вважаються одними з основних неорганічних солей. Хлориди вступають у реакцію з металами, що призводить до їх корозії. Це може спричинити пошкодження трубопроводів, витік води та інші проблеми.

Амоній (NH_4^+) – це іон, який утворюється в результаті протонування аміаку (NH_3). У природних водних середовищах амоній може мати як природне, так і антропогенне походження. Амоній утворюється в результаті розкладання білків, сечовини та інших органічних сполук, які потрапляють у воду з ґрунту, рослин та тварин. Також деякі мікроорганізми здатні розщеплювати органічні сполуки з утворенням амонію.

Застосування азотних добрив у сільському господарстві може призводити до вимивання нітратів у ґрунтові води, які потім перетворюються на амоній в результаті діяльності мікроорганізмів.

Нітрати – це солі нітратної кислоти, які природним шляхом присутні в навколишньому середовищі, зокрема в ґрунті та воді. Вони є

важливими для рослин, оскільки виступають основним джерелом азоту, необхідного для їх росту. Однак, високий рівень нітратів у природній воді може бути шкідливим для здоров'я людини та довкілля.

Джерела нітратів у воді можуть бути природними і антропогенними. До природних джерел належать розкладання органічних речовин, атмосферні опади та біологічна фіксація азоту. Антропогенні джерела нітратів пов'язані з діяльністю людини: використання азотних добрив, стічні води, промислові викиди і неправильне управління відходами.

Як зазначено в [12], у Полтавській області одним із основних забруднювачів питної води є нітрати. Ці речовини часто виявляються в найбільшій кількості у джерелах децентралізованого водопостачання, таких як громадські та приватні шахтні колодязі.

Згідно з джерелом [13], найбільш небезпечною формою нітрогенних сполук для людини є нітрити, які утворюються з нітратів. Нітрати та нітрити широко використовуються як харчові добавки для фіксації кольору м'ясопродуктів та подовження тривалості їх зберігання, а також у виробництві та консервуванні м'ясних та деяких рибних продуктів. Ці сполуки потрапляють до організму людей і тварин через питну воду та продукти харчування, що може спричинити інтоксикації різного ступеня.

Згідно з джерелом [14], питна вода повинна мати оптимальний вміст мінеральних речовин, що визначається за критеріями фізіологічної повноцінності мінерального складу. Ці критерії включають загальну жорсткість, загальну лужність, вміст йоду, калію, кальцію, магнію, натрію, сухий залишок та фториди.

Кальцій і магній – це не просто мікроелементи, а життєво важливі речовини, які беруть участь у численних процесах в організмі людини. Їх дефіцит може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, тому важливо отримувати їх у достатній кількості. Важливо зазначити, що вода з низьким вмістом кальцію і магнію може бути шкідливою для здоров'я.

Для того, щоб отримувати достатню кількість цих мікроелементів, рекомендується вживати різноманітну здорову їжу та пити мінеральну воду.

Така ж багатогранна роль магнію в організмі людини. Він необхідний для нормального перебігу багатьох біохімічних реакцій і фізіологічних процесів, що забезпечують енергетику і функціонування різних органів. Магній сприяє підтримці нормального рівня кальцію у кістковій тканині та його постійному оновленню в кістці, перешкоджає втратам кальцію.

Вважають, що магній відіграє ключову роль у регуляції сну, зменшенні проявів стресу, нормалізації адаптаційних процесів. Його дефіцит є фактором ризику розвитку серцево-судинних захворювань, у тому числі артеріальної гіпертензії і порушень серцевого ритму, зниження активності ферментів ліпідного метаболізму і вуглеводного обміну, що створює умови для швидкого накопичення надлишку жирової тканини у дітей. Тим, хто довго споживає м'яку воду, потрібно поповнювати дефіцит кальцію та магній як дієтичними, так і фармакологічними засобами [15].

Згідно з [16], у природному середовищі більшість загальної лужності зазвичай походить від карбонатної лужності, що виникає внаслідок розчинення карбонатних порід і наявності діоксиду карбону в атмосфері. Оскільки концентрація кальцію карбонату зростає, лужність також збільшується, що зменшує ризик підкислення води.

Для визначення заліза використовувалася методика [17], яка є стандартизованим та перевіреним методом визначення масової концентрації загального заліза у воді. Вона ґрунтується на утворенні комплексу роданіду і феруму (III) червоного кольору, інтенсивність забарвлення якого вимірюється на фотоколориметрі при довжині хвилі 490 нм.

Для визначення сульфатів застосовувався метод [18], що базується на утворенні хромової кислоти та визначенні її йодометричним методом.

Метод вимірювання масової концентрації хлоридів полягає в осадженні хлорид-іонів аргентум нітратом. Як індикатор використовують розчин калію хромату, який із надлишком іонів срібла утворює осад цегляного кольору [19].

Під час дослідження масової концентрації іонів кальцію та магнію у ґрунтових водах використовувався метод, наведений у [20], який базується на утворенні комплексів іонів кальцію та магнію з трилоном Б. Іони кальцію титрували розчином трилону Б за наявності мурексиду, що утворює комплекс рожевого кольору. Після зв'язування усіх іонів кальцію трилоном Б, індикатор мурексид має фіолетовий колір. Для титрування іонів магнію використовували трилон Б із індикатором еріохромом чорним Т. Колір індикатора змінювався від бузково-фіолетового до синього.

Для визначення лужності застосовувалася методика [21], яка полягає в титруванні проб стандартним розчином кислоти до досягнення кінцевої точки рН 8,3 та 4,5. Цей метод дозволяє визначити в пробі наявність трьох основних компонентів, що впливають на лужність: гідрокарбонатів, карбонатів і гідроксиду. Під час титрування

до рН 8,3 визначали кількість гідроксиду і половину наявного карбонату, а до рН 4,5 – загальну лужність проби.

Метод вимірювання масової концентрації іонів амонію засновано на взаємодії іонів NH_4^+ у лужному середовищі з реактивом Несслера. Фотоколориметричним методом вимірювали оптичну густину забарвлених розчинів при довжині хвилі $\lambda = 425$ нм [22].

Визначення масової концентрації нітрат-іонів проводили фотоколориметричним методом [23]. Цей метод ґрунтується на здатності нітрат-іонів вступати в хімічні реакції з утворенням сполук, інтенсивність забарвлення яких пропорційна концентрації нітратів у зразку. Вимірювали оптичну густину розчинів при довжині хвилі $\lambda = 413$ нм.

Для виявлення нітрит-іонів у пробах була застосована методика [24]. Метод ґрунтується на реакції нітрит-іонів з реактивом Грісса у кислому середовищі з утворенням азобарвника червоного кольору. Інтенсивність червоного забарвлення розчину пропорційна концентрації нітрит-іонів. Оптичну густину розчинів вимірювали при довжині хвилі $\lambda = 520$ нм.

Об'єктом досліджень є ґрунтові води (свердловинні та колодязні) в межах Коломацької ТГ.

Предметом досліджень є аналіз фізико-хімічних та токсикологічних показників ґрунтових вод у межах території Коломацької ТГ, що визначають якість води водних об'єктів та впливають на здоров'я населення.

У процесі дослідження проб води було використано ряд методів хімічного аналізу, зокрема: потенціометричний, титриметричний та фотоколориметричний. Використання цих методів хімічного аналізу дозволило отримати точні та надійні результати, необхідні для оцінки якості води та визначення наявності забруднюючих речовин.

Проби води відбирали з джерел децентралізованого водопостачання, а саме колодязів та свердловин. У деяких населених пунктах громади проби відбирали з декількох джерел.

Проби відбирали в скляну хімічно чисту тару і відразу транспортували до лабораторії, де в той же день проводили дослідження.

Для питної і господарсько-побутової води оптимальним вважається рівень рН у діапазоні від 6,5 до 8,5 [14].

За результатами аналізу (рис. 1) показник рН у всіх досліджуваних пробах у межах норми й коливається від 6,73 до 7,63 одиниць рН.

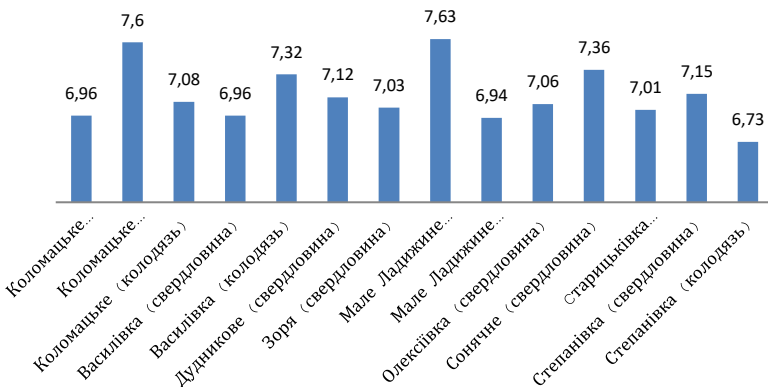


Рисунок 1 – Результати вимірювання водневого показника, одиниці рН

Аналіз проб на загальне залізо показав дуже малі його концентрації, що унеможливує знаходження конкретних кількісних показників за методикою [17].

Згідно з [14] максимально допустима концентрація сульфатів у питній воді не повинна перевищувати 500 мг/дм³.

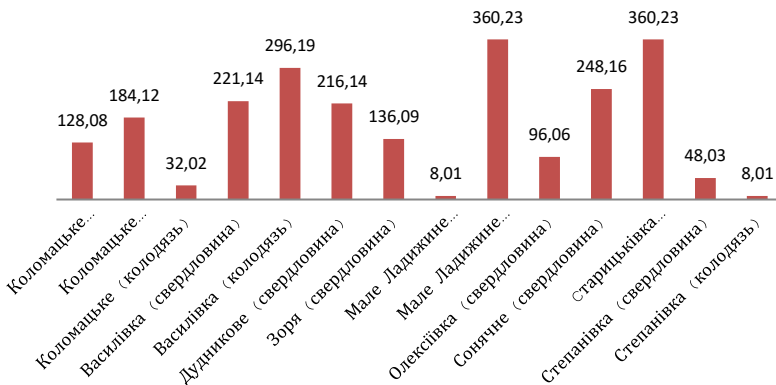


Рисунок 2 – Уміст сульфатів у пробах води, мг/дм³

Уміст сульфатів, згідно результатів аналізу (рис. 2), у досліджуваних пробах є в межах норми. У деяких пробах значення

показника наближене до мінімуму. Такі результати спостерігаються в селах Коломацьке (колодязь 3,5 м), Мале Ладигине (свердловина 17 м), Степанівка (свердловини 14,5 та 16 м).

Максимально допустима концентрація хлоридів у питній воді не повинна перевищувати 350 мг/дм³ [14].

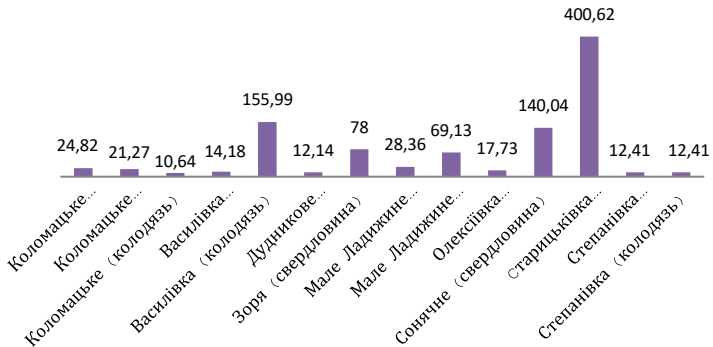


Рисунок 3 – Уміст хлоридів у пробах води, мг/дм³

Згідно з результатами аналізу (рис. 3), у більшості досліджуваних проб вміст хлоридів становить 100 мг/дм³, але в одній пробі зі свердловини (село Старицьківка) спостерігається їх перевищення.

Максимально допустима концентрація іонів амонію у питній воді джерел децентралізованого водопостачання не повинна перевищувати 2,6 мг/дм³ [14].

Уміст амонію в досліджуваних пробах (рис. 4) не перевищує норму. У більшості випадках результат був нижче чутливості методики.

Оскільки структура розподілу земель Коломацької ТГ характеризується наявністю значної частини сільськогосподарських угідь, то вплив сільського господарства на ґрунтові води є суттєвим.

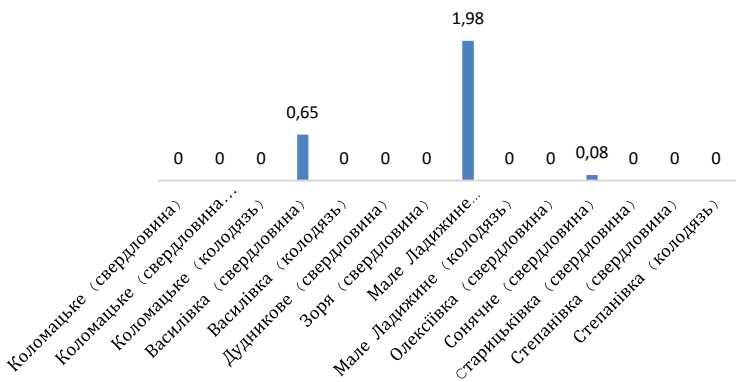


Рисунок 4 – Уміст іонів амонію у пробах води, мг/дм³

Норматив нітратів для питної води (водопровідної, з колодязів та каптажів джерел) – 50 мг/дм³ [14].

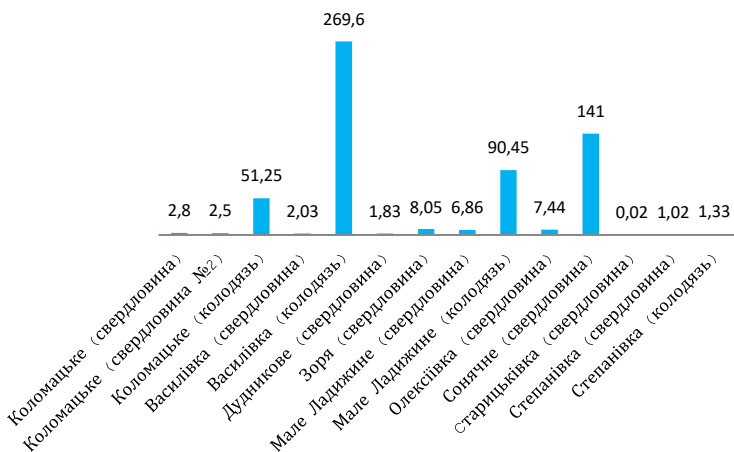


Рисунок 5 – Уміст нітратів у пробах води, мг/дм³

На рисунку 5 наведено вміст нітратів у відібраних пробах. Найбільше перевищення нормативу спостерігається у селі Василівка, а саме в колодязній воді показник більший ніж у 5 разів. Ситуація у свердловині цього населеного пункту значно ліпша. Це може бути зумовлено гідрогеологічною особливістю місцевості, оскільки відбір проб був здійснений на одній вулиці, але з джерел різної глибини.

За результатами аналізу визначено, що в усіх пробах води вміст нітритів нижче чутливості методики. Це вказує на їх відсутність або незначну кількість.

Аналізуючи дані (рис. 6), спостерігаємо, що для більшості відібраних проб води характерне перевищення вмісту кальцію порівняно з нормативом 25 – 75 мг/дм³ [14]. Така тенденція спостерігається як у колодязних, так і в свердловинних водах, що може бути характерною особливістю Коломацької громади.

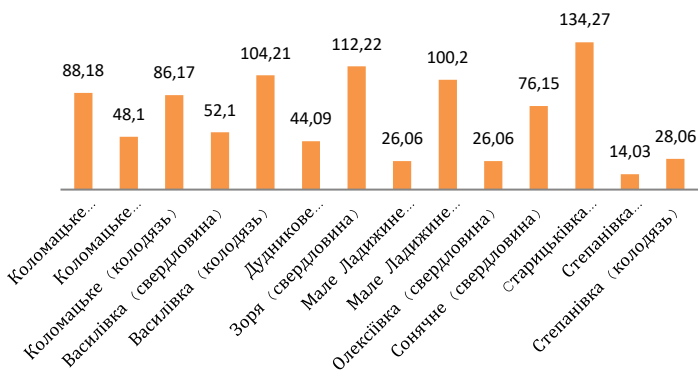


Рисунок 6. Уміст кальцію у пробах води, мг/дм³

Уміст магнію у воді, згідно з результатами дослідження (рис. 7), у більшості випадках відповідає нормі 10-50 мг/дм³ [14].

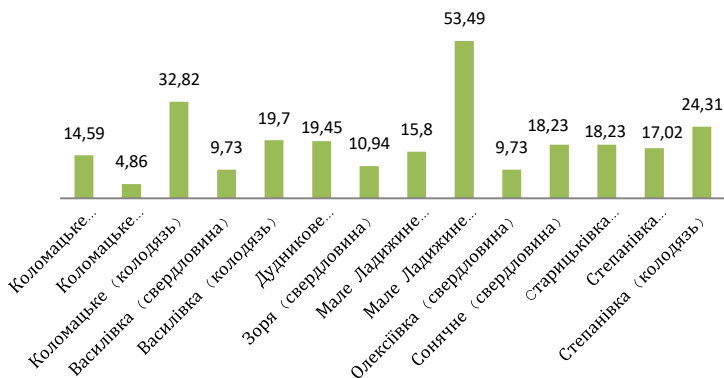


Рисунок 7 Уміст магнію у пробах води, мг/дм³

Але спостерігаються деякі невідповідності, безпосередньо у селах Коломацьке та Василівка, де значення показника є меншим від нормативного. Для колодязної води в селі Мале Ладижине характерне незначне перевищення нормативу.

Загальна лужність (норматив 0,5-6,5 ммоль/дм³) здебільшого в межах норми, але спостерігаються випадки її перевищення, що обумовлено гідрогеологічною будовою місцевості (рис. 8).

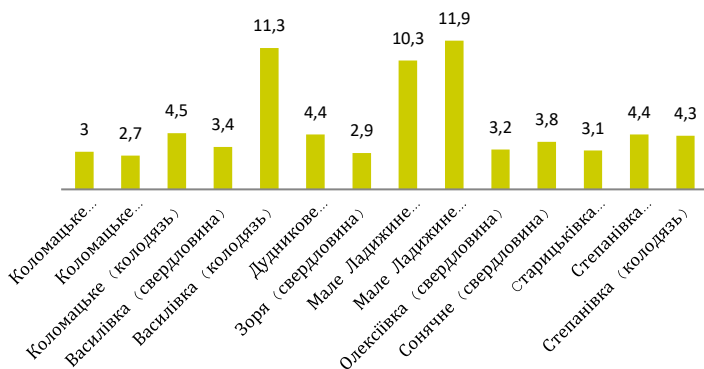


Рисунок 8 – Результати визначення загальної лужності у пробах води, ммоль/дм³

Серед проаналізованих 14 проб тільки для трьох встановлено задовільні параметри за всіма вищезазначеними показниками. Це свідчить про те, що вода в цих пробах може вважатися придатною для споживання без додаткового оброблення, оскільки її хімічний склад відповідає нормативним вимогам [14].

Порівнюючи результати аналізу проб таких показників, як нітрати, нітрити, амоній, залізо та сульфати з нормативними значеннями Директиви Ради 98/83/ЄС, спостерігається невідповідність європейським вимогам. За вмістом нітратів для чотирьох із 14 досліджуваних проб встановлено перевищення нормативних значень – 50 мг/дм³, за вмістом нітритів – значення у пробах наближене/дорівнює 0, за вмістом амонію – три проби мають перевищення норми 0,0005 мг/дм³, за вмістом заліза – значення у пробах наближене/дорівнює 0, за вмістом сульфатів – три проби мають перевищення норми 250 мг/дм³.

Ґрунтові води є критичним ресурсом для соціальних, економічних та екологічних потреб. Питання їх неефективного використання та забруднення потребує вирішення.

Основним джерелом забруднення вод Коломацької ТГ є сільське господарство, де використовуються нітратні добрива, пестициди та гербіциди. Дослідження якості води виявило перевищення нормативів за вмістом нітратів, кальцію, магнію та інших показників, що потребує впровадження коригуючих заходів. Для забезпечення якісною питною водою населення в Коломацькій громаді потрібно організувати регулярний моніторинг. Для сталого розвитку громади необхідна збалансована стратегія управління водними ресурсами, враховуючи досвід ЄС. Досягнення Цілей сталого розвитку, зокрема Цілі 6, передбачає забезпечення доступу до безпечної води, зменшення забруднення, очищення стічних вод і підвищення ефективності водокористування.

У Коломацькій громаді це можливо шляхом впровадження сучасних екологічно безпечних технологій, міжнародної співпраці та залучення фінансів. Дослідження проб води показало, що лише три з них відповідають нормативам, тоді як у інших виявлено відхилення від стандартів, особливо за кількістю нітратів.

Використані інформаційні джерела:

1. Робоча група з розробки Стратегії розвитку Коломацької сільської територіальної громади до 2027 року під керівництвом Почечун Є.О. (2024). Стратегія розвитку Коломацької сільської територіальної громади до 2027 року, 12–20.

2. Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» від 10.01.2002 № 2918-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>

3. Підземні води. URL: <https://www.emergency-wash.org/water/uk/tekhnohii/technology/groundwater#!>

4. Програма розвитку ООН. Що таке цілі сталого розвитку? URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>

5. Дія. Бізнес. (2024). Ціль 6. Чиста вода та відповідні санітарні умови. URL: https://business.diia.gov.ua/entrepreneurhandbook/item/cil_6_chista_voda_ta_nalezhni_sanitarni_umovi

6. Мережа Глобального договору в Україні. Цілі сталого розвитку 17. Чиста вода та санітарія. Забезпечити доступність і стає використання води та санітарії для всіх. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/>

7. Екософт. (2023). Вимоги до якості питної води. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/trebovaniya-k-kachestvu-pitevoy-vody/>

8. Охріменко О. Хімічний склад і класифікація природних вод. Роль наук про Землю в національній економіці. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон : ДВНЗ «ХДАУ», 2019. С. 203.

9. Марінцова Н.Г., Половкович С.В., Новіков В.П. Біологічна хімія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. С. 336

10. Кримець Г. (2017). Залізо у воді. Чим небезпечний високий вміст заліза у воді? URL: <https://himanaliz.ua/uk/zalizo-u-vodi/>

11. Хлориди та хлор у воді: джерела, вплив та методи очищення. .(2023).
URL: <https://www.aquanova.com.ua/ua/stati-i-obzory/khlorydy-ta-khlor-u-vodi-ua/>
12. Голик Ю.С., Ілляш О.Е. Екологія Полтавщини. Аналіз стану виконання Програми охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної політики з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на період до 2010 року. Полтава : Полтавський літератор, 2006.
13. Світова медицина: сучасні тенденції та фактори розвитку. Збірник тез наукових доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції. Львів : ГО «Львівська медична громада», 2017. С. 101.
14. Державні санітарні норми і правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). (2010).
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
15. Бунякіна Н. В., Дрючко О. Г., Бурда А. Ю. Оцінка якості питної води міста Полтава за фізіологічною цінністю мінерального складу. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження – 2023* Зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (7–8 груд. 2023 р.). Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2023. С. 30–32.
16. Загальна лужність як властивість води. URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/906-zahalna-luzhnist-iak-vlastyvist-vody>
17. МВВ №081/12-0175-05. Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика вимірювання масової концентрації заліза загального фотоколориметричним методом з роданідом. К. : Держспоживстандарт України, 2005. С. 11.
18. МВВ №081/12-0177-05. Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика вимірювання масової концентрації сульфатів титриметричним методом. К. : Держспоживстандарт України, 2005. С. 10.
19. МВВ 081/12-0004-01. Поверхневі та очищені стічні води. Методика вимірювання масової концентрації хлоридів методом аргентометричного титрування. Київ : (УкрЦСМ), 2002. С. 14.
20. МВВ 081/12-0006-01. Поверхневі та очищені стічні води. Методика вимірювання масової концентрації кальцію та магнію титриметричним методом. К.: Держстандарт України, 2002. С. 14.
21. ДСТУ ISO 9963-1:2007. Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT). К. : Держспоживстандарт України, 2007. С. 5.
22. МВВ №081/12-0106-03. Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика вимірювання масової концентрації іонів амонію фотоколориметричним методом з реактивом Несслера. К. : Держспоживстандарт України, 2003. С. 14.
23. МВВ №081/12-0651-09. Зворотні, поверхневі, підземні води. Методика вимірювання масової концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом. К. : Держспоживстандарт України, 2009. С. 14.
24. КНД 211.1.4.023-95. Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах, 1995. С.4.

ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА МИКОЛАЇВ

Магась Н.І., кандидат технічних наук, доцент, **Соченінова І.О.**,
здобувач другого (магістерського рівня) вищої освіти

*Кафедра екології та природоохоронних технологій
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN MYKOLAIV
Magas N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Socheninova I., magister

*Department of Ecology and Environmental Technologies
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine*

Анотація. У роботі представлено результати оцінки та аналізу рівня забруднення атмосферного повітря у місті Миколаїв за даними моніторингу на мережі стаціонарних пунктів спостережень у 2019-2024 роках. Встановлено, що переважними джерелами викидів в атмосферне повітря є пересувні джерела, обсяги викидів яких складають більше 75%. За значенням індексу забруднення атмосфери місто Миколаїв входить до десятка найбільш забруднених міст України. Перевищення встановлених нормативів якості повітря спостерігається по оксиду вуглецю, діоксиду азоту та формальдегіду. Найбільший рівень забруднення спостерігається в районах інтенсивного руху транспорту та промислової зони. В загальному стан повітряного басейну оцінено як забруднене, а рівень забруднення – високий. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування та розробки регіональних природоохоронних програм із метою зниження рівня забруднення атмосферного повітря міста, а також пропозицій щодо оптимізації мережі моніторингу атмосферного повітря.
Ключові слова: забруднення повітря, джерела викидів, пости спостереження, моніторинг, оцінка якості повітря, індекс забруднення.

Abstract. This work deals with the results of the assessment and analysis of the level of air pollution in Mykolaiv based on monitoring data from a network of stationary observation points in 2019-2024. It has been established that the predominant sources of air emissions are mobile sources, with emissions of more than 75 %. According to the air pollution index, Mykolaiv is among the ten most polluted cities in Ukraine. Exceedance of the established air quality standards is observed for carbon monoxide, nitrogen dioxide and formaldehyde. The highest level of pollution is observed in the

areas of intensive traffic and the industrial zone. In general, the state of the air basin is assessed as polluted, and the level of pollution is high. The results obtained can be used to substantiate and develop regional environmental programs to reduce the level of air pollution in the city, as well as proposals for optimizing the air monitoring network.

Keywords: *air pollution, emission sources, observation posts, monitoring, air quality assessment, pollution index.*

Забруднення атмосферного повітря посідає перше місце за ступенем хімічної небезпеки для людини. Особливо гостро проблема забруднення повітряного середовища відчувається в урбанізованих регіонах. Через значний вміст у повітрі шкідливих домішок антропогенного походження, ці території є зонами ризику для здоров'я населення.

Стан і якість повітряного басейну міст України в останні роки значно погіршується не тільки через вплив стаціонарних і пересувних джерел забруднення, а й через воєнні дії в країні. Вибухи, пожежі, викиди від знищених об'єктів промисловості та нафтобаз, а також руйнування транспортної інфраструктури суттєво впливають на якість повітря, особливо в районах інтенсивних бойових дій. Місто Миколаїв є одним із тих, що опинилися в епіцентрі бойових дій. Регіон неодноразово зазнавав обстрілів і бомбардувань, що суттєво впливало на стан атмосферного повітря.

Слід відзначити, що ще з довоєнного періоду, за даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського місто Миколаїв за значенням індексу забруднення атмосфери входить до переліку найбільш забруднених міст України [1, 2]: 2019 р. – 5 місце, 2020 р. – 7 місце, 2021 р. – 7 місце, 2022 р. – 5 місце, 2023 р. – 4 місце. Тому тема дослідження є актуальною і необхідною в сучасних умовах.

Метою роботи є оцінка і аналіз рівня забруднення атмосферного повітря на території міста Миколаїв за даними автоматизованих стаціонарних систем спостереження.

В якості вихідних даних у роботі використані офіційні дані статистичної звітності про викиди забруднюючих речовин та рівень забруднення атмосферного повітря на території Миколаївської області, офіційні дані та матеріали моніторингу якості атмосферного повітря на мережі стаціонарних пунктів спостережень у 2019-2023 років, надані Миколаївським обласним центром з гідрометеорології.

Оцінку якості атмосферного повітря у місті Миколаїв було виконано з використанням двох основних підходів (методів) [3, 4]:

1) метод порівняння, який базується на порівнянні визначеної або розрахованої величини будь-якого показника (параметра) з

нормативним значенням – метод гранично допустимої концентрації (ГДК);

2) метод інтегральної оцінки, який дозволяє надати оцінку якості повітряного басейну окремого району або населеного пункту в цілому за певними забруднюючими речовинами (ЗР) на основі розрахунку комплексних показників.

Для оцінки якості атмосферного повітря було використано Державні медико-санітарні нормативи, затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 10 травня 2024 року №813 [5]. Оцінку рівня забруднення повітря на урбанізованих територіях проводили за кратністю перевищення ГДК середніми річними концентраціями ЗР осередненими за багаторічний період за логічною функцією:

$$R(P_k) = \left\{ \begin{array}{l} K_4, \text{ якщо } k_2^k \leq P_k \leq k_3^k \\ K_3, \text{ якщо } k_1^k \leq P_k < k_2^k \\ K_2, \text{ якщо } k_0^k \leq P_k < k_1^k \\ K_1, \text{ якщо } P_k < k_0^k \end{array} \right\},$$

де k_i^k – критерії рівня забруднення повітря (перевищення ГДК),

а саме: $k_0^k = 1$, $k_1^k = 2$, $k_2^k = 3$, $k_3^k = 6$.

Класифікацію рівня забруднення повітря урбанізованих територій визначено множиною логічних альтернатив $K_i \in K$, що представлено вектором $K = (K_4, K_3, K_2, K_1) =$ (рівень забруднення: «екстремально високий», «високий», «підвищений», «допустимий»).

Для оцінки якості атмосферного повітря було використано інтегральні показники, які дозволяють виконати аналіз рівня забруднення за окремими ЗР (групою ЗР) або оцінку фонового забруднення по місту в цілому.

Оцінку рівня забруднення атмосфери окремими забруднювачами, з урахуванням класу небезпеки речовин, здійснено за значеннями індексу забруднення атмосфери (I) [3, 6, 7]. За значенням розрахованого комплексного індексу забруднення атмосфери (I_n) визначено клас забруднення повітря [7, 4].

Використання таких методів оцінки дозволило зробити порівняльний аналіз рівня забруднення атмосферного повітря у різні роки та періоди року та визначити райони міста з найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря.

Згідно даних статистичної звітності, станом на 01.01.2024 року,

на території Миколаївської області понад 445 суб'єктів господарювання у процесі діяльності здійснюють викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Більшість із них розміщена на території міста Миколаїв. Найбільші обсяги викидів забруднюючих речовин (ЗР) в атмосферне повітря мають підприємства переробної промисловості (45%), підприємства, які виробляють та розподіляють, електроенергію, газ та воду (22,4%), транспортні підприємства (8%), підприємства по виробництву харчових продуктів (5,3%) [8, 9, 10, 4]. Проте, основними забруднювачами атмосфери в області та в місті Миколаєві є пересувні джерела. Від них до атмосферного повітря надходять в середньому в 3,5-4 рази більші об'єми викидів, ніж відстаціонарних об'єктів (рис. 1). На рис. 1 відображено дані про викиди від автомобільного транспорту, які розраховано на основі статистичних даних про обсяг роздрібного продажу світлих нафтопродуктів і газу через АЗС (№1-торг (нафтопродукти) та про кінцеве використання палива автомобільним транспортом юридичних осіб (№4-мтп (річна) [12].

До початку воєнних дій, значна частина забруднення припадала на транзитний транспорт, що курсував містом до портів та перевантажувальних терміналів. Із початком воєнних дій кількість вантажних перевезень значно зменшилась, що вплинуло на загальну кількість викидів від пересувних джерел по області.

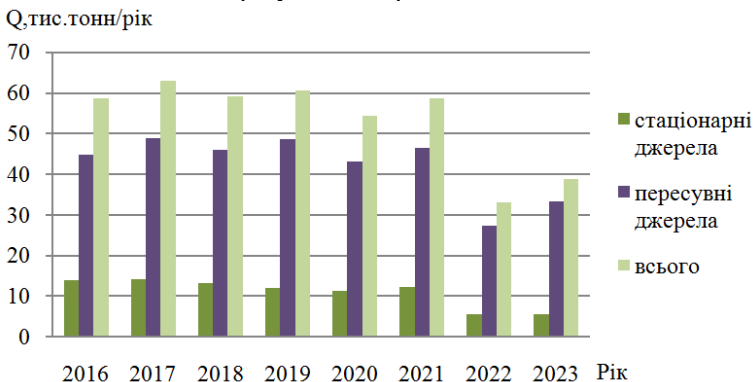


Рисунок 1 – Динаміка викидів забруднюючих речовин на території Миколаївської області [за даними 8, 9, 11, 12]

Порівнюючи щорічні дані про викиди від стаціонарних джерел по області в цілому (рис. 2), чітко бачимо, що місто Миколаїв за обсягами посідає перше місце серед інших міст регіону, а об'єм викидів складає більше 30% від загальних викидів по області. Загальні обсяги викидів ЗР у довоєнний період

збільшувались, у першу чергу, за рахунок збільшення викидів у місті Миколаєві. Тимчасова зупинка роботи більшості підприємств в області у зв'язку з воєнними діями призвели до різкого зменшення об'ємів викидів.

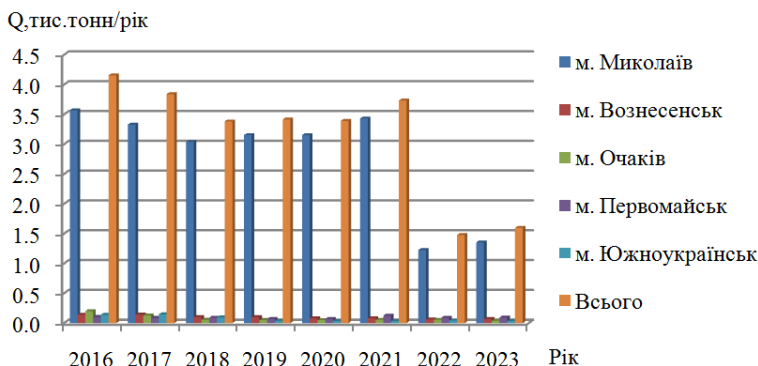


Рисунок 2 – Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у містах Миколаївської області [за даними 8, 9]

Згідно даних головного управління статистики в Миколаївській області у загальній кількості забруднюючих речовин, що поступають у атмосферне повітря від стаціонарних джерел у місті Миколаєві впродовж року переважають викиди твердих речовин 26,1%, метану 25,0% та сполук азоту 23,1% [4, 8, 10]. На рисунку 3 показано співвідношення шкідливих забруднюючих речовин у викидах стаціонарних джерел.



Рисунок 3 – Хімічний склад викидів шкідливих речовин від стаціонарних джерел за даними 2023 року, % [за даними 8, 10, 11]

Цікавим також є аналіз динаміки викидів основних забруднюючих речовин. На рисунку 4 наведено відомості щодо обсягів викидів цих речовин від стаціонарних джерел за багаторічний період.

Q, тис. тонн

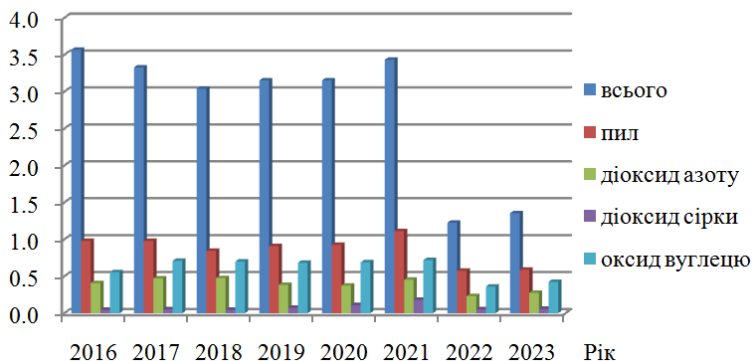


Рисунок 4 – Динаміка викидів основних ЗР від стаціонарних джерел у місті Миколаєві [8, 9, 11]

Спостерігається значне зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у 2022 році, що можна пояснити тимчасовою зупинкою виробничих процесів після початку воєнних дій у країні. Значних змін у відсотковому відношенні між обсягами викидів за усіма основними забруднюючими речовинами не стерігалось. Трохи зменшились показники викидів по пилу і діоксиду азоту. Максимальні значення показників викидів відзначаються у всі роки за пилом.

Спостереження за якістю атмосферного повітря у місті Миколаєві виконуються Миколаївським обласним центром із гідрометеорології на 4 стаціонарних пунктах спостережень (ПСЗ) [4] (рис. 5):

ПСЗ №1 – вул. Обсерваторна, 1 (санітарна зона), що розташований у Заводському районі;

ПСЗ №2 – вул. Погранична – пр. Богоявленський (район інтенсивного руху) у Інгульському районі;

ПСЗ №3 – вул. 12Лінія-7^а Повздовжня (промзона) у Інгульському районі;

ПСЗ №4 – вул. Соборна, обласний Палац культури (центр міста) у Центральному районі.

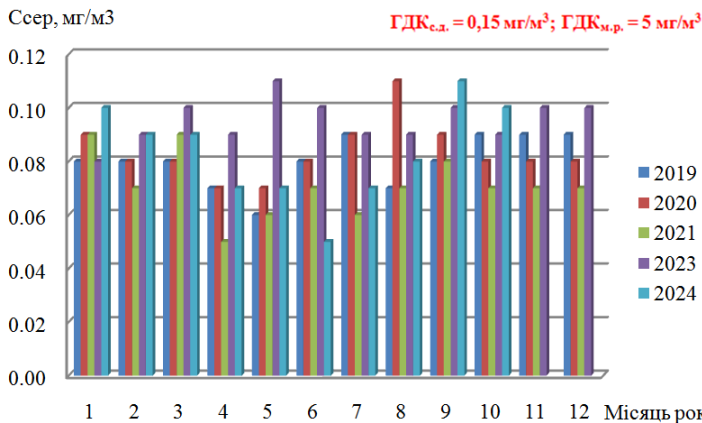


Рисунок 6 – Річний хід зміни концентрацій пилу в атмосферному повітрі міста Миколаєва

Було проаналізовано просторовий розподіл пилу по території міста, на всіх пунктах спостереження, в окремі роки. Аналіз отриманих результатів показує, що розподіл вмісту пилу впродовж року по території міста характеризувався схожими тенденціями. Однак, найбільш чистою є територія міста в районі розташування ПСЗ №1, в районі вул. Обсерваторної (рис. 7). Збільшення концентрацій пилу відзначалось у східному напрямі.

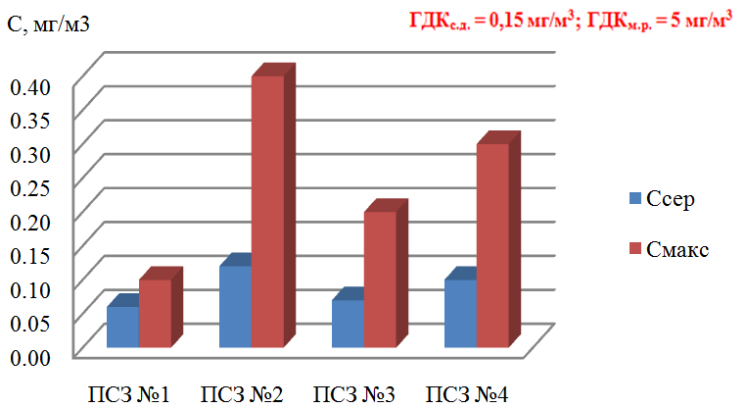


Рисунок 7 – Рівень забруднення атмосферного повітря пилом по ПСЗ міста Миколаїв

Найбільш забрудненими були район міжміського автовокзалу (ПСЗ № 2) і центральна частина міста (ПСЗ № 4), що пояснюється

інтенсивним рухом автотранспорту. При цьому середньорічний вміст пилу по території міста змінювався незначно.

На рисунку 8 наведено сезонну динаміку концентрацій діоксиду сірки. З рисунку видно, що максимальні концентрації домішки відзначались у літньо-осінній період. Абсолютний максимум відзначено у липні та серпні. Підвищення концентрації діоксиду сірки у літній період може бути обумовлено більш інтенсивною роботою малих підприємств.

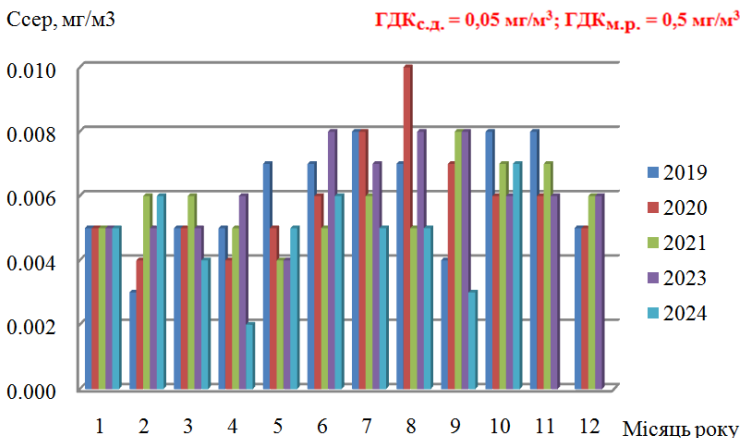


Рисунок 8 – Річний хід зміни концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі міста Миколаїв

Просторовий розподіл концентрацій діоксиду сірки по території міста окремих ПСЗ наведено на рис. 9.

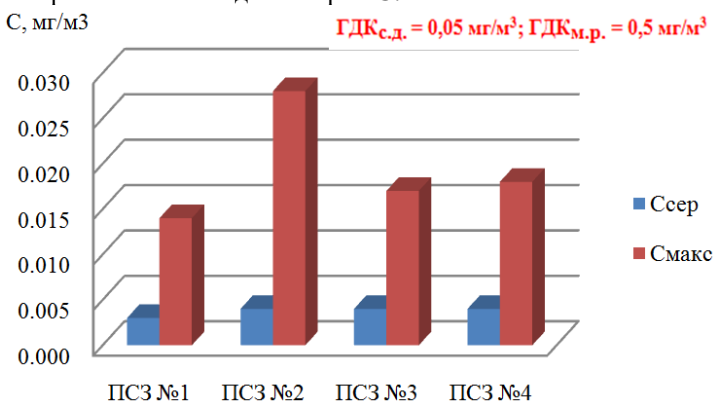


Рисунок 9 – Рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки по ПСЗ міста Миколаїв

У цілому, концентрації діоксиду сірки по території міста не зазнавали суттєвих змін, перевищень значень ГДК по всій території міста не було. Найбільші концентрації діоксиду сірки спостерігались у районі міжміського автовокзалу (ПСЗ №2), в районі інтенсивного руху автотранспорту, і складали 0,56 ГДК_{с.д.}.

Сезонну динаміку концентрацій діоксиду азоту наведено на рис. 10.

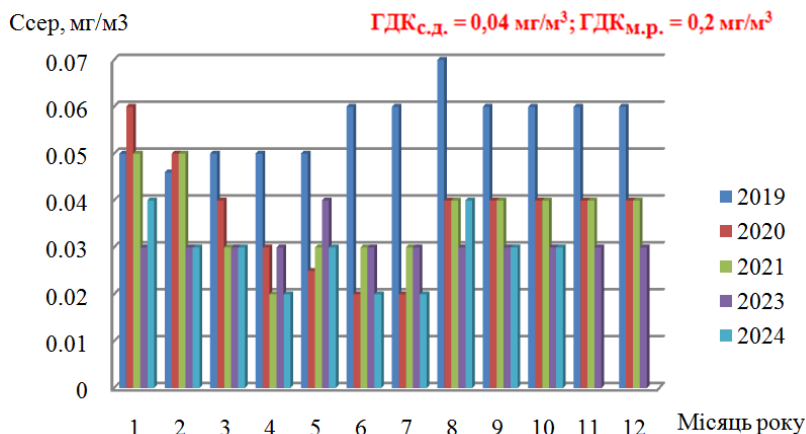


Рисунок 10 – Річний хід зміни концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі міста Миколаїв

Із наведеного рисунку видно, що у переважній більшості за період дослідження максимальні концентрації діоксиду азоту відзначались у 2019 році, що складає 1,25-1,75 ГДК_{с.д.}. Підвищення вмісту вказаної ЗР відзначається у літній період року, що пов'язано з інтенсифікацією руху автотранспорту. Інша ситуація спостерігається у 2020 та 2021 роках, де у літній період спостерігається зниження рівня забруднення та підвищення концентрації діоксиду азоту у осінньо-зимовий період. Таку ситуацію можна пояснити, що основним джерелом забруднення є стаціонарні джерела, що працюють під час опалювального сезону. Тобто підвищення концентрації викликане викидами при спалюванні палива у котлах. Після повномасштабного вторгнення РФ на територію України, спостерігається значне зниження концентрації діоксид азоту, дане явище можна пояснити зменшення викидів ЗР від стаціонарних джерел, так як багато підприємств тимчасово припили свою роботу

На рис. 11 наведено просторовий розподіл вмісту діоксиду азоту в атмосферному повітрі по території міста по ПСЗ.

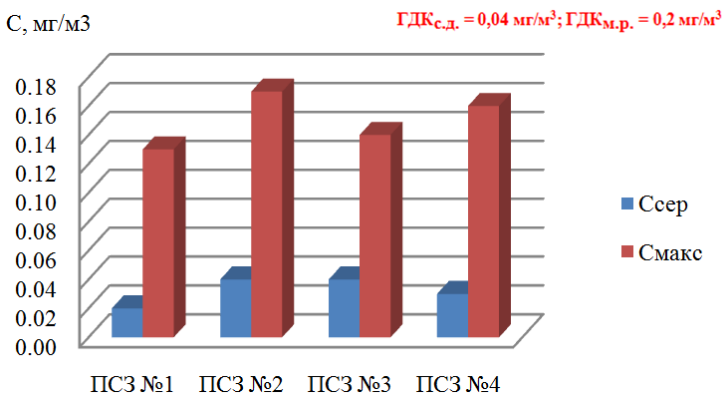


Рисунок 11 – Рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту по ПСЗ міста Миколаїв

Як видно з рисунку, у всі роки спостереження найбільш чистим районом міста є район розташування ПСЗ №1, в районі вул. Обсерваторної. У східному напрямі відзначається різке суттєве збільшення вмісту діоксиду азоту в атмосферному повітрі (в два рази й більше). Максимальні концентрації діоксиду азоту відзначаються переважно в районах інтенсивного руху автотранспорту.

Згідно аналізу сезонного ходу концентрацій діоксиду азоту по окремих ПСЗ міста Миколаїв, видно, що у всі роки по постах спостереження ПСЗ № 2, 3, 4 відзначаються підвищені концентрації діоксиду азоту.

На рис. 12 наведено сезонну динаміку концентрацій оксиду вуглецю.

Із представленого рисунку видно, що максимальні концентрації оксиду вуглецю у повітряному басейні міста Миколаїв відзначались у 2019 році. Відзначається збільшення середнього вмісту оксиду вуглецю у весняно-літній період із інтенсифікацією руху автомобільного транспорту.

Ссер, мг/м³

ГДК_{с.д.} = 3 мг/м³; ГДК_{м.р.} = 5 мг/м³

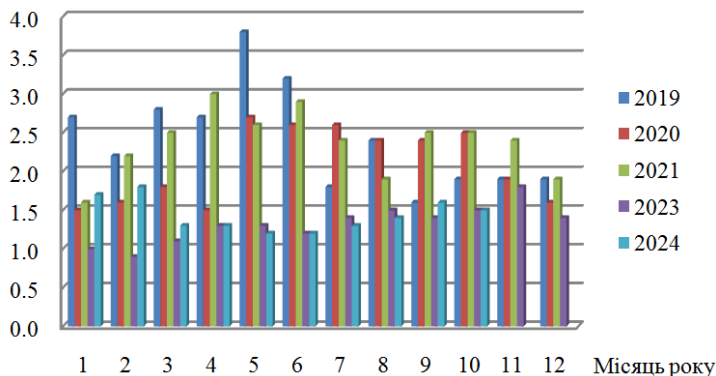


Рисунок 12 – Річний хід зміни концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міста Миколаїв

Розподіл середньорічних концентрацій та випадків найбільших концентрацій оксиду вуглецю по території міста наведено на рис. 13.

С, мг/м³

ГДК_{с.д.} = 3 мг/м³; ГДК_{м.р.} = 5 мг/м³

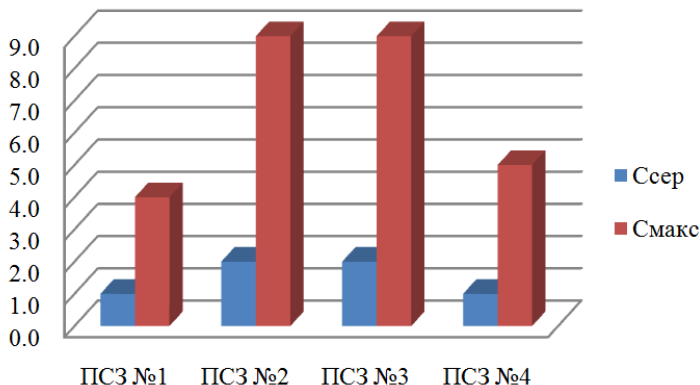


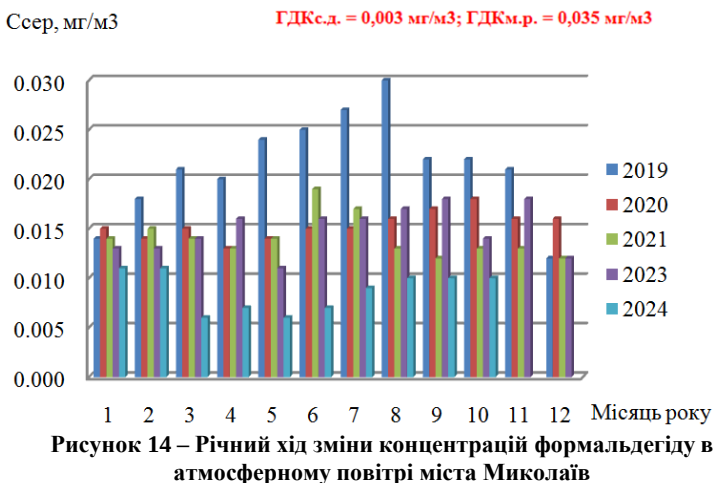
Рисунок 13 – Рівень забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю по ПСЗ міста Миколаїв

Як видно, просторовий розподіл оксиду вуглецю по території міста у характеризувався не однаковими тенденціями. Максимальні концентрації у відзначаються у східній частині міста в районі розташування ПСЗ №2 (поблизу міжміського автовокзалу) та ПСЗ №3 в районі Промзони. У цих районах концентрація оксиду вуглецю

досягала 1,9 ГДК_{м.р.}

Загальний аналіз динаміки зміни концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міста Миколаїв показав, що максимальні концентрації даної домішки відзначаються у весняно-літній період і в районах інтенсивного руху автомобільного транспорту.

Спостереження за вмістом формальдегіду в атмосферному повітря м. Миколаїв ведуться на всіх ПСЗ. На рис. 14 представлено сезонну динаміку зміни концентрацій формальдегіду.



Аналіз даних на рисунку показує, що у 2021 та 2024 роках вміст формальдегіду суттєво зменшився (в середньому в 1,5-2 рази). Чітко відстежується збільшення концентрацій у літньо-осінній період. Основним джерелом забруднення атмосферного повітря формальдегідом є пересувні джерела. У складі вихлопних газів автотранспорту вміст даної ЗР в декілька раз більший у порівнянні з викидами стаціонарних установок, що спалюють паливо. Крім того, обсяги надходження формальдегіду в атмосферне повітря від різних автомобілів значною мірою визначаються типом пального. Найбільша кількість цієї ЗР надходить у повітря від автомобілів, що працюють на природному газі.

Тому саме зі зростанням частки автомобільного транспорту, який працює на природному газі, можуть бути пов'язані високі концентрації формальдегіду у повітрі. Саме тому у повітрі міст України, що характерно і для міста Миколаєва, у весняно-літній період відзначається підвищений вміст формальдегіду.

Просторовий розподіл середньорічних та максимальних концентрацій формальдегіду по території міста наведено на рис. 15.

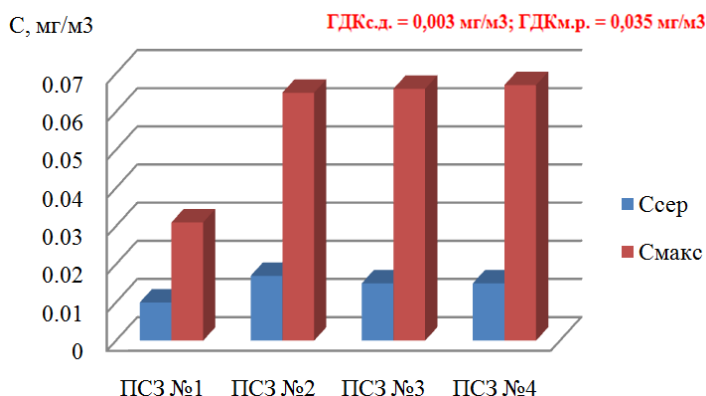


Рисунок 15 – Рівень забруднення атмосферного повітря формальдегідом по ПСЗ місту Миколаїв

Як видно з рисунків, концентрація формальдегіду за весь період дослідження та у всіх точках контролю значно перевищувала значення ГДК. Найвищі концентрації спостерігаються на ділянках з інтенсивним рухом автотранспорту ПСЗ №2, 3, 4. Відсоток повторюваності концентрацій, вищий за ГДК_{м.р.}, був найбільшим в районах міжміського автовокзалу та Промзони.

Оцінку рівня забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва основними забруднюючими речовинами було проведено на основі розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери. Результати розрахунків одиничних індексів забруднення атмосфери наведено у табл. 1.

Аналіз отриманих даних у таблиці показує, що індекс забруднення атмосфери I_i перевищує 1 для оксиду вуглецю, діоксиду азоту та формальдегіду (дані позначені червоним кольором), що свідчить про недотримання санітарно-гігієнічних вимог якості атмосферного повітря у місті Миколаїв. Усі ці забруднюючі речовини входять до переліку речовин із максимальними значеннями концентрацій, тобто ті, які формують значення індексу I_n . На рисунку 16 наведено результати розрахунку та річний хід зміни комплексного індексу забруднення атмосфери у місті Миколаїв.

Таблиця 1 – Значення індексів забруднення атмосфери міста Миколаєва основними забруднюючими речовинами

Забруднююча речовина	Період дослідження				
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2023 р.	2024р.
CO	1,93	1,15	1,40	0,51	0,48
SO ₂	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
пил	0,89	0,72	0,77	0,70	0,59
NO ₂	1,77	1,10	1,00	0,80	0,75
NO	0,44	0,44	0,18	0,15	0,12
H ₂ CO	7,96	4,98	4,59	4,26	2,68

Як видно з представленого рисунку, рівень забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві у 2020 та 2021 роках суттєво знизився (в окремі періоди року в два й більше разів). У цілому, максимальні значення I_n відзначаються у 2019 роі. Суттєве зниження рівня забруднення повітряного басейну Миколаєва відбулося, в першу чергу, за рахунок зменшення вмісту формальдегіду.

Згідно з отриманими даними, у 2019 році стан повітряного басейну міста Миколаїв характеризувався категорією «забруднена» – «сильно забруднена», у 2020 та 2021 роках – категорією «забруднена» [4, 14].

I_n , ум.од.

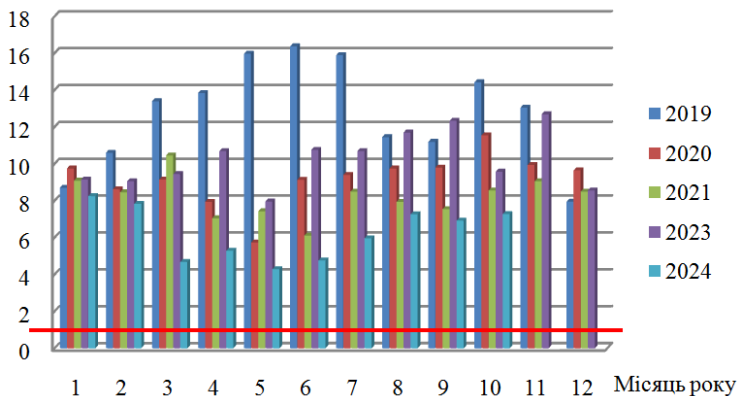


Рисунок 16 – Значення комплексного індексу забруднення атмосфери I_n міста Миколаїв у 2019-2024 роках

За даними багаторічних спостережень за забрудненням атмосферного повітря на постах спостереження у місті Миколаїв, було виконано оцінку рівня забруднення, виходячи із значень перевищення ГДК, та здійснено ранжування рівня забруднення атмосферного повітря місті Миколаїв за вмістом основних забруднюючих речовин (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка забруднення атмосферного повітря міста Миколаїв за рівнем перевищення ГДК окремими забруднюючими речовинами

Допустимий рівень (ГДК < 1)	Підвищений рівень (1 ≤ ГДК < 2)	Високий рівень (2 ≤ ГДК < 3)	Дуже високий рівень (3 ≤ ГДК < 6)	Екстремально високий рівень (6 ≤ ГДК)
<i>пил</i>				
2019, 2020, 2021, 2023, 2024 р.р	–	–	–	–
<i>діоксид сірки</i>				
2019, 2020, 2021, 2023, 2024 р.р	–	–	–	–
<i>оксид вуглецю</i>				
2023, 2024 р.р	2019, 2020, 2021р.р.	–	–	–
<i>діоксид азоту</i>				
2023, 2024 р.р.	2019, 2020, 2021р.р	–	–	–
<i>формальдегід</i>				
–	–	–	–	2019,2020,2021, 2023,2024р.р

Як видно, рівень забруднення повітряного басейну міста:

- за вмістом пилу та діоксиду сірки у всі роки, а також за вмістом оксиду вуглецю у 2020-2024 роках характеризується як допустимий;
- за вмістом діоксиду азоту та оксиду вуглецю (у 2019-2021 роках) спостерігалось підвищення, тоді як у 2023-2024 роках їх рівні відповідають допустимим значенням;
- за вмістом формальдегіду як екстремально високий.

Отже, за результатами аналізу отриманих даних, можна зробити висновок, що для повітряного простору міста Миколаєва характерне перевищення гранично допустимих концентрацій небезпечних полутантів (формальдегід, діоксид азоту, оксид вуглецю). Характерним

є не лише перевищення рівня середньодобових гранично допустимих концентрацій, а й максимально разових концентрацій. Особливо велика кратність перевищення ГДК_{с.д.} (до 8 разів і вище) характерна для формальдегіду. Перевищення гранично допустимих концентрацій більш характерне для весняно-осіннього періоду.

Серед основних полутантів, за якими ведеться моніторинг у місті Миколаєві, у комплексному впливі на рівень забруднення атмосферного повітря міста їх можна розмістити таким чином: 1 місце – H_2CO , 2 місце – NO_2 , 3 місце – CO , 4 місце – пил.

Одночасна присутність в повітрі NO_2 і H_2CO підсилює їхній негативний вплив, тобто вони діють синергічно. Збільшення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста Миколаєва стає суттєвим екологічним ризиком для населення міста.

За комплексною оцінкою забруднення атмосфери міста Миколаїв входить у першу п'ятірку найбільш забруднених міст України. За величиною комплексного індексу забруднення стан повітряного басейну оцінюється категорією «забруднений», а рівень забруднення атмосферного повітря міста Миколаєва – як високий (*In* більше 8).

Результати дослідження свідчать про критичну ситуацію у місті Миколаїв, що потребує розроблення регіональних природоохоронних програм із метою зниження рівня забруднення атмосферного повітря міста, а також пропозицій щодо оптимізації мережі моніторингу атмосферного повітря.

Використані інформаційні джерела

1. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними мережі моніторингу гідрометеорологічних організацій у 2023 році. Київ: ЦГО ім. Б. Срезневського, 2024. 41 с. URL: <http://www.cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/17-monitorinh-stanu-dovkillia/171-stan-zabrudnennya-prirodnogo-seredovishcha-na-teritoriji-ukrajini>

2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році, 514 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>

3. Сафранов Т. А., Адаменко Я. О., Приходько В. Ю., Шаніна Т. П., Чугай А. В., Колісник А. В. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Підручник. Одеса : Екологія, 2015. 244 с.

4. Соченінова І. О. Оцінка якості атмосферного повітря за даними автоматизованих та дистанційних систем спостереження: магістерська робота ; спец. 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / І. О. Соченінова ; наук. кер. Н. І. Магась. Миколаїв : НУК, 2024. 104 с. URL: <https://rep.nuos.edu.ua/server/api/core/bitstreams/5bd59f71-34f3-4bd8-ad71-6c4dff390c0f/content>

5. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів

допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 10 травня 2024 року № 813 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#n9>

6. Сніжко С. І., Шевченко О.Г., Данілова Н.О. Оцінка сучасного рівня та тенденцій забруднення формальдегідом атмосферного повітря міст України. *Укр. гідрометеоролог. журн.* 2014. Вип. 15. С. 5–15.

7. Сніжко С. І., Шевченко О.Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. К.: Обрії, 2011. 297 с.

8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області.

URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regionalreport/>

9. Екологічний паспорт Миколаївської області.

URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1631168384.pdf>

10. Стан навколишнього природного середовища м. Миколаїв.

URL: <https://mkrada.gov.ua/content/stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha.html>

11. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. Державна служба статистики України.

URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm

12. Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення за регіонами (2016-2020). Державна служба статистики України.

URL: <http://ukrstat.gov.ua/>

13. Стан атмосферного повітря у м. Миколаїв.

URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/standovk/air/>

14. Магась Н. І. Соченінова І. О. Оцінка рівня забруднення повітряного басейну в місті Миколаєві. *«Екологія. Довкілля. Енергозбереження»* : Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, Полтава. НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. С.219–223.

УДК 639.2.053 (477.63)

**ТРАНСФОРМАЦІЯ БІОТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ
ГІДРОЕКОСИСТЕМИ ШОЛОХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
(ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСТЬ)
ВНАСЛІДОК РІЗНИХ ЧИННИКІВ**

Новіцький Р. О., доктор біологічних наук, професор,
Кобяков Д. О., аспірант

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна

**TRANSFORMATION OF BIOTIC COMPONENTS OF
HYDROECOSYSTEMS OF SHOLOKHIVSKE RESERVOIR
(DNIPROPETROVSK REGION) DUE TO VARIOUS FACTORS**

Novitskyi R. O., Doctor of biological sciences, professor,
Kobyakov D. O., graduate student

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Анотація. В результаті комплексних ретроспективних та сучасних досліджень (2006-2024 роки) на акваторії Шолохівського водосховища (на річці Базавлук) виявлена значна трансформація біотичних компонентів гідроєкосистеми. На основі аналізу сучасних супутникових знімків водосховища встановлено, що його площа у 2024 році становить 619,68 га. За період 2006-2024 роки. Шолохівське водосховище втратило 78,50 га прибережних територій, що мали рибогосподарське значення, тобто 11,24% загальної площі. Берегова лінія водойми характеризується суцільним заростанням з незначною кількістю ділянок, що вільні від рослинності. Площа заростання берегової лінії становить 95,41 га (13,66% від площі 2006 року). Зросла кількість мілководних ділянок, на яких з'являються угруповання очерету звичайного. Відзначено збільшення площі заростання мілководних ділянок рдесниками та куширом. Такі трансформації відбуваються внаслідок впливу різних чинників: постійного низького рівневого режиму водосховища (у тому числі внаслідок значної випаровуваності води), відсутності антропогенного впливу на компоненти водної екосистеми – рибогосподарської діяльності, яка здатна регулювати співвідношення рослинних та хижих риб. Шляхами покращення якості водного середовища Шолохівського водосховища можуть бути: внесення змін у Положення про ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс», впровадження заходів біологічної меліорації.

Ключові слова. Україна, Шолохівське водосховище, річка Базавлук, гідроєкосистема, ландшафтний заказник, біологічна меліорація.

Abstract. As a result of comprehensive retrospective and contemporary studies (2006-2024) carried out in the aquatic area of the Sholokhivske reservoir (on the Bazavluk river), a significant transformation of the biotic components of the hydroecosystem was revealed. Based on the analysis of current satellite images of the reservoir, its area was estimated to cover 619,68 hectares in 2024. During the period from 2006 to 2024 the Sholokhivske reservoir lost 78.50 hectares of coastal areas of fishery importance, that is, 11,24% of the total area. The coastline of the reservoir is characterized by continuous overgrowth and scarce areas free of vegetation. The area of overgrown coastline is 95,41 hectares (13,66% of the area in 2006). The number of shallow water areas where groups of lake reed appear has increased. The area of shallow water areas overgrown with Potamogeton and hornwort has expanded. Such transformations are due to the effect of various factors: the constant low water level regime of the reservoir (including due to the significant evaporation), the absence of anthropogenic impact on the components of the aquatic ecosystem – fisheries, which is able to regulate the ratio of plant-eating and predatory fish. Ways to improve the quality of the aquatic environment of the Sholokhivske reservoir can be as follows: amendments to the Regulations on the national landscape reserve «Bazavlutskiy Coastal and River Complex»; introduction of biological reclamation measures.

Keywords. Ukraine, Sholokhivske reservoir, river Bazavluk, hydroecosystem, landscape reserve, biological reclamation.

Гідрографічна мережа басейну р. Дніпро в межах Дніпропетровської області представлена 317 річками, 127 середніми та малими водосховищами (Карачунівське, Південне, Шолохівське, Христофорівське, Кресівське, Макортівське та ін.) та 3450 ставками [6; 7]. Більшість малих водосховищ регіону є водоймами комплексного призначення і виконують енергетичні, водно-транспортні, водозабезпечувальні, рибогосподарські завдання.

Спеціальні товарні рибні господарства (СТРГ) є поширеною формою господарювання на малих і середніх водосховищах Дніпропетровської області. Діяльність таких господарств ґрунтується на штучному відтворенні і вселенні певних видів водних біоресурсів (інтродуцентів) та їх подальшому раціональному використанні. Завдяки зарибленню рослинними видами (товстолобиками) та коропом відбувається оптимізація трофічних ланцюгів гідроекосистеми на тлі уповільнення процесів евтрофікації водного об'єкта, його замулення та заростання.

У зв'язку з активними реформами у галузі рибного господарства України, численними законодавчими змінами спостерігається різке зменшення кількості СТРГ в Україні, і в Дніпропетровській області зокрема. Зменшення регульованого антропогенного тиску на водойми

(рибогосподарська діяльність, вселення рослинних риб, їх раціональне виловлення, заборона селективного любительського рибальства) призводить до непередбачуваних наслідків, таких як неконтрольоване заростання водойм вищою водною рослинністю, погіршення якості водного середовища, збільшення кількості малоцінних, непромислових видів риб тощо. Ці трансформаційні процеси у гідроекосистемах підсилюються впливом глобальних кліматичних змін [14].

Метою дослідження є вивчення трансформації біотичних компонентів гідроекосистеми Шолохівського водосховища на річці Базавлук (Дніпропетровська область) як частині ландшафтного заказника загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» унаслідок різних чинників.

Шолохівське водосховище на річці Базавлук знаходиться у Дніпропетровській області (у місці впадіння в річку Базавлук її правої притоки – річки Базавлучок). Його проектна площа – 1350 га. Ця водойма була створена у нижній течії річки Базавлук, в 12 км від гирла, в місті злиття річки з правою притокою – річки Базавлучок із метою сезонного регулювання стоку та захисту від повеней родовищ марганцю. Рік створення водосховища – 1959 рік. Загальна довжина водосховища 17,2 км, середня ширина – 0,8 км, максимальна – 2,0 км, площа водного дзеркала 13,5 км². Середня глибина складає 7 м, максимальна – 26,0 м, повний об'єм води – 97,0 млн.м³, корисний – 92,0 млн. м³. Протяжність берегової лінії – 49 км.

Відповідно до інформації Державного агентства водних ресурсів України Шолохівське водосховище є водосховищем комплексного призначення, яке використовується для захисту від повеней, технічного та питного водопостачання та зрошення.

Із моменту створення на Шолохівському водосховищі здійснювалася рибогосподарська діяльність, яка базувалася на основній чашоподібній акваторії з площею 911 га. Останні 20 років (з 2004 року) ця діяльність регламентувалася у відповідності до Режимів спеціалізованого товарного рибного господарства (СТРГ). До 2023 року діяв Режим СТРГ, затверджений Держкомрибгоспом України 01.12.2008 року, з доповненнями до Режиму, які затверджені Держкомрибгоспом України 07.12.2009 року, та Змінами до Режиму, затвердженими Державним агентством рибного господарства України 01.12.2013 року. Рибогосподарську експлуатацію Шолохівського водосховища здійснювало Сільськогосподарське риболовецьке товариство з додатковою відповідальністю ім. Б. Хмельницького (СРТДВ ім. Б. Хмельницького).

Як сама чаша водосховища, так і його прибережні природні системи включають скельні гранітні виходи, що перемежаються зі степовими цілининими куртинами. У Дніпропетровській області таке сполучення різноманітних ландшафтів у сукупності зі значною за площею водоймою, більше ніде не представлено. У зв'язку з цим, більша частина акваторії Шолохівського водосховища разом із прибережжями була зарезервована для подальшої організації ландшафтного заказника загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс».

11.04.2019 року Указом Президента України (№ 139/2019) [11] оголошено про створення територій та об'єктів природно-заповідного фонду заказниками загальнодержавного значення. Згідно цього Указу Президента, створений ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» (ЛЗ33 «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс»), який розташований у Нікопольському районі Дніпропетровської області і включає в себе долину нижньої течії річки Базавлук та її лівої притоки річки Солоної. Увійшла до складу новоствореного ландшафтного заказника акваторія Шолохівського водосховища, яке у той час експлуатувалось у Режимі спеціалізованого товарного рибного господарства (СТРГ).

У 2019 році за наказом Міністерства енергетики та захисту довкілля України № 284 (від 05.08.2019 р.) затверджено Положення про ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» (відповідно до ст. 5 Закону України «Про природно-заповідний фонд»).

Також Шолохівське водосховище та вся територія ЛЗ33 «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» входить до складу міжнародної природоохоронної території – Смарагдової мережі (*Emerald network*), що створена у рамках Бернської конвенції (об'єкт «Bazavluk» (Базавлук), код: UA0000467).

Комплексні гідроекологічні дослідження проводили у 2023-2024 роках на акваторії Шолохівського водосховища на річці Базавлук відповідно до тематики досліджень кафедри водних біоресурсів та аквакультури ДДАЕУ, а також згідно з Програмою проведення наукових рибогосподарських досліджень Науково-дослідного центру «Водні біоресурси та аквакультура» ДДАЕУ за напрямком: «Розробка науково-біологічних обґрунтувань та режимів рибогосподарської експлуатації водойм Дніпропетровської та інших областей України на 2022-2026 рр. включно» [9]. Були використані матеріали багаторічних даних, що зібрано вповодж моніторингових гідроекологічних досліджень водойми за період 2006-2024 роки, сучасних досліджень

ДДАЕУ, офіційні, літературні та інші джерела, раніше розроблені та погоджені у встановленому порядку наукові обґрунтування та доповнення до Режимів рибогосподарської експлуатації Шолохівського водосховища за 2009-2017, «Науково-біологічне обґрунтування Доповнення до Режиму рибогосподарської експлуатації Шолохівського водосховища на р. Базавлук (Дніпропетровська область) на період 2024-2037 рр.», а також матеріали, зібрані і узагальнені у 2023-2024 роках. Крім цього, використані статистичні та картографічні матеріали, отримані із відкритих джерел [3, 12, 13].

Більша частина Шолохівського водосховища входить до складу об'єкту ПЗФ – ландшафтного заказника загальнодержавного значення (ЛЗЗЗ) Базавлуцький прибережно-річковий комплекс. У межі ландшафтного заказника входить 594,60 га акваторії Шолохівського водосховища (центральне плесо та Миронівський рукав), а майже уся частина Слов'янського рукава – 103,58 га – знаходиться поза його межами. Зазначимо, що ландшафтний заказник знаходиться виключно в адміністративних межах Нікопольського району. Отже, охоронний статус має 85,16% загальної площі Шолохівського водосховища.

Метою створення об'єкту ПЗФ стало збереження та відтворення цінного ландшафтного комплексу, що включає в себе долину нижньої течії річки Базавлук та його лівої притоки – річки Солоні.

Ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» (далі – ЛЗЗЗ) має важливе природоохоронне значення завдяки збереженню унікальних елементів флори, фауни та гідрологічних особливостей регіону. Уваги заслуговують заплавні екосистеми, які представлені рідкісними видами водно-болотної рослинності. Згідно Положення на території ЛЗЗЗ «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» охороняються види орнітофауни та флори, що включені до Червоної книги України.

Під час аналізу супутникових знімків Шолохівського водосховища, починаючи з 2006 року та дотепер, стає дуже помітним поступове заростання мілководних ділянок вищою водною рослинністю (надводною). Встановлено, що у 2006 році площа водойми становила 698,18 га, а периметр складав 35693,52 м. Щільність заростання водними макрофітами характеризувалася неоднорідністю та зональністю у залежності від ділянки та складала 9,2% від загальної площі водойми. На окремих ділянках водойми помітна відсутність заростання повітряно-водною рослинністю.

Береги річки Базавлучок у нижній, передгирловій частині (Слов'янський рукав водосховища) практично не мають заростань повітряно-водною рослинністю, суттєве заростання прибережжя та

мілководь помітне поблизу плеса села Слов'янка. Повітряно-водна рослинність Слов'янського рукаву представлена здебільшого очеретом звичайним (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud.) та рогозом широколистим (*Typha latifolia* L.). На нижній частині рукава, у місці впадіння в центральне плесо водосховища, на берегах помітні виходи гранітних порід, на даній ділянці практично відсутня повітряно-водна рослинність, представлена здебільшого незначними угрупованнями очерету звичайного (розсіяно-плямистого типу).

Берегові ділянки річки Базавлук поблизу села Миронівка характеризуються незначними розрідженими заростаннями очеретом (переважно), зрідка рогозом широколистим та сусаком зонтичним (*Butomus umbellatus* L.). Зазначимо, що лівий берег є пологим та характеризується більшими площами заростання, а з правого берегу водна рослинність розріджена.

Відповідно, берегова лінія водосховища має незначне заростання та характеризується наявністю значної кількості ділянок без заростання. Заростання характеризуються як локальні.

Дослідження супутникових матеріалів 2017 року показали, що площа водосховища становить 688,75 га, а периметр – 36932,77 м. Порівнюючи з 2006 роком площа Шолохівського водосховища зменшилася на 9,43 га або 1,36%. На знімках щільність заростання рослинністю можемо охарактеризувати більш однорідною помітно, що ділянки вільні від повітряно-водної рослинності візуально зменшилися. Проте щільність заростання в даний період також характеризується нерівномірно та має певну зональність відповідно до ділянки водойми та становить в середньому 10,72%, що на 1,5% більше в порівнянні з 2006 роком.

Необхідно відзначити, що на Слов'янському рукаві помітне збільшення площі заростання мілководних ділянок водною рослинністю, що свідчить про процеси евтрофікації водойми. На ділянках, де не фіксувалася рослинність, з'являються їх розріджені угруповання. Зокрема відзначається обміління внаслідок відкладання значних мулистих покладів на ділянці поблизу села Слов'янка.

На Миронівському рукаві (нижня частина річки Базавлук) та центральному плесі водосховища відзначені незначні зміни у заростаннях. На окремих ділянках з'являються угруповання повітряно-водної рослинності та помітно обміління окремих ділянок.

Згідно матеріалів 2020 року, площа водойми становить 622,77 га, периметр – відповідно 32964,22 м. Якщо порівнювати з 2006 роком водосховище втратило 75,41 га або 10,80%. Відповідно периметр Шолохівського водосховища зменшився на 2729,30 м, що становить

7,6%. Відносно до 2017 року площа водосховища зменшилася на 65,98 га, або 9,57% від площі водойми 2017 року, а його периметр скоротився на 3968,55 м, що становить 10,7% від периметру 2017 року.

Заростання берегової лінії повітряно-водною рослинністю носить здебільшого суцільний та рівномірний характер із незначною кількістю вільних ділянок. Площа заростання становить 72,52 га або 10,38% від площі, що реєструвалася у 2006 році.

Варто відзначити втрату значної частини мілководдя на річці Базавлучок (Слов'янський рукав) у широкій частині плеса. Крім цього, відзначено появу угруповань вищої водної рослинності на ділянках, що в минулі роки були глибоководними, це може бути свідченням стрімкого обміління внаслідок надмірного накопичення органічної речовини.

На ділянці річки Базавлук (Миронівський рукав) у 2023-2024 роках помітне розростання очерету звичайного та рогозів. Заростання носить здебільшого суцільний характер та вкриває мілководні ділянки Миронівського рукава.

Безпосередньо центральне плесо Шолохівського водосховища також характеризується збільшенням площ заростання та обмілінням попередньо глибоководних прибережних ділянок. У даний період відзначається не значна кількість ділянок вільних від прибережної рослинності.

Відзначаємо, що за 11 років (період 2006-2017 роки) Шолохівське водосховище втратило 10,80% або 75,41 га площі акваторії, в середньому за рік втрачалось 6,85 га. Але за три наступні роки (2017-2020) було втрачено 9,57% або 65,98 га, тобто середній темп обміління досяг 21,99 га, що свідчить про збільшення темпів обміління у 3,21 рази.

Повільніші темпи обміління в період 2006-2017 роки можуть бути безпосередньо пов'язані з рибогосподарською експлуатацією водойми. Під час існування СТРГ водосховище активно зариблювали молоддю білого амура (*Ctenopharyngodon Idella Valenciennis*), білого товстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix Valenciennis*) і коропа (*Cyprinus carpio* L.) – біомеліорантами, які здатні уповільнювати процеси евтрофікації та накопичення рослинної біомаси. Оскільки білий амур живиться вищою водною рослинністю, він пригнічує її розвиток на мілководдях та їх заростання очеретом звичайним та рогозом широколистим. У свою чергу, білий товстолобик активно живиться фітопланктоном, у тому числі синьо-зеленими водоростями (ціанобактеріями). Завдяки цьому у водоймищі практично відсутні замори, що можуть викликатися надмірним розвитком ціанобактерій. Крім цього, білий товстолобик як біомеліорант активно споживає

детрит, що також сприяє покращенню якості водного середовища.

Свідченням позитивного впливу рибогосподарської експлуатації є повільніші темпи втрати території водосховища – в середньому 6,85 га/рік. Відсутність у 2017-2020 роках заходів зі вселення рослинодільних риб-інтродуцентів обумовила збільшення темпів обміління водосховища (внаслідок заростання) – 21,99 га/рік. У наступні роки цей процес на тлі підвищення середньорічних температур тільки прискорився.

Аналізуючи супутникові знімки, варто виділити декілька ділянок, де відбулися найбільші втрати території водосховища внаслідок заростання мілководдя. Переважно Шолохівське водосховище втратило мілководні ділянки, що виступали як нерестовища для іхтіофауни водойми. Крім цього, весною вони добре прогріваються, що дозволяє розвиватися кормовій базі для личинок та молоді риб. Слід припустити, що на мілководних ділянках відбувається активний розвиток зоопланктону, що відіграє важливу роль у розвитку молоді риб. Зазвичай мілководні ділянки та прибережжя характеризуються низькою швидкістю течії та розвиненою нижчою водною рослинністю, що слугує молоді риб укриттям від хижаків та в якості джерела їжі, зокрема тут відбувається концентрація та розвиток зоопланктону.

Отже, мілководні ділянки для іхтіофауни водойми мають важливе значення, адже на них відбувається нагул молоді в оптимальних умовах для цієї водойми, оскільки центральне плесо та МIRONIVSЬКИЙ рукав є переважно глибоководними та характеризуються практичною відсутністю нерестовищ.

Найбільше за 14 років деградувала мілководна ділянка Слов'янського рукава (на річці Базавлучок), її площа – 29,63 га, що становить 4,24% від площі станом на 2006 рік. Середній темп обміління становить 2,11 га/рік. Спостерігається суцільне заростання ділянки очеретом озерним та розгозом широколистим, що обумовлює активне заболочення та обміління Слов'янського рукава.

На рисунку 1 представлена динаміка змін площі водного дзеркала Шолохівського водосховища в залежності від періоду спостереження (станом на 2024 рік). Нами встановлено, що в період із 2006 року по 2017 рік спостерігається інтенсивна втрата територій рибогосподарського значення – 0,85 га/рік. Нині відбувається поступове осушення територій, що мають рибогосподарське значення.

Період із 2017 року по 2020 рік характеризується різким зменшенням площі водного об'єкту, за три роки – на 65,98 га. Це явище пояснюємо недостатніми обсягами зариблення рибами-інтродуцентами

або низькою якістю рибопосадкового матеріалу з попередніх зариблень водойми.

Крім цього, минулі дослідження промислових уловів на Шолохівському водосховищі показали наявність численних локальних популяцій окуня річкового (*Perca fluviatilis* L.) та судака звичайного (*Sander lucioperca*) у водоймі. Ці хижаки можуть активно живитися молоддю коропа, білого амура та товстолобика.



Рисунок 1 – Динаміка змін площі водного дзеркала Шолохівського водосховища за останні 18 років (2006-2024 роки)

На рисунку 2 наведено співвідношення площі водного дзеркала Шолохівського водосховища, що втратила рибогосподарське значення, до загальної площі водного об'єкту на момент спостереження. На цьому зображенні не представлено 2006 рік, оскільки саме з нього розпочаті спостереження.

У 2017 році площа ділянок гідробіоценозів, що втратили рибогосподарське значення, становить 9,43 га, що дорівнює 1,35% від загальної площі. А у 2020 році, порівняно з 2006 роком, втрачено 75,41 га, що в свою чергу становить 10,80%. Відзначимо, що площа водного об'єкту зменшилася в 1,12 рази.

Загалом у ході досліджень встановлено, що негативні процеси переформування водойми станом на 2024 рік призвели до втрати будь-якого рибогосподарського значення для 11,24% площі водосховища.

На основі аналізу сучасних супутникових знімків водосховища (<https://eos.com/landviewer>) нами встановлено, що площа Шолохівського водосховища у 2024 році становить 619,68 га, а периметр – 32901,72 м.

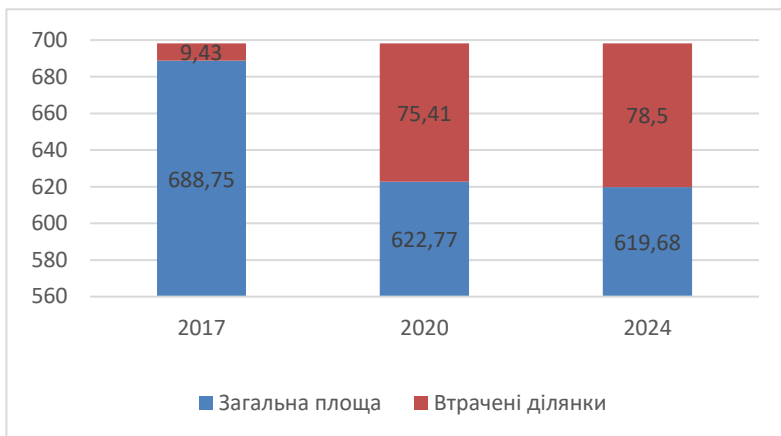


Рисунок 2 – Динаміка втрат площі Шолохівського водосховища за роками, га

Берегова лінія водойми характеризується суцільним заростанням з незначною кількістю незарослих ділянок. Площа заростання берегової лінії становить 95,41 га або 13,66% від площі 2006 року.

Крім цього, зростає кількість мілководних ділянок, на яких з'являються розріджені угруповання очерету звичайного. Відзначено збільшення площі заростання мілководних ділянок рдестами та куширом. У літній період практично вся мілководна акваторія Слов'янського рукава вкривається водною рослинністю. Здебільшого заростання носить суцільний характер.

Завдяки дистанційному зондуванню Землі (ДЗЗ) нами встановлено, що практично вся берегова лінія Шолохівського водосховища вкрита повітряно-водною рослинністю, смуга якої постійно збільшується.

На нашу думку, такі трансформації Шолохівського водосховища відбуваються внаслідок низького рівневого режиму водосховища (в тому числі завдяки значній випаровуваності води), а також за відсутності впливу на рослинність водоймища рослиноїдних видів гідробіонтів, які постійно вселялися у водойму до 2019 року.

Шляхами покращення якості водного середовища Шолохівського водосховища можуть бути: 1) внесення змін у Положення про ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс»; 2) впровадження заходів біологічної меліорації.

1. Зазначимо, що у Проекті створення ЛЗЗЗ «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» питання заборони промислового рибальства або діяльність спеціального товарного рибного господарства (відтворення і вилов риб-інтродуцентів) прямо не зазначається. У Проекті створення... та у Пояснювальній записці до матеріалів проекту ЛЗЗЗ повністю відсутні відомості про здійснення досліджень біорізноманіття гідробіонтів за групами, у тому числі іхтіофауни, переліку рідкісних видів риб, аналізу рибальства на Шолохівському водосховищі, що дає нам змогу стверджувати, що водні екосистеми річки Базавлук, їх флора та фауна, вплив на них діяльності у режимі спеціального товарного рибного господарства не вивчалися. Але у деталізованому п. 3. «Режим території та охорона» з'являється необґрунтований попередньо науковцями абзац *«забороняється будь-яка діяльність...у тому числі: будь-яке рибальство, за винятком любительського та спортивного рибальства з берега в спеціально відведених місцях»*.

Вважаємо, що науково обґрунтовані і регламентовані підстави для заборони будь-якого рибальства (без врахування любительського рибальства з берега) на Шолохівському водосховищі повністю відсутні. Враховуючи зафіксовані негативні процеси у гідробіоценозі Шолохівського водосховища пропонуємо внесення відповідних змін до існуючого Положення про ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс»:

– виключити із розділу 3 п. 3.1 Положення про ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс» абзац 19 *«будь-яке рибальство, за винятком любительського та спортивного рибальства з берега в спеціально відведених місцях»*, а також із абзацу 18 виключити фразу *«використання моторних малоїрних суден ...»*;

– абзац 16 викласти у такому вигляді *«турбування, знищення та відлов усіх видів тварин, крім спеціалізованого лову риб-біомеліорантів, зарозливих видів (сонячний окунь, карась сріблястий), а також річкових раків, розорення їх гнізд, нір, інших сховищ та жител, збір ясь»*;

– розділ 3 Положення, п. 3.2 «На території Заказника дозволяється у встановленому порядку:» доповнити наступною фразою: *«здійснення науково обґрунтованих біомеліоративних заходів для покращення якості водного середовища та збереження цілісності ландшафтних комплексів, а також для відновлення умов перебування представників рослинного і тваринного світу»*.

2. Впровадження біологічної меліорації на акваторії

Шолохівського водосховища.

Біомеліорація – це комплекс заходів, що спрямовані на покращення стану природних чи штучних екосистем, зокрема водойм, із використанням живих організмів. Цей процес базується на здатності рослин, тварин та мікроорганізмів здійснювати регуляторний вплив на фізико-хімічні та біологічні параметри середовища. Вони сприяють його очищенню, відновленню та збереженню рівноваги трофічних зв'язків. Біомеліорація охоплює широкий спектр процесів – очищення води від надлишкових біогенних елементів, розкладання та трансформація надмірної кількості органічної речовини, акумулювання та осадження важких металів та інших токсичних речовин, регулювання чисельності окремих видів організмів з метою відновлення екосистеми.

Метою біомеліорації є створення сприятливих умов для функціонування природних процесів з самоочищення екосистем [4; 5; 10].

Зазначимо, що відповідно до статті 17 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», біологічна меліорація за допомогою рослинорідних риб має статус природоохоронного заходу [8], що забезпечує її пріоритетність перед іншими заходами з використання Шолохівського водосховища.

Стан водойм часто порушується внаслідок впливу забруднення та змін в гідрологічному режимі, надмірній експлуатації біологічних ресурсів та евтрофікації. Наприклад, проблема надлишкового «цвітіння» водоростей, а також їх вилучення, стоїть надзвичайно гостро протягом понад 50-ти років. Привести характеристики води у водоймах до відповідних еколого-санітарних норм штучними технологічними засобами на нинішньому етапі розвитку техногенезу практично неможливо. Тому сьогодні залишається актуальною проблема пошуку природних засобів формування усталених екосистем і відновлення якісних характеристик води для подальшого питного водопостачання.

Штучна боротьба з «цвітінням» води на великих акваторіях неможлива і недоцільна. Задача полягає не в знищенні «цвітіння» води як явища, а в усуненні його негативних наслідків, в регулюванні процесу розвитку водоростей і раціонального їх вилучення. Продукція фітопланктону використовується іншими групами водних організмів і, в кінцевому підсумку, – рибами. Для скорочення трофічної ланки доцільно вводити в екосистему риб – споживачів планктону. Отже, великі водойми (водосховища) є важливими об'єктами для інтродукційних та відтворювальних робіт.

Серед перспективних об'єктів інтродукції у водосховища особливу увагу привернув до себе далекосхідний рослинорідний

комплекс риб. Цінність їх складається, перш за все, в здатності споживати вищу водну рослинність (білий амур) і фітопланктон (білий товстолобик і, частково, строкатий товстолобик), тобто утилізувати первинну біологічну продукцію водосховищ [1, 2]. Екологічний ефект при зарибленні рослиноїдними рибами (товстолобиками) виражається в активному споживанні фітопланктону (влітку), що запобігає виникненню масового «цвітіння» водоростей, а також утилізації детриту і загальному вилученню надлишкової органічної речовини, особливо навесні і в осінній період.

Для забезпечення підтримання необхідної якості водних ресурсів у Шолохівському водосховищі здійснені розрахунки обсягів вселення видів-біомеліорантів.

Норму щільності вселення білого амура (*Ctenopharyngodon idella*) розраховували, виходячи наявності потенційної біопродукції, отриманої за групою вищої водної рослинності (макрофітів). Щільність вселення становить 17,44 екз/га, що нижче рибогосподарських нормативів і є екологічно доцільним. Тобто, у водойму можна вселяти молодь білого амура (віком 0+) кількістю 10812 екз. індивідуальною наважкою 25 г і більше. Замість цьоголіток допустимо зарибнювати дволітками (1+) у кількості 6487 екз. (при наважці не менш 100 г). Норма щільності вселення коропа (*Cyprinus carpio*) у Шолохівське водосховище розрахована, виходячи з розрахунків потенційної біопродукції за групою основних природних кормів – донних організмів (зообентосу). Рекомендується вселення 17,5 екз./га на усю площу, що має рибогосподарське значення (619,68 га), тобто 10844 екз. цьоголіток. Допустимо інтродукувати замість цьоголіток дволіток (1+) у кількості 6506 екз.

Обсяги зариблення молоддю товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*) встановлювали, виходячи із показників продукції фітопланктону у водосховищі. Загальна кількість білого товстолобика, який може спожити обсяг продукції фітопланктону, дорівнює 44533 екз. цьоголіток (0+), або дволіток (1+) – 26719 екз.

Проведені дослідження в 2023-2024 року дозволяють зробити висновок щодо можливості ведення біомеліоративної діяльності по всій акваторії Шолохівського водосховища без негативного впливу на екологічний стан біотичних компонентів Шолохівського водосховища на річці Базавлук у межах ЛЗЗЗ «Базавлуцький прибережно-річковий комплекс». Ця біомеліоративна діяльність буде сприяти поліпшенню якості води та усталеному функціонуванню гідроєкосистеми.

Використані інформаційні джерела:

1. Бузевич І. Ю. Стан та перспективи рибогосподарського використання промислової іхтіофауни великих рівнинних водосховищ України // Дис... д.б.н. за спец. 03.00.10 – Іхтіологія. Київ, 2012. 297 с.
2. Вовк П. С., Стеценко Л. И. Рыбы-фитофаги в экосистеме водохранилищ. Киев : Наук. думка, 1985. 136 с.
3. Інформаційно-аналітичні матеріали щодо стану економічних показників рибного господарства України та ЄС / Ю. Є. Шарило, Н. М. Вдовенко, М. М. Павленко та ін. Київ: НУБіП, 2017. 32 с.
4. Новіцький Р. О., Кочет В. М., Христов О. О., Кузора В. Є. Сучасна характеристика іхтіофауни каналу «Дніпро-Донбас». *Вісник Харківського національного університету*. Сер. Біологія. 2015. Вип. 25. С. 191–195.
5. Новіцький Р. О. Впровадження інноваційних технологій біомеліорації на водоймах загального використання для підвищення якості водних ресурсів України. В кн.: Інноваційні розробки університетів і наукових установ МОН України ; за заг. ред. М. Стріхи та М. Ільченка. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. С. 255.
6. Новіцький Р. О. Інвазії чужорідних видів риб у дніпровські водосховища : монографія. Дніпро : ЛІРА, 2021. 280 с.
7. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України : Довідковий посібник. Київ : Ніка-Центр, 2001. 392 с.
8. Перелік видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів // Затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 17.09.1997 р. № 1147.
9. Програма проведення наукових рибогосподарських досліджень Науково-дослідного центру «Водні біоресурси та аквакультура» Дніпровського державного аграрно-економічного університету за напрямком: «Розробка науково-біологічних обґрунтувань та режимів рибогосподарської експлуатації водойм Дніпропетровської та інших областей України» на 2022–2026 рр. включно // затверджена Головою Держрибагентства України 20.06.2022 р. URL: https://darg.gov.ua/files/24/06_30_nauka29.pdf (дата звернення: 20.01.2025)
10. Станкевич В. П., Зоріна Л. В. Гідрологія та меліорація водних екосистем. Харків: ХНАУ, 2016.
11. Указ Президента України від 11 квітня 2019 року № 139/2019 «Про території та об'єкти природно-заповідного фонду загальнодержавного значення».
12. <https://earth.google.com/web>
13. <https://www.google.com/maps/place>
14. Novitsky R. The impact of global climate changes on aquatic ecosystems and fisheries. In monograph: Conception of management of the animal biodiversity transformations in the Steppe zone of Ukraine under climate change, Ed. by O.Y. Pakhomov. Rīga : Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 61–96

**ОСОБЛИВОСТІ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ (КОРИСНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ) ПРИРОДНИХ СИСТЕМ ПІВНІЧНО-
ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ**

Сафранов Т. А., доктор геолого-мінералогічних наук, професор,
Дьяченко М. Ю., аспірант

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Україна

**FEATURES OF THE ECOSYSTEM SERVICES (USEFUL
PROPERTIES) OF THE SUPPLY OF NATURAL SYSTEMS OF THE
NORTHWESTERN SHELF OF THE BLACK SEA**

Safranov T., Doctor of Geol.- Min Sciences, Professor,
Diachenko M., graduate student

Odessa I. I. Mechnikov National University, Ukraine

Анотація. Екосистемні послуги – це всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи, тобто матеріальні вигоди, що отримує людство від абіогенних і біогенних складових різноманітних природних екосистем. Замість терміну «екосистемні послуги» пропонується використовувати поняття «корисні властивості» природних систем, але з урахуванням широкого використання терміну «екосистемні послуги» у міжнародних і державних документах, також представляються можливим його використання. Методологічною основою дослідження є критичний аналіз існуючих підходів до оцінки екосистемних послуг. При виконанні роботи були використані опубліковані дані, а також матеріали власних доробок, присвячених дослідженню оцінки екосистемних послуг (корисних властивостей) природних систем. У роботі надана характеристика екосистемних послуг (корисних властивостей) регулювання, підтримування, постачання та культурних. Зазначено, що можливості використання екосистемних послуг (корисних властивостей) цих природних систем обмежені впливом різних форм антропогенної діяльності, а з лютого 2022 року – прямим чи опосередкованим впливом військової діяльності та бойових дій у межах акваторії та прилеглих ділянок узбережжя.

Ключові слова: екосистемні послуги, корисні властивості, природні системи, шельф

Abstract. Ecosystem services – encompass all beneficial resources and advantages that modern humanity can derive from nature, including the material benefits obtained from the abiotic and biotic components of various natural ecosystems. Instead of the term «ecosystem services», the concept of «useful properties» of natural systems is

proposed. However, given the widespread use of the term «ecosystem services» in international and governmental documents, its usage is also considered acceptable. The methodological basis of the study is a critical analysis of existing approaches to the assessment of ecosystem services. The research utilizes published data as well as materials from the author's own work dedicated to evaluating ecosystem services (beneficial properties) of natural systems. The paper provides a characterization of regulatory, supporting, provisioning, and cultural ecosystem services (useful properties). It is noted that the potential use of ecosystem services (useful properties) of these natural systems is limited by various forms of anthropogenic impact, and since February 2022 – by the direct or indirect influence of military activities and hostilities within the aquatic area and adjacent coastal zones. **Keywords:** *ecosystem services, beneficial properties, natural systems, shelf.*

Екосистемні послуги (ЕСП) – це всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи, тобто матеріальні вигоди, що отримує людство від абіогенних і біогенних складових різноманітних природних екосистем. Саме від ЕСП природних систем залежить задоволення потреб людства в середовищі існування й продуктах харчування, а також рівень та якість його життя, тому в Програмі ООН «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment, 2000) [1] їх називають «прямим та непрямим внеском у благополуччя людей». Всі ЕСП безкоштовні, оскільки люди не оплачують їх використання або споживання, але частину таких послуг оцінюють у грошовому еквіваленті, щоб оцінити масштаби втрат внаслідок втрати частини ЕСП природних систем, хоча проблема монетизації ЕСП має дискусійний характер. Варто зазначити, що в економічній теорії під «послугами» розуміють цілеспрямовану діяльність саме людини, результат якого має корисний ефект, задовольняючий будь-які потреби людини. Послугою вважається результат діяльності, матеріальний чи нематеріальний продукт, який виробник надає споживачу відповідно до встановлених вимог і до властивостей цього продукту або результату. Поняття «послуги» може трактуватися і як специфічна форма праці, і як результат праці (екологічні, освітні, інформаційні, консультаційні, юридичні, медичні послуги тощо). В цьому зв'язку, термін «послуги» некоректно використовувати відносно до природних екосистем (ЕС). Відомо, що у природокористуванні основним об'єктом досліджень є природна система (ПС), яка часто розглядається як синонім терміну «екосистема». Володіючи великою кількістю схожих елементів і зв'язків, ЕС і ПС розрізняються спрямованістю внутрішньосистемних зв'язків. Для моделі ЕС характерна спрямованість зв'язків із боку факторів «середовища» (об'єкт), насамперед, на головний об'єкт –

«господаря» (суб'єкт), а для моделі ПС типове визнання рівності всіх зв'язків. Із позицій природокористування інтерес можуть представляти як біогенні, так і абіогенні компоненти ПС, але оптимізація природокористування передбачає збереження сприятливих умов для існування і розвитку живих організмів і, передусім, людської популяції. Наприклад, якщо шельфову зону морів розглядати як ЕС, то головним об'єктом буде сукупність угруповань організмів (біоценоз), якщо ж шельфову зону морів розглядати як ПС, то біогенні і абіогенні компоненти будуть рівнозначними, а інтерес можуть представляти як біогенні, так і абіогенні природні ресурси, пріоритетність яких визначається нагальними потребами економіки. Оптимізація природокористування передбачає таку експлуатацію природних ресурсів, яка б не порушувала гомеостаз природної ЕС та зберігала сприятливі умови, для біоти і людини. На жаль, у багатьох випадках цього не дотримується (наприклад, при гострому дефіциті вуглеводневої сировини здійснюються пошуки, розвідкування і експлуатація нафтогазових покладів у шельфовій зоні морів, а проблеми збереження біологічного різноманіття може відсуватися на другий план. Із позицій оптимізації природокористування правильніше говорити не про використання природних ресурсів, а про використання їх певної частини, тобто про природно-ресурсний потенціал, під яким у регіональному аспекті розуміється здатність ПС без шкоди для себе (а, отже, і для людей) віддавати необхідну для людства продукцію або виконувати корисну роботу в рамках господарства даного історичного типу. Таке визначення є досить близьким до поняття «екосистемні послуги», тому замість терміну «екосистемні послуги» пропонується використовувати поняття «корисні властивості природних систем». Тому в даній роботі йдеться про оцінку корисних властивостей природних систем, але з урахуванням широкого використання терміну «екосистемні послуги» у міжнародних і державних документах, також представляються можливим його використання.

Єдиного підходу до класифікації ЕСП не існує. У Програмі ООН «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Millennium Ecosystem Assessment, 2000) [1] виділено чотири групи ЕСП:

1) *забезпечувальні послуги (provisioning services)*, які описують матеріальний чи енергетичний результат функціонування природних екосистем (продукти харчування, деревина й волокно, паливо, прісна вода, медикаменти тощо);

2) *регулюючі послуги (regulating services)* – це послуги з регулювання екосистемних процесів (регулювання якості повітря, очищення води, регулювання стоку води, запобігання ерозії,

регулювання клімату, запилення, біологічний контроль);

3) *підтримуючі послуги (supporting services)* – це послуги, необхідні для підтримки всіх інших екосистемних послуг (грунтоутворення, кругообіг поживних речовин, фотосинтез, біологічне різноманіття);

4) *культурні послуги (cultural services)* – це нематеріальні вигоди, які люди отримують під час контакту з екосистемами (значення для культури, мистецтва, рекреація й туризм, естетичне значення, знання й значення для освіти, духовне та релігійне значення).

В ЄС сформована спільна міжнародна класифікація ЕСП, які ідентифікують також на чотири групи [1]:

1) *забезпечувальні* – послуги від продукції, яку надають природні екосистеми продовольство, вода, деревина, волокно, паливо, генетичні ресурси, питна вода);

2) *регулюючі* – послуги регулювальних екосистемних процесів (формування клімату, захист від повеней та інших стихійних лих, контроль захворювань, поглинання відходів людської життєдіяльності, очищення води і повітря, боротьба зі шкідниками);

3) *підтримуючі* – послуги, що забезпечують основні екосистемні процеси (формування ґрунтів, первинна продуктивність, кругообіг поживних речовин, фотосинтез та інші біогеохімічні процеси, середовище існування живих організмів);

4) *культурні* – внесок екосистем у збагачення культурних, духовних та естетичних аспектів людського добробуту (емоції від естетики навколишнього природного середовища, його окремих компонентів, вплив на формування способу життя, звичаїв і традицій). Для вимірювання ЕСП у національному масштабі в ЄС сформовано індикатори у розрізі основних типів екосистем Європи (аграрні, лісові, прісноводні та морські)

Василіук О., Ільмінська Л. [2] виділяють такі екосистемні послуги: 1) постачання; 2) регулювання; 3) підтримання; 4) культурно-соціальні.

У «Концептуальні засади державної політики і законодавства про екосистемні послуги» [3] надана така класифікація ЕСП:

1) *регулювання* (якість повітря, клімат, водний стік, ерозія, стихійні лиха);

2) *підтримування* (кругообіг речовин, водообмін, ґрунтоутворення, фотосинтез, запилення);

3) *постачання* (продукція, вода, корми, деревина, паливо, інша сировина);

4) *культурні* (туризм, оздоровлення, відпочинок, культурний, історичний, освітній зв'язок).

У цьому документі зазначено, що у плануванні (економічному, державному) ігноруються екологічні функції, які фактично виконує довкілля для людей. У розрахунку шкоди довкіллю, компенсацій за втрати нехтують втратами природних об'єктів (малих річок тощо), витратами на їх відновлення, їх значимістю для добробуту. Не відома реальна «економічна» ціна втрати ПС (ЕС). Не вистачає інструментів і кваліфікованої інформації для оцінки впливів на ПС (ЕС) та їх функції. Відсутня нормативно-правова база для розв'язання цих питань. Тому вважається необхідним: 1) формування політики щодо врахування ЕСП у плануванні, управлінні, прийнятті рішень; 2) створення законодавства про ЕСП та їх збереження, включення та розширення відповідних норм у секторальне законодавство (ліси, екологічна мережа, земельне законодавство тощо); 3) координацію політики і дій у цій сфері з відповідними інституціями та проектами Європейського Союзу [3].

Крім того, наводяться наслідки деградації ЕСП, а саме: регіональні кліматичні зміни; раптова втрата джерел прісної води; безповоротна втрата річкового стоку; деградація окремих зон у прибережних водах; раптове поширення хвороб та шкідників; втрата водних біологічних ресурсів; деградація ґрунтового покриву тощо. Тому збереження ЕСП є важливою умовою сталого розвитку регіонів України. Пропонуються такі шляхи збереження ЕСП: 1) інтегрування норм і політики щодо ЕСП до секторальних політик (сільське, лісове господарство, водна і морська політика, ін.); 2) реалізація політики на регіональному рівні, зокрема в межах Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки; 3) створення Закону про збереження ЕСП; 4) пріоритетизація ЕСП на регіональному рівні і адаптивне управління екосистемами, що надають ЕСП; 5) оцінка стану природних екосистем та їх ЕСП, вигоду від ЕСП, ризиків для ЕСП; 6) розробка інструментів для оцінки ЕСП (зокрема, монетизація); 7) розробка економічних інструментів та механізмів фінансування щодо оцінки та збереження ЕСП (принципу «забруднювач платить», оплати за ЕСП тощо); 8) включення ЕСП до державної статистики та обліку; 9) освіта і поширення інформації [3].

17 грудня 2024 року в Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів України експерти та науковці обговорили проект Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері управління ЕСП.

Слід зазначити, що монетизація ЕСП є дискусійною проблемою та дуже важким завданням, однак ЕСП і природний капітал цінять значно більший внесок у добробут людей, ніж обіг товарів та послуг на ринку. Важливо, що ряд учених виступають проти монетизації ЕСП

природних ЕС, підкреслює, що цінність природних ЕС нескінченна і не може мати грошового висловлювання, а оцінювати її окремі елементи просто абсурдно. Інші вчені авпаки, вважають, що це необхідно. В даний час монетизація окремих ЕСП важлива для збалансованого природокористування і може бути базисом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Монетизація ЕСП дозволяє раціонально використовувати наявні ресурси, оцінювати інвестиційну привабливість екологічно орієнтованих проєктів, а також сприяє розвитку та впровадженню системи компенсаційних платежів. Вважається, що основною причиною деградації природних ЕС є недооцінка їхньої реальної економічної цінності, вартості їх ресурсів та послуг загалом. У тих випадках, коли фінансові ресурси, необхідні для вирішення серйозних економічних проблем обмежені, плата за ЕСП може забезпечити додаткові ресурси для впровадження екологічно дружніх технологій, створити стимули для інвестицій та посилити залучення бізнесу в охорону довкілля. Оскільки величина природно-ресурсного потенціалу ЕС (ПС) є елементом суспільного (національного або регіонального) багатства, то кількісно може бути представлена лише через вартісні показники у, так званих, загальнодержавних кадастрових або світових цінах. Наприклад, можна визначити гідроенергетичний потенціал річки, кількість мінеральних, водних і гідробіологічних ресурсів та їх вартісні показники, але неможливо надати вартісну оцінку естетичності річкових ландшафтів, водоспадів та інших унікальних природних куточків. Варто зазначити, що етичні аспекти оцінки та плати за ЕСП докладно розглянуто у роботі [4]. Як образно зазначає М.Ф. Реймерс (1994), оцінювати природу за вартістю її матеріальних багатств – це все одно, що оцінювати картини великих художників за їх метражем або витратами на полотно і фарбу. Проте, такий підхід є домінуючим тому, що їх монетизація, тобто їх оцінка у грошовому еквіваленті, допомагає зрозуміти людям те, наскільки важливим у їхньому житті є збереження ЕСП природних ЕС (ПС) [5].

Незважаючи на те, що ЕСП ще не повною мірою залучені у процес прийняття управлінських рішень у світовому економічному просторі, вже напрацьовано практику створення ринкових природоохоронних механізмів. Зокрема, одним із інструментів таких механізмів є плата за ЕСП. Виявлено, що в Україні має місце системна відсутність практичних методичних рекомендацій щодо нормативно-правового впровадження в економічний та господарський обіг категорії «екосистемні послуги» та їх оцінки. Це свідчить про відсутність у державних органах управління інформації про успішні зарубіжні

практики та ініціативи щодо ЕСП та їх практичного впровадження. Найпершими кроками в активізації інструменту плати за ЕСП в Україні необхідно вважати розроблення адекватних методів ідентифікації вигід, визначення їхньої вартісної оцінки та її врахування у практиці прийняття рішень. Отримані результати економічної оцінки ЕСП в Україні за основними типами землекористувань та їх групування відповідно до рівня інтенсивності використання земель дали можливість визначити пріоритетні шляхи вдосконалення управління територіями та можливості активізації земельно-господарського активу. Зокрема, дослідження інтенсивності землекористування та просторових характеристик ЕСП у регіонах слугує теоретичною і практичною основою для координації стійких відносин між людиною і землею, а також здійснення пріоритетних напрямів щодо збереження біологічного різноманіття цього простору [6].

Формування «Концептуальних засад державної політики і законодавства про екосистемні послуги» та «Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері управління екосистемними послугами» підкреслюють, що проблема оцінки та збереження екосистемних послуг є одним із пріоритетних напрямів державної екологічної політики. Тому оцінка особливостей екосистемних послуг (корисних властивостей) природних систем північно-західного шельфу Чорного моря є актуальною проблемою та має елементи наукової новизни.

Метою дослідження є оцінка особливостей екосистемних послуг (корисних властивостей) природних систем північно-західного шельфу Чорного моря.

Матеріали та методика досліджень. Методологічною основою дослідження є огляд та критичний аналіз існуючих підходів до оцінки екосистемних послуг (корисних властивостей) природних систем. При виконанні роботи були використані опубліковані дані, а також матеріали власних доробок, присвячених дослідженню оцінки екосистемних послуг (корисних властивостей) окремих природних систем північно-західного шельфу Чорного моря.

До північно-західного шельфу Чорного моря (ПЗШЧМ) належить материкова мілина, що представляє собою затоплену частину прибережної суші. Вона займає 2 % акваторії моря (112140 км^2) і 1,5 % об'єму морських вод (8190 км^3) при прийнятій ізобаті 200 м (зазвичай, приймається за кордон шельфу для Світового океану). На північному заході Чорного моря максимальна ширина шельфу досягає 220 км. ПЗШЧМ займає 16 % акваторії моря (68390 км^2) і 0,7 % об'єму вод (3555 км^3) у межах від мису Херсонес до мису Каліакра. Частіше під ПЗШЧМ

дослідники розуміють акваторію, яка обмежена мисами Каліакра на південному заході та Тарханкут на сході. Відносно до природних систем ПЗШЧМ також можна виділити ЕСП (корисні властивості) регулювання, підтримування, постачання та культурні [3].

ЕСП регулювання – регулювання взаємодії різних трофічних рівнів, що допомагає підтримувати збалансовану екологічну піраміду. Атмосферний вплив виявляється в тому, що з повітряними масами до морського басейну потрапляють забруднюючі речовини, а також біогенні елементи, які провокують розвиток процесів евтрофікації акваторії ПЗШЧМ. Вплив теплого морського басейну регулює кліматичні умови прибережної зони. Водно-болотні угіддя (ВБУ) узбережжя, регулюють акумулювання та зберігання прісної води, фільтрацію вод, процеси поглинання з атмосфери та накопичення вуглецю та повернення в атмосферу кисню, а також регулювання поверхневого стоку, стабілізацію рівня ґрунтових вод, запобігання та стримування ерозійних процесів, підтримання збереження біологічної різноманітності. Крім того, ВБУ пом'якшують повені, захищають берегову лінію та підвищують опір населення до стихійних лих, а також відіграють важливу регулюючу роль у стабілізації кліматичних умов. Крім того, вони відіграють важливу роль у виробництві первинної продукції та фотосинтезі, а також є джерелом продовольства, сировини, генетичних ресурсів [7].

ЕСП підтримування. Природні системи ПЗШЧМ забезпечують процеси кругообігу речовин, водообміну, фотосинтезу тощо. Вони є середовищем мешкання і джерелом харчування численних організмів. Особливо важлива роль ВБУ узбережжя, які мають величезне значення як місце існування навколоводних і водоплавних птах та характеризується біологічною різноманітністю. Найбільш інтенсивний кругообіг біогенних речовин відбувається у пригирлових зонах шельфу.

ЕСП постачання. Природні системи ПЗШЧМ забезпечують функціонування море-господарських комплексів, промислове рибальство, марикультуру, технічне водопостачання, таласотерапію тощо. Донні відклади є джерелом будівельних матеріалів, розсіпних корисних копалин, лікувальних грязей, а також середовищем мешкання бентосу. Особливості водної товщі та донних відкладів зумовлюють просторово-часовий розподіл середовищ мешкання гідробіонтів, а також їх видове та генетичне розмаїття. ПЗШЧМ є важливим районом рибальства і марикультури, що забезпечує місцеве населення продуктами харчування та є прибутковою статтею економіки. ПЗШЧМ є важливим районом рибальства. Розвиток процесів евтрофікації зумовили розвиток гіпоксії і навіть аноксії, що стало причиною не

тільки рибних заморів, але й гибелі мідій та інших двостулкових молюсків. У 1990-х роках екологічна ситуація у межах ПЗШЧМ декілька поліпшилася, а рибні замори і гибель двостулкових молюсків почали відбуватися рідше і на менших площах [8-14]. Бойові дії в акваторії Чорного моря зумовили неможливість промислового рибальства і дуже обмежили можливості розвитку аквакультури.

У 1982 році в Чорне сумісно з баластними водами занесений мнеміопсіс або реброплав (*Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz), який харчувався зоопланктоном та ікромі риб, що нанесло рибному промислу збиток в 230-350 млн. доларів на рік.

Для ПЗШЧМ характерні унікальні ресурси «філофорного поля Зернова», домінуючими видами серед яких є червоні водорості виду *Phyllophora crispa* Grevillae. Оскільки більше 50 років здійснювався інтенсивний промисловий видобуток філофори задля промислового отримання агар-агару, а також внаслідок антропогенного впливу на ПЗШЧМ, відбулося зменшення генетичної різноманітності організмів філофорного поля. Крім того, зниження прозорості води уповільнило активність процесу фотосинтезу та призвело до загибелі значної частини бентосних водоростей на глибинах 20-60 м; площа філофорного поля з 11 тис. км² у 1950-х роках скоротилася до 0,5 тис. км² у 1980-х роках, а біомаса зменшилася з 10 млн. т до 0,2 млн. т відповідно. Слід зазначити, що такі природно-антропогенні зміни призвели до деградації специфічних видів безхребетних та риб із червоним забарвленням, тобто частини «філофорного біоценозу». Це є підтвердженням регулювання взаємодії різних трофічних рівнів, що допомагає підтримувати збалансовану екологічну піраміду. Останніми роками відзначається слабко виражена тенденція до відновлення філофорного поля – ботанічного заповідника загальнодержавного значення. Однак, близькість філофорного поля до зони активних бойових дій, а також негативні наслідки підризу дамби Каховської ГЕС негативно відбилися на екологічному стані цього ботанічного заказника.

ВБУ узбережжя мають унікальні біологічні ресурси, а також лікувальні грязі, ропу, мінеральні лікувальні вода та енергетичні ресурси.

Важливою складовою ЕСП постачання є ресурси вуглеводневої сировини. Вважається, що українська частина Чорного моря містить біля 2,3 трлн. м³ природного газу. До анексії Росією Кримської автономії в 2014 р., Україна досягла певних успіхів по збільшенню добутку газу на мілководному північно-західному шельфі. На балансі ПАО «Чорноморнафтогаз» на той час знаходилося 17 родовищ, із яких 11 газових, чотири газоконденсатних і дві нафтових. Сумарні запаси цих

родовищ становили: по природному газу – 58,56 млрд. м³, по газовому конденсату – 1231 тис. т, по нафті – 2530 тис. т. У 2013 році добуток виріс до 1,65 млрд. м³, а у 2015 році добуток був повинен досягти 3 млрд. м³ за рахунок завершення облаштування Одеського и Безіменного родовищ з ресурсними запасами до 35 млрд. м³ природного газу. Після анексії Криму Росією Україна втратила можливість добутку вуглеводнів на низці родовищ (Безіменному, Одеському, Архангельському, Штормовому, Шмідта), а також продовження пошуково-розвідувальних робіт на других перспективних ділянках (Західно-Голіцинська, Кулісна та палеорусло Дніпра тощо). Вважається, що на українському шельфі Чорного моря розвідано до 30% загальних запасів вуглеводневої сировини, тобто лише 4% прогнозних запасів вуглеводневої сировини. Основними родовищами вуглеводневої сировини є Голіцинське, Одеське, Безіменне, Шмидтівське, Архангельське, Кримське, Штормове. Запаси вуглеводневої сировини приурочені до відкладів верхнього крейди, палеоцену, еоцену та олігоцену-нижнього міоцену. Найбільш перспективними вважаються Одеське та Безіменне родовища у межах виключно економічної зони України. Наприклад, розвідані запаси газу Одеського родовища складають 21 млрд/м³. Експлуатація покладів газу почалось у 2012 році. Газ обсягом біля 1 млрд. м³ по підводному трубопроводу надходив у Крим, але в березні 2014 року бурові вишки біли захоплені російськими військами. Крім того, були захоплені: родовище Шмідта (газ природний, конденсат); площа Паласа (газ природний, нафта, конденсат); площа Луцицького (газ природний, нафта, конденсат); Тарханкутська ділянка (газ природний, нафта, конденсат); площа Губкіна (газ природний, нафта); площа Рифтова (газ природний нафта); Північно-Керченське та Північно Булганацьке родовища (газ природний); Західноголіцинська площа (газ природний); Безіменне газове родовище у межах північно-східного схилу Кілійсько-Зміїного підняття. Газонасичені пласти у цьому родовищі виявлені у відкладах нижнього палеоцену та середнього еоцену. В результаті випробування вапняків нижнього палеоцену одержано припливи газу від 78,6 тис. м³/добу до 143,1 тис. м³/добу. За роки окупації відбулось колосальне падіння обсягів видобутку – з 2 млрд. м³ у 2014 році до 0,6 млрд. м³ у 2022 році. У вересні 2023 році українські військові повернули бурові платформи. В умовах війни експлуатація покладів вуглеводневої сировини поки що не представляється можливим, але у післявоєнний період видобуток вуглеводневої сировини на ПЗШЧМ стане одним із ключових складових відновлення держави.

Крім того, на ЄСП постачання негативний вплив здійснюють

різноманітні види антропогенної діяльності. Процеси забруднення та деградації ВБУ узбережжя пов'язані з сільськогосподарською і рекреаційно-туристичною діяльністю, впливом місцевого населення, а також на їх прямий і непрямий вплив здійснюють воєнні і бойові дії. Їх раціональне використання, збереження, відновлення та оцінка корисних властивостей мають дуже важливе екологічне та соціально-економічне значення.

Культурні ЕСП. Природні системи ПЗШЧМ відіграють важливу роль у наданні рекреаційно-туристичних послуг. Комфортні біокліматичні умови, значна протяжність пляжної зони та інші природно-рекреаційні ресурси дозволяють говорити про перспективність ПЗШЧМ для різних форм оздоровлення, включаючи таласотерапію, однак, відносно низька солоність, розвиток процесів евтрофікації й підвищена забрудненість морських вод, особливо в пригирлових зонах, обмежують можливості таласотерапії, але наявність ропи, лікувальних грязей і комфортні біокліматичні умови в зонах поширення окремих лиманів обумовлюють їх високий рекреаційний потенціал. Естетичну цінність мають також прибережно-морські ландшафти ПЗШЧМ з унікальним візуальним середовищем. Наявність територій і об'єктів природно-заповідного фонду є підґрунтям для проведення наукових досліджень та екологічної освіти. Різноманітні форми антропогенного навантаження на природні системи ПЗШЧМ обмежували можливості використання культурних ЕСП, але в результаті воєнних і військових дій їх використання стало практично неможливим.

У результаті проведених досліджень зроблено такі висновки:

1. Існує дуже широкий підхід як до самого поняття «екосистемні послуги», так і до його використання; при цьому, не завжди ураховується зв'язок ЕСП виключно з різноманітними природними екосистемами та їх безкоштовністю. Термін «екосистемні послуги» є невдалим, оскільки природні екосистеми не можуть надавати послуги, тому як послуга – це акт, якась усвідомлена дія. Природа існує, а не надає послуги, а природні ресурси і умови існують незалежно від людини. Термін «послуги» не може бути використаний відносно природних екосистем, оскільки під «послугами» розуміють цілеспрямовану діяльність саме людини, результат якої має корисний ефект, задовольняючий будь-які потреби людини.

2. У природокористуванні основним об'єктом досліджень є природна система яка часто розглядається як синонім терміну «екосистема». З позицій природокористування інтерес можуть представляти як біогенні, так і абіогенні компоненти природної

системи, але оптимізація природокористування передбачає збереження сприятливих умов для існування і розвитку біоти і, передусім, людської популяції.

3. При оптимізації природокористування правильніше говорити не про використання природних ресурсів, а про використання їх певної частини, тобто про природно-ресурсний потенціал, тобто здатність природних систем без шкоди для себе (а, отже, й для людей) віддавати необхідну для людства продукцію або виконувати корисну роботу в рамках господарства даного історичного типу. (як бачимо, це визначення є досить близьким до поняття «екосистемні послуги»).

4. Ряд учених вважають, що цінність природи нескінченна, а, отже, не може мати грошового еквіваленту і оцінювати її окремі елементи просто абсурдно. Однак на даний час економічна оцінка екосистемних послуг вкрай важлива для ефективного природокористування. Якщо немає проблем щодо монетизації більшої частини ЕСП постачання, то монетизація інших ЕСП є складним завданням.

5. Використання ЕСП (корисних властивостей) природних систем ПЗШЧМ обмежуються природними стихійними процесами, різноманітні видами антропогенної діяльності, а з 24 лютого 2022 року воєнними і військовими діями.

Використані інформаційні джерела:

1. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends Assessment. Washington, DC: Island Press, 2005. 516 p.

2. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги: огляд. [URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/_EcoPoslugy_web_new.pdf](https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/_EcoPoslugy_web_new.pdf) (дата звернення: 01.02.2025).

3. Концептуальні засади державної політики і законодавства про екосистемні послуги». [URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Ekosystemni-poslugy-Kruglyj-stil-11lyutogo-Prezentatsiya-proektu-kontseptsiyi.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Ekosystemni-poslugy-Kruglyj-stil-11lyutogo-Prezentatsiya-proektu-kontseptsiyi.pdf)

4. Ecosystem services / Villagómez-Cortés, Ángel-Pérez, Villagómez-Corté J. A., del-Ángel-Pérez A. L. *Res. J. Environ. and Earth Sci.* 2013. Vol. 5 (5). P. 278–286.

5. Сафранов Т. А. Корисні властивості природних систем прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. №31. С. 55–68.

6. Шашула Л., Сакалаль О., Третяк Н. Плата за екосистемні послуги в Україні: пріоритетні напрями активізації. *Механізм регулювання економіки*. 2019. №2. С. 7–13.

7. Сафранов Т. А., Чугай А. В., Ільїна В. Г. Екосистемні послуги водно-болотних угідь Одеської області. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2023. №1. С. 85–93.

8. Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Ельхадрі Ю., Сліже М. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. Вип. 56. С. 255–263.

9. Safranov T., Berlinsky N., Slizhe M., El Hadri Y. Ecosystem services of the North-Western Black Sea wetlands. *Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, No. 2. P. 65–72.

10. Дьяченко М. Ю., Сафранов Т. А. Особливості екосистемних послуг (корисних властивостей) природних систем Північно-Західного Причорномор'я. *X Міжнародний з'їзд екологів: збірник наукових праць м. Вінниця, 25-27 вересня, ВНТУ*. 2024. 388 с.

11. Дьяченко М. Ю., Сафранов Т. А. Особливості корисних властивостей постачання природних систем північно-західного шельфу чорного моря. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження» – 2024*: Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», Полтава, 19 грудня 2024 року. Полтава: НУПП, 2024. С.88.

12. Сафранов Т. А., Дьяченко М. Ю. Оцінка факторів, що обмежують використання корисних властивостей природних систем прибережної зони Північно-Західного Причорномор'. *79-ї звітна наукова конференція професорсько-викладацького складу і наукових працівників факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова*, м. Одеса, 27-29 листопада 2024. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2024. С. 38–41.

13. Safranov T., Chugai A., Stepova O. Impact of military activities and hostilities on the ecosystem services of the North-Western Black Sea coastal zone. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. №33. С. 81–87.

14. Дьяченко М. Ю., Сафранов Т. А. Негативні наслідки воєнних дій на екологічні послуги прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я. *Відновлення екосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій: українські та європейські виклики : тези доповідей міжн. наук.-теорет. та прикладної конф.*, м. Київ, 06 листопада 2024 . Національний авіаційний університет. К. НАУ, 2024. С. 212–217.

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДНІПРА

Степова О.В., доктор технічних наук, професор,
Шара С.Ю. аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

FACTOR ANALYSIS OF THE SURFACE WATER STATUS IN THE DNIPRO BASIN

Stepova O., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Shara S., graduate student

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. Стан поверхневих вод в Україні, особливо в водоакумулюючих об'єктах – водосховища Дніпра – вимагає зміни моніторингової місії та регуляторної політики держави. Суспільну важливість має об'єктивна оцінка еколого-гідрологічного стану водних об'єктів і вод України, що актуально в умовах військової агресії, щодо водних об'єктів загальнодержавного значення, якими є водосховища Дніпра. В роботі використано наукові методи системного аналізу, включаючи ПІС-аналіз, методи узагальнення та систематизації, враховано синергетичні підходи при формування структурно-логічних схем розвитку систем моніторингу в гідрології з використанням методів обдукції. Визначена необхідність кореляційного аналізу та поєднання систем моніторингу поверхневих вод і ґрунтів, адже тільки забрудненість ґрунтів вільним азотом зумовила ріст нітратів у 10 разів за останні 8 років на Полтавщині. Виявлено недостатню кількість пунктів спостереження за поверхневими водами, та безсистемну вибірковість обстеження забрудненості. Доведено, що моніторинг Кременчуцького водосховища повинен охоплювати не тільки якість води у водосховищі, а і створах водоносних потічків і приток, та частині басейну, що формує водосховище, у відповідності до запропонованих структурно-логічних схем. Виявлено, що на цілі водного моніторингу витрачено за останні 12 років в Україні 0,1% із 35 млрд.грн. витрачених за програмою оздоровлення річки Дніпро, а водні рентні платежі формують лише 20% державних і комунальних водогосподарських витрат. Результати досліджень підкреслюють суттєві досягнення сучасних методів дистанційного зондування землі за допомогою супутникових систем, та

необхідність широкого застосування і використання даних зондування та ГІС аналізу для оперативного регулювання в умовах невизначеності та екологічної і військової агресії. Сформовано структурно-логічну схему розвитку гідро-екологічного моніторингу формування водного середовища частини басейну Дніпра та структурно-логічні схеми розвитку просторової бази моніторингу цілісної системи складових елементів Кременчуцького водосховища. Визначена необхідність створення інформаційно-аналітичного центру державного моніторингу вод України (ДМВУ).

Ключові слова: моніторинг вод, поверхневі води, моніторинг, водні директиви, дистанційне зондування, Кременчуцьке водосховище, Дніпро.

Abstract. The state of surface waters in Ukraine, especially in water storage facilities such as the Dnipro reservoir, requires a change in the monitoring mission and regulatory state. An objective assessment of the ecological and hydrological state of water bodies and waters of Ukraine is of public importance, which is relevant in the context of military aggression, with regard to water bodies of national importance, such as the Dnipro reservoirs. The paper uses scientific methods of system analysis, including GIS analysis, methods of generalization and systematization, and takes into account synergistic approaches in the formation of structural and logical schemes for the development of monitoring systems in hydrology using inference methods. The necessity of correlation analysis and combination of surface water and soil monitoring systems was identified, since soil contamination with free nitrogen alone has led to a 10-fold increase in nitrates over the past 8 years in Poltava region. The number of surface water observation points and the haphazard selectivity of pollution surveys were found to be insufficient. It is proved that the monitoring of the Kremenchuk reservoir should cover not only the water quality in the reservoir, but also the aquifer streams and tributaries, and the part of the basin that forms the reservoir, in accordance with the proposed structural and logical schemes. It was found that over the past 12 years in Ukraine, 0,1% of the 35 billion UAH spent on the Dnipro River rehabilitation program was spent on water monitoring, and water rent payments account for only 20% of state and municipal water management costs.

The results of the research emphasize the significant achievements of modern methods of remote sensing using satellite systems, and the need for widespread application and use of GIS analysis data for operational regulation in conditions of uncertainty and environmental and military aggression. A structural and logical scheme for the development of hydro-ecological monitoring of the formation of the water environment of a part of the Dnipro basin and structural and logical schemes for the development of a spatial monitoring base for the integral system of constituent elements of the Kremenchuk reservoir have been formed. The necessity of creating an information and analytical center for state monitoring of waters of Ukraine (SMWU) is determined.

Keyword. *water monitoring, surface water, monitoring, water directives, remote sensing, Kremenchuk reservoir, Dnipro.*

Стан водних об'єктів України повинен постійно знаходитись під контролем суспільства, особливо в умовах війни і екологічної агресії. Військові виклики вимагають посилення факторного аналізу водних об'єктів стратегічного загальнодержавного значення, якими і є водосховища річки Дніпро, а особливо – головне водосховище Кременчуцьке.

Водосховища в Україні виконують водоакumuлюючу, еколого-вологостабілізуючу роль, для водогосподарських потреб і водозабезпечення питною водою майже половини населення України, зрошення сільськогосподарських земель та забезпечення енергетики і промисловості. В умовах антропогенного тиску на екосистему Дніпра водосховища виконують екологостабілізуючу роль підтримки екосистем України.

Гідроекоекологічний стан водосховищ Дніпра вимагає сучасної моніторингової місії, як від держави, так і від органів самоврядування, наукових установ і громадськості та удосконалення й розвитку моніторингу водних об'єктів.

Метою дослідження визначено системний аналіз, змісту моніторингових показників і факторів, що визначають стан поверхневих вод, та розробку шляхів і методів бази моніторингу і державної системи моніторингу водних об'єктів в Україні.

У світі біля одного мільярда мешканців планети позбавлено доступу до чистої води, а додаткових джерел води потребують 1,7 млрд. жителів планети. У наступні 20 років прогнозують, що споживання води на планеті скоротиться на третину. Неякісна вода щоденно забирає життя тисяч людей, а 340 тисяч дітей до п'яти років щорічно помирає, 1 куб.м неочищеної води забруднює 300 куб.м чистої. У Полтавській області серед звернень громадян до депутатів обласної ради, майже третину складають звернення, щодо стану поверхневих вод та забезпечення якісною питною водою. Указане вимагає наукового пошуку у сфері охорони та захисту поверхневих вод України.

Вчені О. В. Кравченко, І. С. Лотоцька, С. С. Дубняк, М. В. Гусятинський, О. В. Лотоцька, Л. О. Бицюра, А. В. Генова, системно вдосконалюють сучасні методики моніторингу поверхневих і підземних вод та гідроморфологічного стану водотоків, займаючись діагностичним моніторингом масивів поверхневих вод.

Україна за якістю питної води та екологічного стану водного середовища займає 95 місце серед країн світу, і належить до четвертої категорії країн за якістю питної води.

Постійно посилюються негативні процеси на річках, потічках і ставках у зоні Кременчуцького водосховища тривають. Більшість

потічків і річок, через високу розораність басейнів, забудови заплав, осушування боліт замулилися, заросли болотною рослинністю, чагарниками. У басейні Дніпра переважає водоакумуляція голувої води, а не зеленої в рослинах та у водно-болотному середовищі.

Заплавні землі або розорані і забудовані, або затоплені, і не використовуються, як природні угіддя, втрачаючи природні функції та дренажну спроможність.

У найбільш критичному стані знаходяться малі річки і потічки довжиною до 25-35 км, де водоохоронні зони не створені, і санітарний і екологічно-гідрологічний стан, можна визначити, як незадовільний. Для поліпшення ситуації необхідно змінити систему факторного аналізу (моніторингу) стану поверхневих вод в Україні, а вже потім шукати шляхи ревіталізації водних об'єктів.

Водна стратегія України до причин формування проблем відносить недосконалість нормативів екологічної безпеки використання води та екологічних нормативів якості води масивів поверхневих та підземних вод, відсутність належного контролю за засміченням і забрудненням водних об'єктів, визначаючи потреби системного вдосконалення факторного аналізу та моніторингу стану вод України.

Моніторинг поверхневих вод в Україні здійснюється за басейновим принципом, працюють 27 лабораторій. Визначено моніторингові точки у 436 створах на 170 річках, 29 зрошувальних системах, на 1 лимані і на 11 каналах, а це більше 100 тис. проб і вимірювань стану поверхневих вод в рік.

Серед 9 річкових басейнів, що існують на території України більше половини площі України займає головний водоносій України – басейн річки Дніпро.

Моніторинг вод в Україні регулюється крім Водного Кодексу, цілим рядом законодавчих актів і Постановами Уряду України [1, 2, 3].

Моніторинг поверхневих вод, згідно ст. 16 Водного кодексу України та Постанов Кабміну Міністрів України №758 від 19.09.2018 року «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод», №391 від 30.03.1998 року «Про державну систему моніторингу довкілля» повинен здійснюватися згідно Програм державного моніторингу вод.

Суб'єктами державного моніторингу вод є Мінзахисту довкілля, Держводагенство, Держгеонадра, ДСНС, при загальній координації Міндовкілля, яке і розробляє та затверджує Програми державного моніторингу вод [3].

Водна стратегія України ухвалена на період до 2050 року,

Кабінетом Міністрів України від 9 грудня 1922 року і зобов'язує до 2024 року забезпечити повну імплементацію законодавчої бази України відповідно вимогам ЄС, зокрема й у сфері моніторингу та досягнення «доброго» екологічного стану вод.

Водна стратегія визначила проблеми у галузі і охороні вод в Україні, до яких піднесла: «задовільний», «поганий» і «дуже поганий» екологічний стан більшості поверхневих водних масивів, особливо штучних та істотно змінених, до яких і належить Кременчуцьке водосховище [4].

Водосховища в Україні, особливо Кременчуцьке, є джерелом питної води для більшості населення України, характеризуються підвищеним вмістом в воді органічних та біологічних речовин, а також наднормовою кількістю сполук заліза і марганцю.

Моніторинг довкілля – система спостережень і контролю за природними, природньо-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються в них, навколишнім середовищем з метою раціонального використання природних ресурсів та охорони довкілля [5].

В Україні моніторинг водного фонду – це складова державного моніторингу навколишнього середовища, і він включає: поверхневих вод; стану берегів, дна, гідроспруд і водоохоронних зон; підземних вод; морських вод; водоспоживання і водовідведення.

Заслугує на окрему увагу науковців взаємозв'язок екологічного стану земель і поверхневих вод. Тому моніторинг стану земель України і басейну Дніпра формується системою спостережень за станом земельного фонду, затверджений порядок якого Постановою КМ України від 20.08.1993 №661 [6].

Якісні характеристики земель, та стан і забруднення визначають значною мірою й якісні характеристики та стан поверхневих вод і навпаки. Моніторинг земель дає можливість вивчити зміни, дати оцінки, відвернути, або ліквідувати наслідки забруднення вод або інших негативних процесів.

Суб'єктами моніторингу земель виступають, як і моніторингу вод не тільки державні структури виконавчої влади, а і Національна академія наук, Національне космічне агентство, органи місцевого самоврядування та громадськість.

Особливої актуальності набуває очистка і контроль стоків дощових і талих вод безпосередньо з поселень і сільськогосподарських полів (дифузійне забруднення). Незважаючи на значимість дифузного забруднення стічних вод із полів, в Україні тільки розпочаті розробки методики оцінки дифузного забруднення. Для басейну Дніпра, особливої актуальності набуває дифузія шламів та бурових розчинів із

«амбарів» на майданчиках розвідувальних і добувних свердловин нафтогазових підприємств України, стоки зі ставків-випарників, води численних скотомогильників, хвостосховищ, більше трьох тисяч покинутих свердловин колишніх сільськогосподарських підприємств та безконтрольне внесення мінеральних добрив на полях.

Забрудненість нітратами питної води в колодязях за останні десять років на Полтавщині зросла у 10 разів.

Необхідність комплексного водного і земельного моніторингу посилюється обезводненням Степу і Лісостепу України та опустелюванням, адже площі земель сухої й дуже сухої зони складають 7% території України, або охопили 11,6 млн. га орних земель.

Ієрархічна система моніторингу поверхневих вод має таку структуру:

- Державна система моніторингу довкілля (ДСМД);
- басейнові системи моніторингу вод;
- суббасейнові системи моніторингу вод;
- локальні системи моніторингу в межах: масива вод та окремих водних об'єктів.

Методологічні основи моніторингу вод формують:

- уніфіковані методи аналізу і прогнозів;
- загальні правила створення і ведення єдиної в країні бази даних, стандартних технологій (включаючи використання ГІС).

Методологічно моніторинг вод повинен опиратись на головні принципи: компактність, синхронність і мережевість, систематичність і постійність, узгодженість термінів і показників.

В Україні діє Державна система моніторингу довкілля (ДСМД), а спостереження за поверхневими водами здійснюється на 211 водних об'єктах в 487 пунктах. Обстеження забруднення ґрунтів ведеться вибірково, але указане впливає скоріше не на управлінські рішення, а визначає статистику забруднень. Моніторинг повинен вирізняти впливи на водне довкілля та забезпечувати попереджувальні заходи, а саме: біологічні – свійські тварини, розвиток штучних агробіоценозів, аквакультури, заліснення; фізичні – будівництво гідроспоруд, агроландшафтів, ерозія, водосховища, антропогенно навантажених територій:

- урбанізованих, промислових, сільськогосподарських;
- знищення і споживання водних ресурсів, ерозій, деградації; антропогенні потоки речовин.

Моніторинг водного середовища поділяється на: біоекологічний (санітарно-гігієнічний), геоекологічний (природньо-господарський), літомоніторинг (стан геологічного середовища); біосферний

(глобальний), геофізичний (геофізичних явищ), кліматичний (кліматичних систем), біологічний (живих організмів), супутниковий (космічний).

Система охоплення факторів водним моніторингом методологічно включає прогнозування в тому числі: експертні оцінки, екстраполяції, моделі зміни стану систем, моделі біологічної трансформації забруднюючих речовин.

Методи водного моніторингу, як отримання первинної інформації, реалізуються також через спостереження на постах, створах, станціях у мережах гідрологічних спостережень, шляхом прямих, дистанційних методів, знімання та зондування.

Діагностичний моніторинг поверхневих вод згідно існуючих норм повинен проводитись системно-періодично: гідробіологічний – 1 раз у рік, фізико-хімічний – 12 раз на рік, хімічний (12 раз на рік), гідроморфологічний (1 раз на 6 років).

Гідробіологічний моніторинг в Україні здійснюється у 49 об'єктах (7 водосховищ) в 88 пунктах, 167 у створах і 189 вертикалях. Сучасна гідрологічна мережа України налічує всього 399 пости, на яких 339 на річках вимірюють витрати води і якість, а озерна – 60 постів.

За станом хімічного забруднення вод в Україні моніторинг здійснюється на 119 об'єктах у 201 пункті.

Особливістю моніторингу Кременчуцького водосховища, є те, що моніторинг повинен охоплювати не тільки якісні характеристики води в водосховищі та об'єми водоакумуляцій, а й фізичний стан гідротехнічних споруд, берегових ліній та геоморфологічні особливості (підтоплення, абразія берегів) екологічний стан узбережжя водосховища, екотопи, гідрологічні умови (вітро-хвильові течії і процеси, наноси і розмиви, коливання рівнів води) та гідробіологічні умови, цілісні еколого-гідрологічні умови басейну зони впливу та формування водосховища, поширеність явищ середньої ентропії.

На особливу увагу заслуговує світовий та Європейський досвід факторного аналізу та моніторингу вод і водних об'єктів, який має багаторічну наукову і регуляторну традицію. Екологи розробляють і обирають кращі практики та запозичують моніторингові інституції багатьох країн світу. Шляхи вдосконалення на основі досвіду мають рацію, адже водна стратегія України на період до 2050 року, в завданнях досягнення цілі має завдання усунення колізій стосовно визначення термінів, та імплементація Директив, наприклад 2020/2184 Європейського парламенту та Ради від 16 грудня 2020 р. «Про якість води призначеної для споживання людиною» [4, 7].

У США забезпечення громадян якісною питною водою, має

сильні сторони, адже значимість питання підсилюється тим, що контролюється безпосередньо Конгресом, а у штатах – Департаментами комунальних послуг.

Контроль здійснює федеральне Агентство по Охороні Навколишнього середовища (АОНС). Агентство постійно ініціює прийняття федеральних директив Безпеки Питної Води. Визначена обов'язковість фільтрації питної води навіть з підземних джерел. Якість води також контролюють Департаменти охорони здоров'я (у США санітарно-епідеміологічна служба відсутня), та служби виробничого контролю (за прикладом водоканалів). На очисних спорудах оброблення води проводиться реагентним методом, а знезараження – з допомогою хлору. Виробничі проби води здійснюють щоденно: в 6⁰⁰, 10⁰⁰, 14⁰⁰, 18⁰⁰ і 22⁰⁰, на чотирьох етапах: вода свіжа не оброблена; вода після першого етапу оброблення; вода після другого етапу оброблення; вода на подачі споживачу.

Комунальні служби штатів постійно звітують перед споживачами за якісні показники води, у загальному доступу завдяки інтерактивним картам якості питної води.

Водні об'єкти США постійно контролюються службами, як правило, приватними за показниками: температура, рН, лужність, твердість, залізо, марганець, хлор, мутність і хлориди.

Лабораторії державного Департаменту і охорони здоров'я контролюють набагато більшу кількість показників: миш'як, фторини, мікроорганізми, пестициди, нітрати, свинець, мідь, ртуть і інші. Водні лабораторії в США досліджують великий перелік показників і друкують у пресі постійно «Звіти Якості Води». Як у зрозумілих формах, із картами зон розподілу води з різних джерел, поширюються серед населення і указане суттєво визначає і рівень рентних платежів за водокористування і ціни на нерухомість, які особливо на житлову жорстко корелюють з якістю питної води, так як, залежать від якісних показників життя людей у тому, чи іншому регіоні.

У результаті, з інформативних джерел відомо, що з кранів воду, у більшості штатів люди вживають без додаткової обробки [8].

Наприклад, ще з 1998 року в США заборонено використання більшості пестицидів, повністю заборонено використання алдрина і діелдрина, здійснена заміна свинцевих елементів у водопроводах.

Згідно матеріалів Регіональної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро по Полтавській області визначено, що екологічний стан поверхневих водних об'єктів Полтавщини, який оцінено на основі комбінованого індексу забруднення (КІЗ) з урахуванням 10 показників:

хлориди, сульфати, азот амонійний, азот нетрійний, азот нітратний, фосфорфосфатів, розчинений кисень, БСК₅, нафтопродукти коливається від III класу («забруднена вода») до IV класу «дуже брудна» [9,10].

Якість води в створах річок Дніпра, Сули належить до III класу, а у створах річок Крива Руда, Суха Лохвиця, Удай, Сухий Омельник якість води, що стікає у Кременчуцьке водосховище – IV класу «дуже брудна».

У Полтавській області за результатами екологічного оцінювання (за індексом КІЗ), 53% від загальної кількості пунктів моніторингу (99 пунктів) оцінені за рівнем забруднення, як «дуже брудні» – IV клас. До IV класу забруднення належать усі малі річки Полтавщини. Лише 4% вод від загальної кількості пунктів дослідження в Полтавській області класифікуються як «забруднені» – II клас [9].

Основною причиною погіршення якості води в створах малих річок Полтавщини є недостатня ефективність роботи очисних споруд, незадовільний стан каналізаційних мереж у містах Гадяч, Пирятин, Глобіно, Лохвиця, Чорнухи, Семенівка та інтенсивне сільське господарство, несанкціоновані звалища й діяльність нафтогазового комплексу.

Стан Кременчуцького водосховища, в частині якості водного середовища залежить від багатьох чинників і факторів впливу, але головним чином вони формуються за рахунок:

- забруднення водних об'єктів, річок і потічків, що впадають у водосховище;
- інтенсивного розмивання берегів (абразія) та інтенсивного старіння основних фондів гідротехнічних споруд, гребель, дамб, очисних споруд і їх низькою продуктивністю;
- недостатньої самовідновлювальної здатності водосховища і річкового басейну, як цілісної водної системи;
- незбалансованої системи водогосподарювання, високої водомісткості промислових виробництв, нераціонального водоспоживання, «водного браконьєрства» господарників, втрат води водогосподарськими організаціями.

У Полтавській області розробляється для споживачів інтерактивна карта водних об'єктів та якості питної води, в яких адміністрація намагається об'єктивно в розрізі міст і громад висвітлити дані про місце розташування та умови залягання прісних вод, моніторингові якісні і кількісні показники води, про умови і право вільного доступу до водних джерел.

Але реальні справи далекі від наукових доробок і декларативних

намагань влади.

На Полтавщині, загальна подача питної води через водогони охоплює в містах 83, в селищах 64, у селах 34% населення. У 1257 селах Полтавської області відсутні водопроводи, а у 18 сіл завозять питну воду. У Полтавській області незадовільний стан водопроводів, із 4723 км яких –1369 км знаходяться в аварійному стані. За 2020 рік в області побудовано лише 16 км водопроводів.

До 2021 року аналіз вод у Полтавській області здійснювали незалежні служби – обласна ЖКУ, в результаті моніторинг показав, що не відповідало нормам 37,9% проб підземного централізованого водопостачання і 41,7% децентралізованих джерел питної води (колодязі і приватні скважини).

У 2023 і 2024 роках незалежний від водогосподарських підприємств моніторинг якості питної води на Полтавщині не здійснювався і не проводиться. Вказане вимагає зміни системи моніторингу та концептуальних підходів національного моніторингу не тільки якості питної води в Україні, а й поверхневих водних об'єктів, особливо водосховищ. Структурно-логічна схема можливої системи гідроecологічного моніторингу формування водного середовища частини басейну Дніпра наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема гідроecологічного моніторингу водного середовища Кременчуцького водосховища

Міністерство охорони здоров'я України встановило нормативи – гранично допустимих концентрацій (ГДК), в порівнянні з фоновими, для 200 речовин у водному середовищі, поділяючи за ступенем небезпеки на чотири класи: надзвичайно небезпечні речовини (нікель, ртуть, кадмій); високо небезпечні (сірководень, діоксид азоту); помірно небезпечні (сажа, цемент); мало небезпечні (вуглеводні). Також, встановлені для небезпечних речовин максимально разові ГДК і середньодобові.

Стан поверхневих вод вимагає повноцінної об'єктивної інформації, і для цього необхідні: сучасна методологія системи моніторингу; регламенти моніторингу вод; посилення екологічної оцінки стану поверхневих вод; автоматизація моніторингу скидів і вод потенційних забруднювачів, ГІС-аналіз стану водних об'єктів.

Сучасний моніторинг вод в Україні повинен не тільки визначити якісні характеристики води за показниками ЄС, а головне визначити соціально-економічну цінність прісних вод, на порядок вище інших сировинних природних ресурсів, наприклад нафти та газу. Можливо і не потрібно знищувати, чи ставити під загрозу знищення запаси прісних вод в угоду добування невеликих об'ємів природних вуглеводнів.

Моніторинг вказує, що за останні 10 років в Україні в 1,5 рази скоротилося водоспоживання із 14,8 км³ до 9,6 км³ та скиди стічних вод із 7,8 км³ до 5,2 км³.

Рентні водні платежі в Україні в рік складають 1млрд. 624 млн. грн. та 160 млн. грн. за скиди, але Держводагенство отримає держбюджетне фінансування 4,4 млрд. грн. у рік, що вказує на явно занижені в 2-3 рази водні рентні платежі від водокористувачів.

Із 35 млрд. грн. коштів витрачених із 2012 року на два етапи «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення річки Дніпро» [10], власне на цілі оздоровлення басейну річки Дніпра та поліпшення якості питної води витрачено по 1,1 млн. грн. у рік, тільки для моніторингу навколишнього природного середовища та розвиток інформаційних систем [4]. Головні кошти надійшли на цілі реконструкції гідроелектростанцій та гідротехнічних споруд і систем водопостачання та водовідведення.

Порядок здійснення моніторингу вод кабінет Міністрів України затвердив у 2018 році, в рамках сучасного моніторингу якості питної води, включаючи гамма-випромінювання в багатьох моніторингових точках тричі на добу, так, у січні 2024 року в місті Києві з 1 по 5 січня із джерел централізованого водопостачання взято 113 проб питної води за мікробіохімічними та 80 за санітарно-хімічними показниками.

У кожному регіоні різні проблеми формування запасів вод, але на

сході країни проблеми найбільші, а головна проблема – це скидання шахтно-кар'єрних вод у поверхневі водотоки від 17 млн. м³ тільки з 10 діючих підприємств. На Лівобережжі, серед головних проблем наводяться забруднення поверхневих і ґрунтових вод фенолами і хімічними сполуками бурових розчинів з амбарів бурових та кар'єрів, шлакосховищ і ставків-випарників та скиди побутових стоків міст, селищ та тваринницьких комплексів (рис.2) [7].

Так, проведений моніторинг стоків із ставка-випарника Кременчуцького НПЗ, вказує на перевищені в шахтах стічного колодязя: калію у 80 разів, до ГДК, свинцю у 20 разів, а фенолів при нормі ГДК 0,001 мг/дм³ – 78 мг/дм³, тобто у 78 тисяч раз.

Водні екосистеми доволі вразливі до забруднень, на що вказує акумуляція речовин в організмах у водних ланцюгах харчування:

- індексація свинцю: якщо в морських риб 0,5 мг/кг, у молосках 5мг/кг, в прісноводній рибі Дніпра сягає 2 і більш г/кг.

- індексація ртуті: формує концентрацію ртуті в 100-1000 разів вище ніж у водному середовищі. Якщо у водосховищі показники невисокі – метилртуть і низький хлорртуть, то сумарно ріст у рибі до водного середовища у 3000 разів, у раків у 100000 раз. Максимально допустима концентрація в рибі метилртуті: 0,5 мл/кг, але вона у Кременчуцькому перевищена в 10 разів. Указані ланцюги вимагають особливого контролю якості прісної води в поверхневих об'єктах.

Негативний вплив на водосховища справляє вітрохвильовий розмив (абразія) берегів. ГІС аналіз берегів водосховища вказує на втрати, за рахунок розмиву 6520 га земель по Україні, в тім числі 2006 га по Кременчуцькому водосховищу. У Кременчуцькому водосховищі укріплено лише 147,7 км берегів, неукріплено 239 км, які піддаються розмиву. У Кременчуцьке водосховище за 60 років змито більше 100 млн. м³ ґрунту, піску, глини, що суттєво сприяло замуленню дна.

Дистанційне зондування земної поверхні в частині Кременчуцького водосховища, дозволяє: проводити моніторинг площі (інвентаризацію); постійно спостерігати за станом дамб, берегових ліній; вивчити руслові процеси і стан дна; оцінити екологічний стан джерел забруднення, та біоресурсів; моніторинг стану водосховища в зонах забудов; моніторинг мілин, наносів, островів.

Особливо перспективним виглядає використання даних дистанційного зондування землі, як із космосу (ДДЗЗ), так і з використанням безпілотних літальних апаратів та лідарів.

Для визначення контурів берегової лінії водосховища нами використовувались знімки Landsat-8, за допомогою яких ми формуємо прогноз та характер змін, використовуючи картографічну проєкцію

Альберса, для мінімізації викривлень (за допомогою Global Mapper 18).

Для Кременчуцького водосховища важливо виконати векторизацію берегової лінії й островів при різних рівнях наповнення водосховища, для проектування берегоукріплення та реконструкції в системі Autodesk, AutoCAD.

Особливо дієва програма Landsat, в тому, що вона містить найтриваліший часовий ряд архівних знімків, цікаві безкоштовні дані Landsat-5,7 та Landsats, через Інтернет-архів USGS (<http://gbovis.usgs.gov>).

Постійний моніторинг водних об'єктів дистанційними методами, особливо в зв'язку з екологічною агресією й війною, та постійними порушеннями з боку господарчих суб'єктів дозволяє оперативно реагувати на порушення й екологічні виклики у відповідності до структурно-логічної схеми (рис.2).



Рисунок 2 – Структурно-логічна схема моніторингу гідроекологічного стану Кременчуцького водосховища

Візуалізація берегів і дна Кременчуцького водосховища, стан теплового та органічного забруднення в цифровому вигляді можлива за умови побудови за допомогою супутникового зондування цифрової моделі рельєфу (ЦМР) як віртуального двійника водосховища. Моніторинг дає можливість спроектувати модельно-планувальні рішення, що визначить можливості змін рельєфу і структури дна, та

шляхів ревіталізації водосховища.

Найбільш доцільним і точним способом проведення біометричного знімання є лазерне сканування на основі лідарів – лідарне знімання, що проводить сканування та знімання.

Природне середовище у водосховищі, визначаючи якість вод залежить від багатьох факторів, які необхідно також моніторити в рамках переходу на інтегровані показники:

- стан берегових ліній, замулення, площа, глибини, конфігурація дна, органи гідротехнічних споруд, мілини;

- джерела забруднення і якість води у поверхневих природніх водотоках, що несуть воду у водосховище, забруднення, що несуть плавзасоби і судна, забруднення із штучних водотоків;

- коливання рівнів води, глибини, якість води у різних ділянках, випаровуваність, опади, температурні режими;

- біологічне (органічне) забруднення, водорості, рослинність, тваринний світ.

Зонування власне територій водосховища необхідно проводити згідно структурно-логічної схеми (рис. 1), а цілісна система моніторингу водосховища може бути описана схемою (рис. 2).

На думку вчених О. В. Лотоцької, і Л. О. Бицюри система моніторингу вод в Україні набула повного законодавчого обґрунтування [14], але на нашу думку необхідний набагато вищий рівень державної регуляторної політики в даній сфері.

Учені Мокін В. Б., Слободенюк О. В. розробили програму на Python, щодо «імпульсів» забруднень на ділянці річці Південний Буг за 2002-2019 роки [15], указане актуальне для річок, що впадають у Кременчуцьке водосховище.

Методологія еколого-гідрологічного моніторингу водосховищ (ЕГМВ), опрацьована С. С. Дубняком [16].

Наукове опрацювання й пропозиції вчених щодо існуючого стану поверхневих вод України, об'єктивний і точний моніторинг факторний аналіз впливів надасть можливість реалізувати установу: «забруднювач платить» та намітити шляхи розвитку систем моніторингу водних об'єктів в Україні.

Таким чином, стан поверхневих вод в Україні вимагає об'єктивного і точного моніторингу стану поверхневих вод басейну Дніпра який дозволить визначити, систематизувати, прогнозувати і поліпшувати стан води Кременчуцького водосховища як важливого водоакумулюючого об'єкту, що забезпечує прісною водою половину водогосподарського комплексу України. Точний моніторинг дозволить реалізувати справедливу норму: забруднювач платить.

Сучасний факторний аналіз водних об'єктів зобов'язує в Україні системно переходити на моніторингові показники країн ЄС, дотримуючись ієрархії і класифікації показників ЄС.

Імплементация Водних директив ЄС у законодавче поле України вимагає формування сучасного моніторингу вод в Україні з використанням сучасних методів супутникового зондування поверхні Землі.

Із боку незалежних екологічних та житлово-комунальних державних і комунальних служб, з відображенням показників на інтерактивних картах з можливістю активізації громадськості до цілей охорони вод. Для повноцінного моніторингу стану вод в Україні необхідно створити єдиний інформаційно-аналітичний центр державного моніторингу вод (ІАЦДМВ), провести згущення та переміщення пунктів моніторингу поверхневих вод у басейни річок, інтегруючи показники окремих служб, що слідкують за водами в єдину систему, використовуючи сучасні методи дистанційного зондування поверхні землі, ГІС-аналіз водних об'єктів, систему метеостанцій і водоаналізаторів біля джерел потенційного забруднення вод.

Використані інформаційні джерела:

1. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод. «Постанова КМУ від 19 вересня 2018 р. №758 (із змінами «Постанови КМ №1065 (від 4.12.19 р., №826, 09.09.20 р., №922 від 01.09.2021 р.)

2. «Порядок розроблення плану управління річковим басейном» / Пост. КМУ від 18 травня 2017 р. №336.

3. «Про затвердження програм державного моніторингу вод». Наказ Міндовкілля №410, від 31.11.2020.

4. Водна стратегія України, Розпорядження Кабінету Міністрів України №1134-р від 9 грудня 2022 р.

5. Степова О. В., Рома В. В. Моніторинг поверхневих вод : Навчальний посібник. Полтава : ПолтНТУ, 2017. 82 с.

6. «Положення про моніторинг земель: Постанова КМ України, від 20.08.1993 р., № 661.

7. «Методика визначення зон, вразливих до накопичення нітратів», Наказ Міндовкілля від 15 квітня 2021 р., № 244.

8. Рогач С. М. Зарубіжний досвід регулювання сфери природокористування. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Вип. 26. Ч.2. 2019. С.54–59.

9. «Про виконання Регіональної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки

Дніпро у Полтавській області на період до 2021 року»//proect-ecodn 2207 2022.pdf

10. Загальнодержавна цільова програма...». Закон України від 24 травня 2012 р. №4836-IV.

11. Директива 2020/2184 Європейського парламенту та Ради від 16 грудня 2020 р.

12. Закон України «Про забезпечення санітарного епідеміологічного благополуччя населення», від 24.02.94 р.

13. Директива 91/676/ЄЕС Ради Європейського Співтовариства від 12 грудня 1991 р.

14. Лотоцька О. В., Бицюра Л. О. Моніторинг поверхневих водних ресурсів в Україні, та його законодавча основа. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2021. №2 (88).

15. Мокін В. Б., Слободенюк О. В., Давидюк О. М., Шундяк Д. О. Інформаційна технологія пошуку джерел підвищеного забруднення річки з використанням моделі PROPNET. *Вісник ВПІ*. Вст. 4. 2020. С15–24.

16. Дубняк С. С. Засади екологічного моніторингу рівнинних водосховищ. *Наукові праці Укр. НДГМІ*. 2003. Вип. 251.

**ЕКОЛОГІЯ ТА ОБОРОНА: ЕВОЛЮЦІЯ МЕТОДІВ
УПРАВЛІННЯ ПРИКОРДОННИМИ ТЕРИТОРІЯМИ ВІД
АНТИЧНОСТІ ДО СУЧАСНОСТІ**

Шарий Г. І., доктор економічних наук, професор,
Козлов В.В., аспірант

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», Україна*

**ECOLOGY AND DEFENSE: EVOLUTION OF METHODS FOR
MANAGING BORDER TERRITORIES FROM ANTIQUITY TO
THE PRESENT**

Shariy G., Doctor of Economical Sciences, Professor,
Kozlov V., graduate student

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. У публікації висвітлено еволюцію методів управління та захисту прикордонних територій, зосереджуючись на їхньому впливі на екологічний стан та забезпеченні оборонної стійкості. Автори аналізують, як упродовж історії природні та штучні бар'єри використовувалися для забезпечення безпеки, адміністративного контролю та ідеологічного впливу, водночас звертаючи увагу на екологічні наслідки таких дій. Від стародавніх цивілізацій (Римська імперія, Стародавній Єгипет) до середньовічних держав (Візантія) та сучасних інженерних проєктів (лінії Мажино, Зігфріда, Арпада), показано, як оборонні споруди впливали на ґрунти, гідрологію та біорізноманіття. Особливу увагу приділено адаптації природного ландшафту для оборонних цілей, зокрема створенню «фортечного ландшафту» та використанню рослинності для маскування. Пропонує міждисциплінарний підхід, що поєднує історичний аналіз із сучасними методами екологічного аудиту, що робить дослідження актуальним для розроблення стратегій, які балансують між оборонною стійкістю та збереженням природи.

Ключові слова: прикордонні території, оборонна стійкість, екологічний вплив, фортифікаційний ландшафт, природний ландшафт, лінії укріплень, Римська імперія, Річ Посполита, лінія Мажино, лінія Арпада, біорізноманіття.

Abstract. The monograph examines the evolution of methods for managing and protecting border territories, focusing on their impact on ecological conditions and ensuring defensive resilience. The author analyzes how, throughout history, natural

and artificial barriers have been used to ensure security, administrative control, and ideological influence, while also addressing the ecological consequences of such actions. From ancient civilizations (Roman Empire, Ancient Egypt) to medieval states (Byzantium) and modern engineering projects (Maginot Line, Siegfried Line, Arpad Line), the work demonstrates how defensive structures have affected soils, hydrology, and biodiversity. Special attention is paid to the adaptation of natural landscapes for defensive purposes, including the creation of «fortification landscapes» and the use of vegetation for camouflage. The monograph offers an interdisciplinary approach, combining historical analysis with modern methods of environmental auditing, making it relevant for developing strategies that balance defensive resilience with environmental preservation.

Keyword. *Border territories, defensive resilience, ecological impact, fortification landscape, natural landscape, fortified lines, Roman Empire, Polish-Lithuanian Commonwealth, Maginot Line, Arpad Line, biodiversity.*

Управління та захист прикордонних територій завжди були ключовими аспектами державної політики, які визначали безпеку, стабільність та суверенітет держав у різні історичні періоди. Кордони часто ставали ареною для військових конфліктів, культурного обміну, економічної взаємодії, а також територіальних змін, що впливали на екологічний стан регіонів, зокрема на ландшафти, водні ресурси та біорізноманіття.

Від стародавніх цивілізацій до сучасних держав, методи та стратегії, які використовувалися для контролю та оборони кордонів, еволюціонували разом із розвитком технологій, змінами в політичній структурі та соціальними трансформаціями.

Актуальність дослідження полягає в тому, що, незважаючи на багату історію фортифікаційних споруд та їхній вплив на природу, екологічним наслідкам змін надавалось недостатньо уваги. Історичні дослідження традиційно зосереджувалися на військових стратегіях, політичних подіях та діяльності історичних постатей, тоді як питання впливу на ґрунти, гідрологію та біорізноманіття залишалися на другому плані. Лише в ХХІ столітті почали проводитися фундаментальні дослідження, спрямовані на вивчення екологічних наслідків довготривалого використання природних ландшафтів для оборонних цілей.

Новизна роботи полягає в міждисциплінарному підході, який поєднує історичний аналіз еволюції методів управління прикордонними територіями з сучасними методами екологічного аудиту.

Такий підхід дозволяє не лише простежити зміни в стратегіях оборони та контролю кордонів, але й оцінити їхній вплив на довкілля, що є особливо важливим для розробки сучасних стратегій, які балансують між оборонною стійкістю та збереженням природи.

Метою дослідження є аналіз еволюції методів управління та захисту прикордонних територій від античності до сучасності, з акцентом на їхній вплив на екологічний стан та формування «фортечного ландшафту». Дослідження спрямоване на виявлення закономірностей у використанні природних та штучних бар'єрів для оборонних цілей, а також на оцінку екологічних наслідків таких дій.

Науково-дослідницькі завдання:

- дослідити історичну еволюцію методів управління та захисту прикордонних територій, від античності до сьогодення;
- проаналізувати вплив оборонних споруд на природні ландшафти, зокрема на ґрунти, гідрологію та біорізноманіття;
- вивчити адаптацію природного ландшафту для оборонних цілей, зокрема створення «фортечного ландшафту» та використання рослинності для маскування;
- оцінити екологічні наслідки масштабних інженерних проєктів.

Дослідження має як теоретичне, так і практичне значення, оскільки його результати можуть бути використані для розробки сучасних стратегій управління прикордонними територіями, які враховують як безпекові, так і екологічні аспекти.

Ще у 7 столітті Ісидор Севільський засвідчив прагнення римлян до структури: *Maiores itaque orbem in partibus, partes in provinciis, provincias in regionibus, regiones in locis, loca in territoriis, territoria in agris... dividerunt...* – «Отже, наші предки поділили землю на частини, частини на провінції, провінції на регіони, регіони на місцевості, місцевості на території, території на поля...» [1].

Кордони провінцій проводилися прагматично, відповідно до цілей Риму: іноді з повагою до традиційних кордонів, а іноді руйнуючи старі відносини, щоб запобігти утворенню альянсів проти імперії [2].

Оскільки Римська Імперія займала значну територію, землі знаходилися в різних кліматичних зонах, відповідно і організація прикордонних територій на півдні суттєво відрізнялася від тої, що була на сході чи півночі.

Наприклад, поселенська мережа в південному регіоні імперії була представлена системою оазисів, римляни розташовували свої фортифікаційні споруди уздовж цих маршрутів, щоб захистити свої нові джерела багатства. Фортеці у регіоні виконували різноманітні функції, слугуючи військовими, адміністративними та навіть релігійними центрами для поселень в оазах – і тому їх краще інтерпретувати як римські опорні пункти в регіоні, а не лише як оборонні споруди.

Римські землеміри реєстрували та демаркували землю, а кордони встановлювали фізично, зазвичай рили канали [3].

Прихід римлян також знаменувався розбудовою системи шляхів, усім відомий вираз «Усі дороги ведуть до Риму» у повній мірі відображав сутність планування дорожніх артерій.

На прикордонних територіях проектування нових шляхів символізувало римський контроль, уособлювали питання ідеології, влади та ідентичності. Вирівнювання дороги та заснування нового міста були частиною навмисно нав'язаного ландшафту, що відображало римський імперіалізм.

Оборону периферії імперії забезпечувала система лімесів – це складна система прикордонних укріплень, яка забезпечувала захист імперії та контроль за рухом людей і товарів. Походить від латинського слова «*limes*», що означає «межа» або «кордон». Вони склалися з фортець, сторожових веж, валів, ровів, доріг і стін.

Організація прикордонних територій у Римській імперії була спрямована на забезпечення оборони, контролю та адміністративного впливу. Римляни стратегічно використовували природні кордони, такі як річки та оазиси, будуючи лімеси, фортеці, дороги й акведуки для захисту імперії та ефективного управління завойованими землями. Інфраструктура слугувала не лише оборонним цілям, а й підкріплювала ідеологію римської влади та інтеграцію місцевого населення у римський світ.

Зважаючи на масштаби будівництва та укріплення прикордонних територій, можна оцінити значну потребу в будівельних матеріалах. Основними матеріалами того часу були каміння та деревина, які активно використовувалися для спорудження фортець, стін, доріг та інших інфраструктурних об'єктів.

Будівництво лімесів, фортифікаційних споруд і доріг ініціювало масштабну вирубку лісів, утворення каменоломень, глиняних кар'єрів для виробництва цегли, а також видобуток гіпсу та вапняку для виготовлення будівельних розчинів. Вирубкування лісів також проводилися з метою уповільнення просування військ, їх обозів, позбавлення ворога укриття.

Це призводило до серйозних змін у природних ландшафтах, які часто ставали майже невпізнаними. Наслідки масштабної ерозії ґрунту через вирубування лісів були виявлені, зокрема, на території сучасного Тунісу. Однак, найбільшу шкоду природі завдало навмисне засолення ґрунтів, яке проводилося з метою позбавити карфагенян можливості обробляти землю. У умовах пустельного клімату це призвело до знищення місцевої рослинності. Навіть сьогодні в околицях Тунісу залишаються спустошені території. Крім того, ще з давніх часів для ослаблення противника використовувалися такі методи, як отруєння

джерел води та підпали [8].

Доба Відродження, як логічне продовження, наслідувала методи, започатковані ще в Середньовіччі, зокрема будівництво замків та масштабних фортифікацій на прикордонних територіях (табл. 1).

На теренах Дніпропетровської, Полтавської та Харківської областей України по берегах, узвишсях і долинах тихоплинних Орелі, Берестової й Береки досі можна бачити рештки давніх земляних укріплень, які носять назву «Українська лінія» (рис.1).

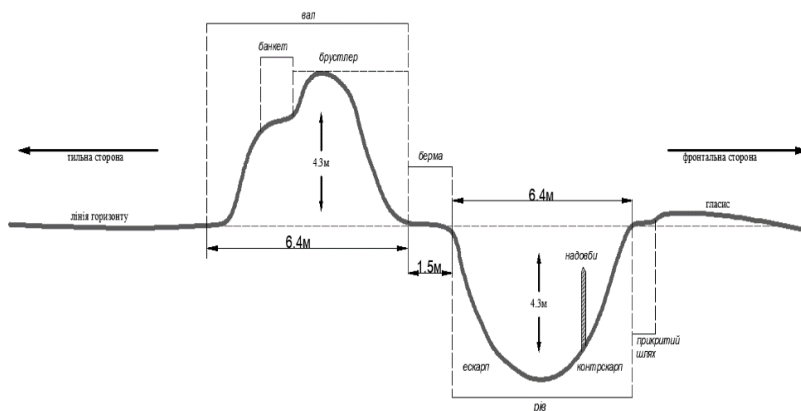


Рисунок 1 – Української лінії (за Г.Зайкою)

У 1743 році уряд, прагнучи зменшити загрозу татарських набігів на підконтрольні території, ухвалив рішення розширити та перенести лінію укріплень далі вглиб степів. Для цього було відряджено до Південної України інженер-полковника де Боскет у супроводі полковника Василя Капніста для огляду території і обрання зручних місць для побудови фортець. Місця для фортець визначено у Крилові, Архангельську і Орлі на Південному Бузі. Експедиція мала важливе значення для виконання вимог уряду щодо дослідження регіону. Зокрема, де Боскет представив Сенату статистичні дані про заселення південноукраїнських земель [4].

Прикордонні території починають виступати як карантинні зони, на пунктах пропуску або на митниці був обов'язково присутній лікар, пізніше почали будувати карантинні будинки – на меті стояло запобігти поширенню смертельних епідемій. На території сучасного міста Кременчук розташовувалася найбільша на той час карантинна зона.

Друга половина XIX століття – початок XX характеризуються появою такого терміну як «фортечний ландшафт». Його увів у мову ландшафтної архітектури Богдановський. Термін стосується цілісної форми покриття та рельєфу, адаптованих для оборонних цілей [5].

Маскування та приховування, застосовані у фортифікації, становлять інтерес для ландшафтних архітекторів. Історія світу, сповнена воєн, суттєво вплинула на культурні ландшафти. Зі зміною характеру війни камуфляж також адаптувався до нових умов, змінюючи правила смертельної гри в «хованки». Неправильна чи оманлива інформація, отримана через спостереження, часто визначала результати битв. Рослинність, як частина ландшафту, могла або приховувати, або демонструвати територію ворожому спостереженню чи вогню.

Рослини, використані для маскування фортець, включали передусім місцеві види дерев і кущів, які не потребували асиміляції. Віддавалася перевага різноманіттю – від формальних та лінійних композицій, наприклад, у вигляді алеї, через композиції, типові для сільських кладовищ або культивованих зелених зон, до одиночних дерев, неформальних та вільних груп дерев.

Рослинний камуфляж створювався для імітації природного ландшафту. М'які лінії повторювали вигляд деревостанів і груп дерев, а геометричні композиції посадок нагадували кладовища, парки, фруктові сади чи вздовж транспортних маршрутів. Такий підхід допомагав розмивати контури фортифікаційних споруд на фоні природного рельєфу й горизонту. Для створення максимально природного вигляду використовували різноманітні види дерев і унікальні форми рослин, уникаючи монокультур, що також знижувало ризик ураження шкідниками.

У Рекомендаціях 1910 року щодо підготовки фортець до оборони передбачали використання прилеглих територій після підготовки, включаючи створення польових укріплень. У мобілізаційних планах зазначалося, які алеї слід вирубати чи перетворити на перешкоди для під'їзду до фортеці, наприклад, як це робилося у фортеці Глогув (Festung Glogau) [6].

Лінії оборони в Словенії можна віднести до різних інтерпретативних ландшафтів. Деякі оборонні споруди були частиною довоєнного конфліктного ландшафту, але повторно використані під час Першої війни та стали невід'ємною частиною поля бою.

Таким чином, друга половина XIX – початок XX століття характеризується становленням «фортечного ландшафту», який демонструє адаптацію природного рельєфу для оборонних цілей.

Австро-Угорська та Німецька імперії успішно інтегрували

природні елементи, рослинність і технічні рішення для маскування своїх фортифікацій, що дозволило їм органічно вписатися в навколишнє середовище.

Планування насаджень, збереження природного вигляду ландшафту й адаптація екосистем не лише виконували військові функції, а й започаткували підходи, які згодом вплинули на формування екологічної архітектури й територіального менеджменту.

Упродовж першої половини XX століття відбулися дві світові війни, десятиліттями активно зводилися фортифікаційні споруди по всій Європі. Реалізовані такі проекти: Лінія Зіґфрида (Німеччина), Лінія Мажино (Франція), Лінія Метаксаса (Греція), Лінія Арпада (Угорщина), Альпійська стіна (Італія).

Масштабні проекти, які простягалися на десятки чи сотні кілометрів, супроводжувалися створенням постійно діючих багаторівневих залізобетонних оборонних конструкцій, видозміною рельєфу, вирубуванням лісу та створенням штучних лінійних бар'єрів.

У першу чергу розглянемо лінію Арпада, залишки якої й дотепер збереглися на території України. Лінія Арпада – військово-оборонна система німецької армії та союзників (Угорщини), що створювалася угорськими військами в Східних Карпатах у 1940-1944 роках проти наступаючої червоної армії. Укріплена потужними інженерними спорудами, створена вздовж старого державного кордону, який простягався через весь Карпатський хребет довжиною понад 600 км з 30 вузлами ешелонованої оборони вглиб на 100-120 км [7].

Більшість оборонних споруд знаходиться в задовільному стані, сховані в карпатських лісах. Залишки окопів і вогневих точок частково покриті дерном. Відсутність інтенсивних бойових дій, а також повільна швидкість природного відновлення в даній області сприяли хорошему стану збереженості, що часто відзначається випадковими туристами.

Розглянемо організацію прикордонних територій Палестини та Ізраїлю. Будівництво Розділового Муру у 2002 році призвело до значного впливу на водні, земельні ресурси, а також негативно вплинуло на флору і фауну та загальний екологічний стан території.

Обмеження пересування призвело до проблеми з утилізацією відходів, так понад 20% громад повідомили про проблему утилізації твердих побутових відходів, з'явилася велика кількість несанкціонованих звалищ, почастишали випадки спалювання відходів всередині або поблизу житлових районів.

Дренажні канали поблизу муру мають постійні проблеми, вони часто заблоковані побутовим сміттям, що спричиняє підтоплення в періоди дощів.

Згідно з SPNI, штучний бар'єр у вигляді муру спричинив фрагментацію раніше безперервних популяцій тварин і рослин без екологічних коридорів; прямі пошкодження унікальних середовищ існування; пошкодження водоносних горизонтів і струмків [9].

Аналіз еволюції методів управління та захисту територій демонструє значну динаміку, обумовлену технологічним прогресом, політичними трансформаціями та соціокультурними контекстами (див. табл. 1). Від стародавніх цивілізацій до сучасних держав ключовим принципом залишається інтеграція природних і штучних бар'єрів, які поєднують оборонні, адміністративні та ідеологічні функції.

Так, у Стародавньому Єгипті концепція Маат-Ізфет легітимізувала контроль над «хаотичними» землями через фізичні укріплення, тоді як Римська імперія вдосконалила системи лімесів, доріг і акведуків, започаткувавши модель централізованого адміністрування. Середньовічні держави надавали значної уваги дипломатичним угодам, митному контролю та карантинним зонам, що свідчить про зростання ролі торгівлі та міжнародного права.

У Новий час пріоритетом стали масштабні інженерні проекти (наприклад, лінії Мажино, Зігфріда), які, однак, часто ігнорували екологічні наслідки, спричиняючи фрагментацію екосистем і виснаження ресурсів.

Сучасність виокремлює дві протилежні тенденції: з одного боку, технологізація (електронний моніторинг, розділові мури в Ізраїлі), з іншого – зростання свідомості щодо екологічної відповідальності (досвід Швейцарії з інтеграції фортифікацій у природний ландшафт).

Важливим аспектом є недостатня вивченість довгострокового впливу оборонних споруд на довкілля, зокрема на ґрунти, гідрологію та біорізноманіття. Історичний досвід свідчить, що навіть зруйновані укріплення залишаються частиною культурного та екологічного ландшафту, що потребує міждисциплінарного підходу до їхнього вивчення. Перспективи майбутніх досліджень полягають у поєднанні історичного аналізу з сучасними методами екологічного аудиту, а також у розробленні стратегій, які балансують між безпекою, економікою та збереженням природи.

Таким чином, управління прикордонними територіями має враховувати не лише тактичні виклики, але й довгострокові наслідки для людства та планети.

Таблиця 1 – Еволюція методів управління та захисту прикордонних територій: від давнини до сучасності

№	Країна / Цивілізація	Часові рамки	Основні методи управління та захисту територій	Характеристики та особливості	Приклади фортифікацій
1	Стародавній Єгипет	~3000 р. до н.е. – 1070 р. до н.е.	Природні кордони (пустелі, море), васальні міста, гарнізони, митний контроль.	Використання природних бар'єрів для захисту; концепція Маат-Ізфет ідеологічно легітимізувала контроль над чужими територіями; стели з фараоном демонстрували владу; гарнізони були центрами військової й адміністративної діяльності; митний контроль регулював потоки товарів і людей.	Стіни Правителя, Шляхи Горуса, фортеця Тджару
2	Римська імперія	I-V ст. н.е.	Лімеси (зміцнені кордони), дороги, фортеці, система оподаткування, акведуки.	Адміністративний поділ на провінції з чіткими кордонами; дороги сприяли швидкому пересуванню військ і товарів; лімеси забезпечували захист і контроль; річки й гори слугували природними бар'єрами; акведуки підтримували прикордонні поселення; земельний реєстр регулював власність.	Адріанів Вал, Лімес Германік, Лімес Мезії
3	Візантійська імперія	IV-XV ст.	Воєнні гарнізони, прикордонні угоди, контроль торгівлі, впровадження митниць, видача віз.	Кордони позначали фізичними бар'єрами та угодами; контроль торгівлі й пересування; запровадження системи листів (віз) для подорожей; гарнізони гарантували безпеку; митниці збирали податки й боролися з контрабандою; ліси й сади слугували природними бар'єрами.	Вал поблизу Мариці, митниці на торговельних шляхах

№	Країна / Цивілізація	Часові рамки	Основні методи управління та захисту територій	Характеристики та особливості	Приклади фортифікацій
4	Річ Посполита	XVI-XVIII ст.	Замки, редути, ландміліційські полки, карантинні зони, контроль торгівлі.	Замки й редути вздовж річок і шляхів забезпечували оборону й контроль; ландміліція охороняла території й займалася господарством; на кордонах діяли карантинні зони; розвиток шляхів сприяв економічному зростанню.	Кам'янець-Подільський, редути Української лінії
5	Австро-Угорська імперія	XIX ст. – початок XX ст.	Лінійні фортифікації, адаптація ландшафтів, маскування споруд.	Природний рельєф зміцнював оборонні позиції; рослинність маскувала фортифікації; будували траншеї, укріплення, спостережні пункти; застосовували фарбування, захист водних шляхів, насадження для злиття з природним середовищем; створювали	Фортеці Германн і Клуже, траншеї в долині Радовна

				довготривалі оборонні лінії.	
6	Франція, Німеччина, Угорщина	XX ст.	Лінійні фортифікації, бетонні укріплення, багаторівневі оборонні системи.	Фортифікації, як-от Лінія Мажино, Зігфрида, Арпада, включали бункери, траншеї, бліндажі; Лінія Арпада в Карпатах включала оборонні вузли; усі вони впливали на екологію через зміну рельєфу та вирубку лісів.	Лінія Мажино, Лінія Зігфрида, Лінія Арпада
7	Ізраїль	XX-XXI ст.	Огорожі, розділові мури, електронний моніторинг, суворий контроль доступу.	Розділові мури фізично обмежували території; електронні системи моніторили незаконні перетини; вплив на екосистеми: фрагментація середовищ, порушення міграцій тварин; обмеження доступу до води й земель; проблеми з дренажем, підтопленням, відходами.	Розділовий мур між Ізраїлем і Палестиною

Використані інформаційні джерела:

1. Book XV – Buildings and fields (De aedificiis et agris) [Електронний ресурс]. URL: https://penelope.uchicago.edu/Thayer/L/Roman/Texts/Isidore/15*.html (дата звернення: 21.01.2025).
2. Kolb, A. The importance of internal borders in the Roman Empire: Written sources and model cases. In: P. Della Casa, E. Deschler-Erb (Hg.). Rome's Internal Frontiers. Proceedings of the 2016 RAC Session in Rome. Zürich, 2016. P. 5–12.
3. Verhagen, P. (Principal Investigator), Joyce, J. (Project Researcher) & Groenhuijzen, M. (Project Researcher). Finding the limits of the limes [Електронний ресурс]. Проект: Research, 1/09/12 → 1/09/17. URL: <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.126.57/23061/1007097.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 10.02.2025).
4. Полонська-Василенко Н. Заселення Південної України в половині XVIII ст. (1734-1775) : [в 2 ч.] / Наталія Полонська-Василенко. [Факсим. відтворення вид. 1960 р.]. Єлисаветград: [б. в.], 2008. IV, 221, [3], 186 с.
5. Богдановський Й. Архітектура оборонна в краєвиді Польщі: від Біскупіна до Вестерплатте. Варшава-Краків, Польща : ПВН, 1996. 610 с.
6. Historical vegetation used as camouflage at Festung Breslau (Fortress Wrocław) [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/290995952_Historical_vegetation_used_as_camouflage_at_Festung_Breslau_Fortress_Wroclaw (дата звернення: 15.02.2025).
7. Туристичний довідник Карпат. Лінія Арпада [Електронний ресурс]. URL: http://turizmkarpaty.com.ua/index.php?view_content=1131&lang=ukr (дата звернення: 17.02.2025).
8. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С. Основи екологічних знань. К. : Либідь, 1997. 228 с.
9. Olive green: environment, militarism and the Israel defense forces [Електронний ресурс]. URL: https://repository.lboro.ac.uk/articles/chapter/Olive_green_environment_militarism_and_the_Israel_defense_forces/9469760?file=17093972 (дата звернення: 20.02.2025).

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ



**КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО
ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Ілляш О. Е., кандидат технічних наук, доцент, **Бредун В. І.**,
кандидат технічних наук, доцент, **Серга Т. М.**, аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», Україна*

**A COMPREHENSIVE METHODOLOGICAL APPROACH TO
DETERMINING THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF
HOUSEHOLD WASTE**

Ilyash O.E., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Bredun V.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Serga T.M., PhD student

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. При розробленні регіональних систем управління твердими побутовими відходами одним із важливих етапів є дослідження їх ресурсного та енергетичного потенціалу. Цінність відходів як сировинного та енергетичного ресурсу визначається перш за все їх морфологічним складом. Процедура дослідження морфологічного складу відходів чітко регламентована державними нормативними актами. Але європейські та українські нормативні акти мають доволі суттєві відмінності. Європейські методики є більш деталізованими, а це з точки зору визначення ресурсного та енергетичного потенціалу відходів є безумовною перевагою. В даній роботі наведено приклад поєднання української та австрійської методик визначення морфологічного складу твердих побутових відходів на прикладі досліджень, проведених у селищі міського типу Котельва Полтавської області. Результати натурних досліджень (сортувальних аналізів) із застосуванням українського та австрійського методологічного підходу дозволив сформулювати концептуальні принципи визначення складу твердих побутових відходів для населених пунктів селищно-сільського типу та довів обґрунтованість застосування комплексного методологічного підходу.

Ключові слова: морфологічний склад, тверді побутові відходи, методика, європейський досвід, громада, ресурсний потенціал, енергетичний потенціал.

Abstract. When developing regional solid waste management systems, one of the important stages is the study of their resource and energy potential. The value of waste

as a raw material and energy resource is determined primarily by its morphological composition. The procedure for studying the morphological composition of waste is clearly regulated by state regulations. But European and Ukrainian regulations have quite significant differences. European methods are more detailed. And this is an absolute advantage from the point of view of determining the resource and energy potential of waste. This work provides an example of combining Ukrainian and Austrian methods for determining the morphological composition of solid waste on the example of research conducted in the urban-type settlement of Kotelva, Poltava region. The results of field studies (sorting analyses) using the Ukrainian and Austrian methodological approach allowed us to formulate conceptual principles for determining the composition of solid household waste for settlements of the rural type and proved the validity of the use of a comprehensive methodological approach.

Keyword: *morphological composition, solid household waste, methodology, European experience, community, resource potential, energy potential.*

Питання національної безпеки, зокрема її складових енергетичної та екологічної безпеки, набувають всі більшої важливості в умовах воєнного часу й залишаються вагомими у найближчі десятиліття у період відновлення України. Відповідно питання раціонального використання відходів як потенційного ресурсу набувають все більшої актуальності.

Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року [1] акцентовано, що обсяги утворення побутових відходів та динаміка їх утворення мають стабільне збільшення, а враховуючи, що переважною технологією в Україні залишається розміщення побутових відходів на сміттєзвалищах, більша частина з яких є несанкціонованими, то надважливого значення набувають процеси відновлення відходів з метою використання їх ресурсного потенціалу та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище.

Для успішної реалізації цих процесів важливим є вивчення, адаптація та відповідне застосування європейського досвіду у сфері управління відходами [2, 3], на що орієнтований Закон України «Про управління відходами» [4].

Метою даних досліджень є удосконалення існуючого в Україні методологічного підходу щодо визначення складу твердих побутових відходів із використанням європейського та австрійського досвіду в даній сфері та встановлення ресурсного потенціалу побутових відходів для цілей подальшого вибору методів й технологій їх відновлення.

Одним із факторів, що визначає ефективність системи управління побутовими відходами, є наявність даних щодо їх якісного (компонентного) складу, які дозволяють обрати оптимальні рішення щодо необхідної інфраструктури для системи збирання, перевезення та подальшого відновлення побутових відходів на місцевих рівнях [5, 6].

Авторами даної роботи проведено дослідження складу твердих побутових відходів (ТПВ) для населених пунктів України, зокрема Полтавської області [7], задля удосконалення існуючого в Україні методологічного підходу щодо визначення складу ТПВ із використанням європейського і австрійського досвіду в даній сфері та створення на їх основі уніфікованої бази даних щодо компонентного складу побутових відходів й можливості експрес-оцінювання їх ресурсного потенціалу.

Дослідження проводилось у два етапи. Головною метою першого етапу була систематизація даних щодо складу ТПВ для населених пунктів України різного типу, проведення 1 і 2 етапів сортувальних аналізів побутових відходів в натурних умовах на території населеного пункту Полтавської області із застосуванням українського та австрійського існуючих методологічних підходів.

Головною метою другого етапу досліджень було проведення 3 і 4 етапів сортувальних аналізів ТПВ в обраному населеному пункті Полтавської області селищного типу, визначення фактичного ресурсного потенціалу побутових відходів, створення бази даних про склад ТПВ для громад Полтавської області, проведення порівняльної оцінки цих даних із складом ТПВ, що утворюються в Австрії, та розробка рекомендацій громадам Полтавської області щодо застосування технічних та організаційних рішень у системах управління відходами з урахуванням досвіду Австрії.

За даними Головного управління статистики у Полтавській області обсяг утворення побутових й подібних до них відходів, що збиралися на територіях населених пунктів Полтавської області у період 2017-2020 роки становили близько 180-280 тис. тонн на рік [8].

За даними Регіонального плану [9] у Полтавській області послугою із збирання й вивезення твердих побутових відходів охоплено близько 78% населення, відповідно для планування повної системи збирання побутових відходів в області є необхідність оперувати розрахунковими прогнозованими обсягами утворення ТПВ.

Переважним напрямом поводження з побутовими відходами в Полтавській області є їх видалення на звалища та полігони побутових відходів, а також розміщення на несанкціонованих сміттєзвалищах. За даними територіальних громад в області налічується 359 санкціонованих сміттєзвалищ побутових відходів. Загальна площа під полігонами та звалищами в області складає 475,7448 га.

В якості тестової для проведення досліджень обрано Котелевську територіальну громаду. Котелевська селищна територіальна громада (далі – ТГ) адміністративно належить до Полтавського району Полтавської області й розташовується на північному сході області (рис. 1).

Площа території Котелевської ТГ становить 402,26 км², чисельність населення становила 14391 особа (станом на 01.01.2024). У склад Котелевської ТГ входить 10 населених пунктів - селище Котельва та 9 сел [10].

Селище Котельва відноситься до населених пунктів міського типу, що є адміністративним центром Котелевської територіальної громади (ТГ). Чисельність населення складає 11841 чоловік постійного населення й 1368 внутрішньо переміщених осіб.

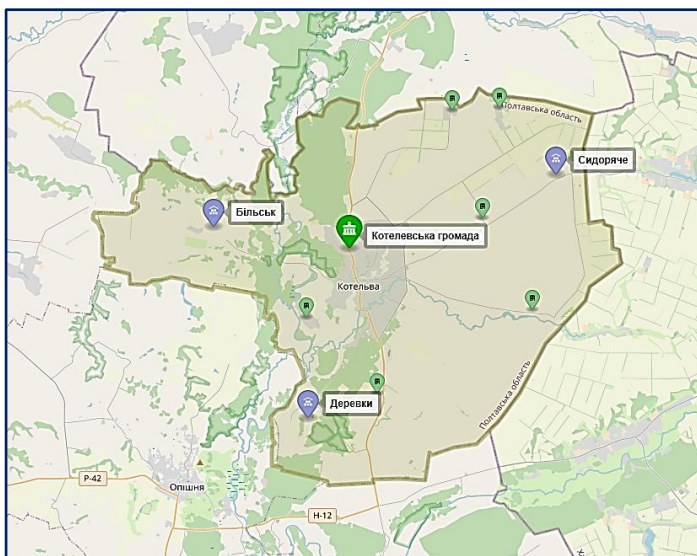


Рисунок 1 – Карта-схема території Котелевської громади

Утворювачами ТПВ у селищі Котельва та в селах Більськ, Деревки, Чернєщина, Камінне, Любка, Млинки, Сидоряче, Михайлівка Перша та Михайлове є постійні, тимчасові та маятникові (денні) мешканці і гості даних населених пунктів. Об'єктами утворення побутових відходів є: житлові будинки, адміністративні та громадські організації і установи, підприємства торгівлі та побутового обслуговування і громадського харчування, заклади культури та освіти, медицини та відпочинку тощо.

У селищі Котельва та селах переважна більшість житлових будинків є приватними, тому на даний час для збирання ТПВ від населення застосовується в основному планово-подвірний (контейнерний) метод, при якому застосовуються контейнери об'ємом 1,1 та 0,75 м³ [11].

Вивезення ТПВ на територіях населених пунктів здійснюється шляхом застосування системи «незмінюваних» збірників (вивізної система), коли відходи із контейнерів вивантажуються у сміттевоз, що обслуговує встановлені контейнери за узгодженим графіком.

Відповідно на даний час (станом на 01.01.2025 рік) у селищі Котельва організовано 117 контейнерних майданчиків, в селі Більськ встановлено 20 контейнерів, в селі Деревки організовано 22 майданчиків з 22 контейнерами колективного користування комунальної власності.

Обслуговування селища Котельва здійснюється в міру наповнення смітєвих баків та бункера смітєвоза з інтервалом від 3 до 7 (в основному 7) робочих днів за гнучкими маршрутами [11].

Для реалізації існуючої системи збору КП «Комбінат комунальних підприємств» має в своєму розпорядженні одну одиницю спецтранспорту на базі автомобіля ГАЗ 3307, з об'ємом кузова 9 м³, автомобіль КРАЗ з об'ємом 12 м³.

У селищі Котельва розпочато впровадження системи роздільного збирання вторинної сировини: скла, пластику, паперу й картону.

Збирання небезпечних відходів у селищі відбувається в рамках Полтавського обласного проекту «Екобус», що входить до ініціативи ГО «Батарейки, здавайтеся» в рамках 3-стороннього договору організації з заводом GreenWEEE та ліцензійного партнера ТОВ «Екологічні інвестиції».

Усі зібрані побутові відходи направляються на звалище ТПВ селища Котельва, що розташоване за територією селища на ділянці, яке охороняється в середині лісового масиву. Віддалене від населених пунктів розташування звалища ТПВ та відсутність широкої мережі пунктів збору вторинної сировини у громаді забезпечують певну сталість у часі завезеної маси ТПВ, її форми та структури.

На першому етапі досліджень було здійснено аналіз методологічного підходу щодо визначення морфологічного (компонентного) складу твердих побутових відходів, який використовується в Австрії та який покладено в основу «Методичних рекомендацій щодо проведення сортування залишкових відходів» («Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen»),

розроблених у 2017 році Федеральним міністерством з питань клімату, навколишнього середовища, енергетики, мобільності, інновацій та технологій (БМК) Австрії та адаптованих у жовтні 2021 року [12].

Метою цих методичних рекомендацій є створення стандартизованої робочої основи для планування, впровадження та оцінки аналізу сортування залишкових відходів в Австрії. Дані методичні рекомендації враховують положення європейської специфікації й рекомендації (SWA Tool) [13] та головні положення національного стандарту Австрії ÖNORM S 2097 1-4 [14].

«Методичні рекомендації щодо проведення сортування залишкових відходів» [12] були розроблені як методологія, що може використовуватись як на міжрегіональному рівні (загальнонаціональний), так й на регіональному рівні (адміністративний округ або район). Детальний опис етапів роботи, а також додаткова інформація розміщені в розділі «Технічні інструкції – Сортувальні аналізи». Основоположна статистична методологія, а також процедура статистичної оцінки результатів викладені у «Керівництві зі статистичної оцінки сортувальних аналізів та аналізу ваги одиниць», яке було розроблено незалежно від «Технічних інструкцій – сортувальних аналізів» [15].

«Методичні рекомендації щодо проведення сортування залишкових відходів» [12] містять 20 правил, якими встановлюються мінімальні вимоги, що необхідно враховувати та дотримуватися при плануванні, реалізації аналізів сортування залишкових відходів та оцінці їх результатів. Урахування даних рекомендації дасть можливість забезпечити порівнянність результатів різних сортувальних аналізів (часових і просторових).

На практиці сортувальні аналізи за вище зазначеною методикою Австрії [12] та європейською специфікацією й рекомендаціями (SWA Tool) [13] здійснюються згідно «Каталогу сортування та список призначення», яким передбачено виділення 15 груп компонентів, із яких відокремлюється ще 9 підгруп першої обов'язкової підкатегорії, а саме: органіка (крім харчові відходи); харчові відходи (кухонні відходи); харчові відходи, яких можна уникнути; папір і картон пакувальні та гофрокартон; папір і картон (друкована продукція, інші паперові матеріали); легка пластикова тара пет (від напоїв); легка полімерна упаковка; інший пластик; інша упаковка; скляна тара; скло інше; металева тара; метали непакувальні (інші чорні та кольорові метали); пластмаси інші; деревина; засоби гігієни; текстиль; взуття; відходи електричного та електронного обладнання; акумулятори, у тому числі батареї; проблемні речовини; інертні речовини; інші відходи

(шкіра, гума, іграшки та інструменти з різних матеріалів); сортувальний залишок (неможливо ідентифікувати).

Відповідно вище наведені компоненти є рекомендованими [12, 13] для відокремлення при проведенні загальних сортувальних аналізів або направлених сортувальних аналізів для більш деталізованого визначення вмісту окремих видів ресурсоінних компонентів у загальній масі залишкових відходів, що утворюються після первинного сортування муніципальних відходів населенням Австрії в місцях їх утворення.

Враховуючи рекомендований перелік із 24 компонент [13] у рамках даного дослідження були проведені пробні сортувальні аналізи змішаних побутових відходів в умовах селища Котельва Полтавської області (Україна).

Планування процесу дослідження складу побутових відходів (сортувальних аналізів) здійснено за наступними етапами:

- 1) визначення критеріїв вибору місць та умов проведення сортувальних аналізів ТПВ;
- 2) обґрунтування вибору регіону досліджень;
- 3) визначення місць та умов проведення досліджень складу ТПВ;
- 4) визначення кількості і періодів проведення відбору проб.

У ході роботи над проектом «Регіонального плану управління відходами в Полтавській області до 2030 року» [9] авторським колективом було зібрано значний об'єм інформації різного роду за усіма 60 громадам області. Детальний аналіз даної інформації допоміг виділити основні чинники, що, на думку авторів, впливають на процеси формування морфологічного складу твердих побутових відходів: тип громади, демографічні показники громади, структура забудови та житлового фонду, архітектурно-планувальні особливості, специфіка соціально-побутового сектору, промислова специфіка регіону, структура комунального господарства громади та наявна спеціалізована техніка для збирання ТПВ, існуюча муніципальна система збирання ТПВ.

За вище наведеними чинниками було проведено аналіз громад Полтавської області та виконано типізацію територіальних громад для цілей подальших досліджень морфологічного складу побутових відходів.

За результатами проведеної типізації сформовано перелік критеріїв для обґрунтування вибору місця/об'єкту досліджень морфологічного складу побутових відходів. До переліку головних критеріїв віднесено [16]:

1. Тип громади згідно адміністративного устрою.
2. Демографічні показники громади.
3. Структура забудови та житлового фонду.
4. Архітектурно-планувальні особливості громади, їх розташування відносно основних транспортних магістралей та місця оброблення/захоронення побутових відходів.
5. Специфіка соціально-побутової сфери.
6. Промислово-господарська специфіка громади.
7. Структура комунального господарства громади.
8. Наявна спецтехніка.
9. Існуюча система збору ТПВ.

На основі даних критеріїв був проведений аналіз територіальних громад Полтавської області та обрано в якості об'єкту дослідження селище Котельва та Котелевську громаду як «характерного» представника громад Полтавської області, враховуючи особливості адміністративного устрою області.

Європейський підхід [13] та «Методичні рекомендації щодо проведення сортування залишкових відходів» («Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen») Австрії [12] передбачають три основні рівні, на яких може відбуватися відбір проб ТПВ для аналізу, а саме:

1. У домогосподарстві / на підприємстві із внутрішніх відходів.
2. За межами домогосподарства / бізнесу, наприклад, із зовнішнього сміттевого бака / контейнера.
3. Зі сміттєвоза.

Згідно Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу побутових відходів, введених в дію Наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 03.05.2024 № 409 [14]:

– морфологічний склад твердих побутових відходів рекомендовано визначати за трьома джерелами їх утворення:

- 1) домогосподарства – багатоквартирні житлові будинки;
- 2) домогосподарства – одноквартирні житлові будинки;
- 3) інші джерела утворення побутових відходів (підприємства, установи та організації);

– визначення морфологічного складу побутових відходів рекомендується здійснювати шляхом:

- 1) вилучення побутових відходів із контейнерів;
- 2) збирання та перевезення побутових відходів транспортними засобами спеціального призначення для збирання та перевезення відповідного виду побутових відходів (далі – сміттєвози) без їх

примусового ущільнення.

По суті, визначені Методичними рекомендаціями Австрії об'єкти груп 1 та 2 [12] можна віднести до об'єктів п.4 українських Методичних рекомендацій [17], а рекомендовані шляхи (місця) здійснення сортувальних аналізів є аналогічними в обох методичних підходах Австрії та України [12, 17]. Тобто дослідження складу ТПВ можуть проводитися як на стадії контейнерного розміщення відходів, так й на звалищі ТПВ після розвантаження на ньому сміттєвоза.

Перше дослідження було проведене на звалищі ТПВ (з метою обрання найбільш осередненої за складом проби побутових відходів після сміттєвозів. Однак, так як не завжди була відома інформація про усі джерела утворення побутових відходів, із яких вони збираються за маршрутом сміттєвоза, а значить характер складу відходів кожного сміттєвоза міг достатньо різнитися.

Оскільки метою даної роботи є встановлення загальної усередненої морфологічної (компонентної) характеристики побутових відходів для різних типів джерел і громади в цілому, то одним із умов плану проведення експериментальних досліджень було визначення оптимального місця проведення досліджень.

Так як морфологія побутових відходів, утворених у секторі приватної забудови та секторі багатоквартирної забудови відрізняється через наявність або відсутність приватного присадибного господарства, то для цілей даного дослідження найбільш оптимальними є території комплексного розміщення об'єктів багатоповерхового житлового фонду, приватної забудови та об'єктів соціально-побутової й адміністративної сфери.

Для визначення таких територій була проаналізована карта розташування існуючих контейнерних майданчиків [11] й попередньо виділені найбільш репрезентативні контейнерні майданчики.

Крім вибору репрезентативних місць проведення досліджень існує велика кількість факторів, що можуть впливати на склад або кількість відходів в контейнерах:

- житлова структура населеного пункту;
- наявні системи опалення;
- сезонні варіації;
- розмір контейнера;
- наявність елементів благоустрою території (урни та ін.);
- особливі періоди (святкові, періоди масових акцій та ін.);
- тип системи збирання (унітарний, роздільний);
- наявність спеціальних контейнерів чи майданчиків для збирання будівельно-ремонтних відходів та «зелених» відходів;

- наявність пунктів збору вторсировини;
- соціально-культурні фактори тощо.

При плануванні досліджень враховувались зазначені фактори.

Крім того, українськими Методичними рекомендаціями [17, 18] встановлена рекомендована періодичність проведення досліджень у чотири пори року. Тому, в рамках даної роботи були заплановані й проведені чотири дослідницьких етапів у періоди відсутності соціально-культурних заходів, вз яких два етапи у 2023 році (осінній і зимовий) й два етапи у 2024 році (весняний і літній),

Для умов даних досліджень був обраний рекомендований Методичними рекомендаціями варіант визначення морфологічного складу побутових відходів, вилучених з контейнерів домогосподарств та інших джерел утворення побутових відходів.

Друге, третє і четверте дослідження складу побутових відходів проводились з урахуванням «Методичних рекомендацій щодо проведення сортування залишкових відходів» («Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen»), розроблених у 2017 році Федеральним міністерством з питань клімату, навколишнього середовища, енергетики, мобільності, інновацій та технологій (BMK) Австрії та адаптованих у жовтні 2021 року [12].

Методичними рекомендаціями Австрії [12] передбачено виділення 15 груп компонентів, з яких відокремлюється ще 9 обов'язкових підгруп першої підкатегорії. Враховуючи основні положення даних рекомендацій був передбачений наступний хід досліджень:

1. Для дослідження була відібрана проба ТПВ, яка містилася у стандартному контейнері об'ємом 0,75 м³, але його заповнення становило в різні періоди досліджень від 70 до 80%.

2. Відібрані проби попередньо зважувалися робітниками комунального підприємства на елеваторних вагах й встановлювалася загальна початкова маса відібраної проби в кг.

3. Відібрані проби ТПВ вивантажувалися на спеціально підготовлену полімерну плівку чорного кольору товщиною 200мк й розміром 3м x 3м.

4. На етапі другого і третього етапів дослідження поряд із контейнерним майданчиком була організована площадка для окремого розміщення відходів садівництва (обрізки дерев, гілки).

5. Для відокремлення із загальної маси компонент побутових відходів використовувались стандартні полімерні мішки місткістю 25-30 кг, кожна відібрана компонента зважувалась.

6. Загальна кількість компонент, що підлягала відділенню,

становила 24 шт., що відповідає кількості рекомендованих компонентів, які підлягають відбору згідно «Sorting catalogue» (Annex I) SWA-Tool [13]:

1) Органіка (крім харчові відходи) / Organics (excluding food waste) – не відділялася, так як збиралася окремо на спеціальній ділянці;

2) Харчові відходи (кухонні відходи) / Food waste (kitchen waste);

3) Харчові відходи, яких можна уникнути / Food waste that can be avoided;

4) Папір і картон пакувальні та гофрокартон / Paper and cardboard packaging and corrugated board;

5) Папір і картон (друкована продукція, інші паперові матеріали) / Paper and cardboard (printed matter, other paper materials);

6) Легка пластикова тара ПЕТ (від напоїв) / Lightweight PET plastic packaging (for beverages);

7) Легка полімерна упаковка (поліетиленові пакети для харчових продуктів, термоусадочні, стретч, пакувальні плівки, мішки-переноски, квіткові воронки) / Lightweight polymer packaging;

8) Інший пластик (пластикові сітки для фруктів та овочів, одноразовий посуд та столові прилади, пляшки від молока, кетчупа, оцета, масла, косметики та чистячих засобів, каністри, тубики для косметики та чистячих засобів, стаканчики для маргарину і молочних продуктів, невеликі квіткові горщики, пластикові стаканчики, контейнери для фруктів і морозива) / Other plastics;

9) Інша упаковка (пакети з металевим покриттям, ламінований папір для масла та маргарину, блістерні упаковки, пакети для готових супів та спецій, картонні банки з пластиковим або металевим дном, композитна коробка для напоїв, розкладні мішки та пакувальні плівки для фруктів та овочів, що компостуються, натуральні пробки, мішечки з джуту, тканинні мішечки, дерев'яні ящики, деревна шерсть, одноразові палички для їжі, одноразові дерев'яні столові прилади, керамічні пляшки...) / Other packaging;

10) Скляна тара (пляшки від напоїв безбарвні та барвисті, Флакони від парфумів, від ліків, олії, банки різні) / Glass containers;

11) Скло інше (листове скло, керамічне скло, дзеркальне скло, склянки для пиття, скляні вази, скляний посуд, лабораторне скло) / Other glass;

12) Металева тара (банки для напоїв, алюмінієві банки для напоїв, банки з продуктами харчування, порожні банки з фарбою, кришки, що загвинчуються, порожні балончики) / Metal containers;

13) Метали непакувальні (інші чорні та кольорові метали: металеві листи, труби, арматура, металевий інструмент, металеві прилади, дріт,

столові прилади, посуд, Алюмінієвий посуд, побутова алюмінієва фольга, кольорові метали, сантехнічна арматура) / Non-packaging metals;

14)Пластмаси інші (іграшки, шланги, будівельний полістирол, ізоляційна піна, пластиковий посуд, зубні щітки, одноразові бритви, соломинки для пиття, прозорі кришки, пакети для сміття, великі квіткові горщики, CD (чохла), брезент) / Other plastics;

15)Деревина (лакована та покрита, дошки, ручки інструментів, дерев'яні іграшки, дерев'яні шпалки, палички ескімо, ДСП, дерев'яні меблі, тирса) / Wood;

16)Засоби гігієни (гігієнічний папір різний, одноразові підгузники, інші засоби гігієни, зокрема жіночої) / Hygiene products;

17)Текстиль / Textiles;

18)Взуття / Shoes;

19)Відходи електричного та електронного обладнання / WEEE;

20)Акумулятори, в тому числі батареї / Batteries incl.

21)Проблемні речовини (лікарські засоби, фарби, лаки, розчинники, кислоти, луги, моторне масло, забруднені маслом відходи, масляні фільтри, неспорожнені балончики й газові балончики, вогнегасники, хімічні залишки, миючі та миючі засоби, азбестові вироби) / Problematic substances;

22)Інертні речовини (будівельне сміття: цегла, цемент, штукатурка, черепиця, каміння, будівельна деревина) / Inert substances;

23)Інші відходи (шкіра, гума, іграшки та інструменти з різних матеріалів, м'які іграшки, пакети для відходів собак, туші тварин, пакети для пилососів із вмістом, залишки сигарет, залишки свічок та воску, лампочки, шприци) / Other waste;

24)Сортувальний залишок (неможливо ідентифікувати)

7. Кожний дослідник відбирав декілька конкретних компонентів із загальної проби побутових відходів і наповнював відповідні мішки.

8. У міру заповнення мішка та його важкості проби зважувалися вагами до 50 кг, із мірою точності до трьох знаків після коми.

9. У ході сортувальних аналізів із досліджуваної проби було відокремлено 23 компоненти побутових відходів.

10. Залишок ТПВ після вилучення компонентів, який залишався на плівці, теж зважувався й відносився до відповідного компоненту №24.

11. Усі результати зважувань заносилися у попередньо підготовлену форму, що, з одного боку, відповідала зразку, наведеному у додатку 3 Наказу Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 03.05.2024 № 409 [17], але й враховувала

потребу здійснення сортувального аналізу за 24 компонентами згідно [12].

12. Відповідно до визначених об'ємів відібраних проб ПВ встановлювалася щільність дослідницької проби побутових відходів у тонн/м³.

13. Після проведення дослідження усі зважені компоненти були повернуті у контейнер ТПВ за допомогою робітників комунального підприємства.

14. Усі засоби індивідуального захисту, що використовувалися під час дослідження, мішки, полімерна плівка теж були видалені у контейнер як відпрацьовані матеріали.

15. Після дослідження було проведено оброблення шкіри рук дезінфікуючим засобом, а спецодяг багаторазового використання був герметично упакований для подальшого дезінфікуючого оброблення.

Морфологічний (компонентний) склад твердих побутових відходів (ТПВ) визначається для встановлення кількості окремих компонентів у складі ТПВ для можливості подальшого впровадження у населених пунктах сучасних ефективних технологій поводження з побутовими відходами та довгострокового прогнозування обсягів утворення вторинної сировини, що є у їх складі.

Узагальнені результати проведених чотирьох етапів дослідження морфологічного складу ТПВ на території селища Котельва Полтавської області систематизовано в таблиці 1.

Результати проведених сортувальних аналізів побутових відходів в умовах селища Котельва Полтавської області згідно українських методичних рекомендацій [17, 18] та європейського підходу [12, 13] надають можливість виділити такі головні моменти:

- за результатами сортувальних аналізів найвищим є вміст біовідходів (харчові відходи, фрукти, овочі та їх залишки) у загальній масі ПВ (28,83÷62,2 %). Їх значна частка та коливання у загальній масі побутових відходів пояснюється специфікою та звичаями харчування місцевого населення селища Котельва, що характерне для більшості населених пунктів України й, перш за все, селищного й сільського типу;

- відходи садівництва (обрізання дерев, гілки) в селищі Котельва збираються окремо й обліковуються окремо, тому вони не потрапляли у досліджувану пробу побутових відходів контейнера при сортувальних аналізах, що є специфікою даного населеного пункту, яка тепер не є поширеною в сільській місцевості, але відокремлення цих відходів швидко стає актуальним унаслідок потреби використання даних відходів як додаткового палива;

– встановлений в селищі Котельва діапазон вмісту паперу й картону в побутових відходах на рівні $3,3 \div 5,5\%$ є високим у порівнянні з відомим діапазоном вмісту відходів паперу та картону для населених пунктів селищного й сільського типу – $1,2 \div 1,4\%$ [9], що пояснюється наявністю багатоповерхової житлової забудови в районі дослідження;

– спостерігається значне коливання відходів пластику, що було досліджено в селищі Котельва ($5,5 \div 12,14\%$). Даний компонент проби складається переважно із полімерної тари від напоїв, що таровані у полімерні пакувальні матеріали як більш доступні для населення середнього соціального достатку;

– відносно невеликий діапазон коливань відходів скла ($2,13 \div 7,93\%$) був зафіксований у ході проєднання досліджень. Низьке значення даного компоненту ($2,13\%$) може мати ситуаційний та/або сезонний характер. У свою чергу, найвища частка ($7,93\%$) є характерною для населених пунктів селищного типу з переважанням приватного житлового сектору;

– вміст металів (чорних та кольорових), які здебільшого представлені банками з-під консервів та алюмінієвими баночками, має відносно невеликий діапазон $0,43 \div 3,82\%$, що пояснюється переважним вилученням відходів металів із загальної маси побутових відходів для подальшого здавання в спеціальні пункти вторсировини як цінний вторинний ресурс;

– діапазон відходів текстилю варіює в значних межах $0,63 \div 10,6\%$. Низька частка відходу ($0,63\%$) співвідноситься із діапазоном $0,1 \div 2,1\%$, що є характерним для населених пунктів селищного й сільського типу з переважанням приватного житлового сектору. Висока частка відходу ($10,6\%$) може мати ситуаційні особливості;

– дуже низький рівень вмісту відходів деревини ($0,02 \div 0,16\%$) був визначений у ході даних сортувальних аналізів, що свідчить про переважне використання даних відходів в якості додаткового паливного ресурсу в приватних будинках;

– вміст небезпечних відходів має значний діапазон коливань $0,727 \div 9,39\%$, що пояснюється, передусім, включенням у їх склад гігієнічних засобів й памперсів;

– частка відходів комбінованої упаковки становить $0,67 \div 1,49\%$ і є стабільно невеликою внаслідок здебільшого низького попиту серед населення селища товарів у комбінованій упаковці (напої, упаковка від фастфуду тощо);

– відходи електричного та електронного обладнання не є характерними відходами й у досліджуваних пробах були зафіксовані

лише на 4-ому етапі досліджень на рівні 0,11% (ліхтарик, лампочка, зарядний пристрій);

- відходи батарей та акумуляторів (пальчикові, автомобільні тощо) теж не є характерними відходами й у досліджуваних пробах були зафіксовані на рівні 0,01%, це пояснюється, передусім, функціонування в Полтавській області послуги «Екобуса»;

- вміст великогабаритних побутових відходів (меблі, матраци тощо) у досліджуваних пробах не був зафіксований, що свідчить здебільшого про господарську заощадливість населення, яке проживає в селищі, та характерність такого типу господарювання для селищної й сільської місцевості;

- вміст ремонтних побутових відходів був одноразово представлений у досліджуваній пробі шпалерами (третє дослідження) та мав частку 13,55 %. Здебільшого вміст цих відходів в населених пунктах, де переважає приватна житлова забудова, має ситуаційний характер;

- вміст компоненту кістки, шкіра, гума має значні коливання $0,73 \div 4,72$ %, але даний діапазон є співставним із відомим діапазоном вмісту даних відходів для населених пунктів селищного й сільського типу – $0,1 \div 3,1$ % [9]. Високий відсоток фракції (4,72 %) має ситуаційний характер;

- вміст залишку побутових відходів після вилучення компонентів коливається в межах $6,89 \div 28,15$ %. Досягнення низького значення на 4-ому етапі досліджень (6,89 %) стало можливим за рахунок здійснення сортування побутових відходів по оновленій українській методиці [17, 18], а найбільш високе значення на 1-ому етапі досліджень (28,15 %) було викликане специфікою місця проведення досліджень (звалище ТПВ).

На сьогодні обсяги побутових відходів, які зростають, є однією із важливих елементів прогресуючого антропогенного навантаження, що створює екологічну безпеку для регіонів України, здоров'я населення та негативно впливає на стан навколишнього природного середовища. З іншої сторони побутові відходи мають значний резерв для отримання вторинної сировини, яку у подальшому можна повертати в господарський обіг. Відповідно на сьогодні побутові відходи розглядаються як джерело цінних компонентів (органічних речовин, металів, скла, пластика, тощо), а також є потенційним джерелом отримання енергії.

Результати проведених досліджень морфологічного складу побутових відходів на території селища Котельва Полтавської області та визначеної узагальненої характеристики морфологічного

(компонентного) складу ПВ, надали можливість виділити показники вмісту (частки) ресурсоцінних компонентів за кожний сезон року проведених досліджень (таблиця 1).

Таблиця 1 – Частка ресурсоцінних компонентів у складі побутових відходів за результатами досліджень, проведених в селищі Котельва Полтавської області, %

Біовідходи	Папір і картон	Скло	Пластик	Метали	Деревина	Текстиль	Загальна частка ресурсоцінних ПВ	Загальна частка втор-сировини*
<i>Осінній сезон</i>								
34,53	4,94	7,93	12,14	3,4	0,16	3,97	67,07	28,41
<i>Зимовий сезон</i>								
50,406	3,3	3,7	9,9	1,63	0,018	10,6	79,554	18,53
<i>Весняний сезон</i>								
28,83	5,46	2,13	10,96	3,82	-	0,63	51,83	22,37
<i>Літній сезон</i>								
62,2	5,5	4,61	5,49	0,43	-	6,5	84,73	16,03

* – до вторсировини віднесено: папір і картон; скло; пластик; метали.

На основі даних таблиці 1 було здійснено оцінювання ресурсного потенціалу побутових відходів, виходячи із досліджуваних об'ємів утворення ресурсоцінних компонентів: паперу і картону, скла, пластику, металів, деревини та текстилю, які є потенційним вторинним ресурсом, а також біовідходів. Результати оцінювання показали, що:

– загальна частка побутових відходів, які є ресурсоцінними для можливості подальшого відновлення, складає 51,83-84,73%, що осереднено становить 71%;

– частка побутових відходів, які на сьогодні мають товарну цінність як вторинна сировина (папір і картон, скло, пластик, метали) складають від 16,0% до 28,4% від загального обсягу утворених побутових відходів;

– частка біовідходів суттєвого коливається в залежності від сезонів року й може складати від 28,83 до 62,2%.

Для запобігання зниженню якості ресурсоцінних компонентів побутових відходів важливим при організації системи збирання ПВ є відділення органічних фракцій із загального маси відходів шляхом організації роздільного збору за місцем утворення з передачею на

підприємство з перероблення органічної сировини.

Головний принцип управління побутовими відходами в країнах ЄС полягає в забезпеченні їх комплексного перероблення, що включає стадії: роздільного збору за місцем їх утворення, сортування, механіко-біологічного оброблення (МБО); виробництва енергетичного палива RDF (Refuse Derived Fuel – «тверде відновлене паливо», що має вигляд гранул або брикетів) або SRF (Solid Recovered Fuel – горюча субфракція твердих побутових та інших подібних твердих відходів, отриманих за допомогою комбінації механічних та/або біологічних методів) із фракцій ПВ, що залишилися.

Така комплексна переробка твердих побутових відходів можлива на заводах МБО, на яких відбувається вилучення та/або відновлення калорійних (паливних) фракцій ПВ для виробництва RDF/SRF, а також металів та інших ресурсоцінних компонентів, які направляються далі на продаж, а залишки відходів обробляють біологічними методами перед розміщенням їх на полігонах.

Директивою 2008/98/ЄС «Про відходи» [3] та «Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року» [1] побутові відходи визначені як цінний вторинний матеріальний та енергетичний ресурс.

Теплотворна здатність побутових відходів значним чином визначає їх спроможність щодо використання в якості палива для отримання теплової енергії. Суттєвою перевагою використання ПВ в якості джерела енергії є постійне зростання його кількості та зручне розташування – в населених пунктах, поруч зі споживачами енергії. Провідні країни світу вже багато років розглядають ПВ як постійно зростаюче альтернативне джерело енергії, здатне в великих містах замінити природний газ при виробництві теплової і електричної енергії шляхом часткового переведення ТЕЦ або котельних на паливо з відходів ПВ.

У таблиці 2 наведені результати оцінювання теплотворної здатності компонентів ПВ, отримані організаціями провідних країн світу: Департаментом навколишнього середовища, продовольства і сільського господарства Великобританії [19], Світовим Банком [20] та Міжнародною асоціацією з твердих відходів [21].

Таблиця 2 – Результати оцінювання нижчої теплотворної здатності компонентів ПВ за дослідженнями фахівців організацій провідних країн світу

Тип компоненту ПВ	Нижча теплотворна здатність ПВ, МДж/кг		
	Defra ¹	WB ²	ISWA ³
Харчові відходи	3,4	1,9	4,0
Папір та картон	10,8	6,4	16,0
Пластик:		20,1	35,0
- щільний пластик	26,7	н/д ⁴	н/д
- полімерна плівка	21,2	н/д	н/д
Текстиль та взуття	14,3	11,8	19,0
Несортований залишок горючий	13,9	н/д	н/д
Шкіра та гума	н/д	14,3	н/д
Деревина	н/д	9,3	н/д
Садово-паркове сміття	4,6	н/д	н/д
Підгузки та засоби санітарної гігієни	5,4	н/д	н/д
Дрібний змет	2,5	2,6	н/д
Інше	н/д	н/д	11,0

Примітка:

¹ – Defra – Департамент навколишнього середовища, продовольства і сільського господарства Великобританії;

² – WB – Світовий Банк;

³ – ISWA – Міжнародна асоціація з твердих відходів;

⁴ – показник не досліджувався.

Авторським колективом даного дослідження попередньо вивчалось питання щодо оцінювання теплотворної здатності окремих компонентів ПВ з урахуванням їх вологості для населених пунктів Полтавської області різних типів [22]. Враховуючи дані напрацювання було проведено оцінювання теплотворної здатності компонентного складу твердих побутових відходів, що досліджувалися в рамках даної НДР в умовах селищах Котельєва Полтавської області.

Результати даного оцінювання у вигляді питомих показників наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати оцінювання потенціалу теплотворної здатності компонентів ПВ за результатами досліджень морфологічного складу ПВ в селищі Котельва

№ з/п	Компоненти побутових відходів	Частка компонентів ПВ у загальній масі, %	Орієнтовне значення теплотворної здатності, МДж/кг [22]	Визначений діапазон теплотворної здатності компонентів ПВ, МДж/кг
1	Біовідходи	28,83-50,41	3,5	1,009-1,764
2	Папір і картон	3,3-5,5	9,5	0,314-0,523
3	Полімери	5,49-12,14	25,0	1,373-3,035
4	Текстиль	0,63-10,6	15,0	0,095-1,59
5	Деревина	0,018- 0,16	14,5	0,0026- 0,023
	Загальний тепловий потенціал ПВ			2,794-6,935

Результати досліджень свідчать про доцільність організації системи роздільного збирання побутових відходів на території селища Котельва Полтавської області з метою вилучення ресурсоцінних фракцій із загальної маси відходів та про наявність достатнього ресурсного потенціалу досліджених побутових відходів.

Таким чином, за результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки.

Повний комплекс 4-х сезонних натурних досліджень (сортувальних аналізів) морфологічного складу твердих побутових відходів для селища Котельва Полтавської області із застосуванням українського та австрійського методологічного підходу дозволив визначити склад твердих побутових відходів для населених пунктів селищно-сільського типу та довів обґрунтованість застосування комплексного методологічного підходу.

Результати проведених досліджень (сортувальних аналізів) та вивчення досвіду Австрії засвідчили необхідність перегляду й удосконалення методологічного підходу з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів [6] з точки зору: 1) конкретизації правил щодо планування процедури сортувальних аналізів, для чого в рамках дослідження сформовані рекомендації до кожного з 20-ти правил «Methodology for the Analysis of Solid Waste» (SWA-Tool) та «Sorting catalogue» (Annex I) для можливості їх застосування в умовах України; 2) перегляду та розширення класифікаційних категорій до 18 компонентів, які повинні відокремлюватись із загальної маси побутових

відходів і представляти типовий сучасний морфологічний склад побутових відходів.

Оцінений ресурсний та теплоенергетичний потенціал ТПВ на основі результатів досліджень морфологічного складу ТПВ в селищі Котельва Полтавської області підтверджує актуальність положення про доцільність віднесення побутових відходів до категорії цінних вторинних матеріальних та енергетичних ресурсів в умовах населених пунктів України, зокрема селищно-сільського типу.

Використані інформаційні джерела:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». Доступно: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page>

2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text

3. Директива Ради № 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 р. «Про відходи». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text

4. Закон України «Про управління відходами» (Документ 2320-IX). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

5. Закон України «Про місцеве самоврядування в Україні». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text>

6. Закон України «Про благоустрій населених пунктів». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text>

7. Звіт про науково-дослідну роботу за договором від 23.08.2023 № М/41-2023 «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу» (затверджено Вченою Радою Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», протокол від 12 грудня 2023 року № 13). Полтава, 2023. – 134с.

8. Державна служба статистики України Головне управління статистики у Полтавській області [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://pl.ukrstat.gov.ua/>

9. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року (проект) / Розробник – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Доступно: <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy>

10. Стратегія розвитку Котелевської селищної територіальної громади на 2022-2027 роки. Доступно: <https://kotelevska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-kotelevskoi-selischnoi-teritorialnoi-gromadi-na-20222027-roki-10-52-49-14-01-2022/>

11. Схема санітарного очищення населених пунктів Котелевської селищної територіальної громади / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Договір № 0033/23 від 25.05.2023. Полтава, 2023.

12. Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen / Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien, September 2017 (original) / Oktober 2021 (adaptiert).

13. SWA-Tool. Verfügbar unter. Режим доступу: <https://www.wien.gv.at/meu/fdb/pdf/swa-tool-759-ma48.pdf>

14. ÖNORM S 2097 1-4. Erhältlich unter Austrian Standards. Режим доступу: <https://www.austrian-standards.at>

15. «Technische Anleitung für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen», der vorliegende «Leitfaden – Sortieranaysen» sowie die «Richtlinien für die statistische Auswertung von Sortieranaysen und Stückgewichtanalysen» / Bundesministerium für Klimaschutz, Abteilung V/6 zu beziehen.

16. Ілляш О. Е., Бредун В. І. Критерії типізації громад при дослідженнях морфологічного складу побутових відходів, «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» – 2023»: Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (7-8 грудня 2023 року, Полтава). Полтава : НУПД, 2023. С. 55–57.

17. Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 03.05.2024 № 409 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу побутових відходів». Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/documents/2485.html>

18. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства від 16.02.2010 №39 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text>

19. Департамент навколишнього середовища, продовольства і сільського господарства Великобританії. Режим доступу: <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=>

[11918_WR1910EnergyrecoveryforresidualwasteAcarbonbasedmodellingap
porach.pdf](#)

20. Світовий Банк. Режим доступу:
[http://www.worldbank.org/urban/solid
wm/erm/CWG%20folder/Incineration-DMG.pdf](http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Incineration-DMG.pdf)

21. Міжнародна асоціація з твердих відходів. Режим доступу:
<https://www.iswa.org/index.php?elD=tx...download>

22. Ілляш О. Е., Голік Ю. С. (2023). Дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів у Полтавській області. *Проблеми охорони праці в Україні*, 39(1-2), 47–54.

**ОСНОВНІ КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО
МОДЕРНІЗАЦІЇ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД І
УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ У НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ**

Кремньов В. О., завідувач лабораторії,
Беляєв Г. В., кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник, **Беляєва І. П.**, канд. технічних наук, старший науковий
співробітник, **Жуков К. Л.**, головний технолог,
Корбут Н. С., молодший науковий співробітник,
Стецюк В. Г., молодший науковий співробітник,
Тимошенко А. В., доктор технічних наук,
провідний науковий співробітник,

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,
Україна*

**BASIC CONCEPTUAL PROVISIONS REGARDING THE
MODERNIZATION OF MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT
FACILITIES AND DISPOSAL OF SEDIMENTS IN POPULATED
AREAS OF UKRAINE**

Kremniev V., Head of the laboratory,
Belyaev G., PhD, Senior Researcher,
Belyaeva I., PhD, Senior Researcher,
Zhukov K., Chief technologist,
Korbut N., Junior Researcher,
Stetsuk V., Junior Researcher
Timoshchenko A., Doctor of Technical Sciences., Leading researcher,

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of
Sciences of Ukraine, Ukraine*

Анотація. В роботі наведена характеристика загального стану очисних споруд і розглянуто причини, що поставили їх на край непрацездатності. Зокрема наголошується, що на всіх без виключення очисних спорудах практикується системне порушення організації технологічного процесу – осаді стічних вод не видаляються впродовж декількох десятиків років. У результаті мулові карти із технологічних споруд періодичної дії, як вони були запроектовані і раніше використовувались, перетворились на своєрідні могилиники – техногенні родовища суміші мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів.

Наведено три сценарії поступового виходу із напруженої ситуації. Перший сценарій налаштований на мінімізацію первинних капітальних витрат є тимчасовим. Другий сценарій дозволяє поступово повністю звільнити мулові карти, а їх територію використати для виробництва добрив. Третій сценарій налаштований на виробництво із осадів паливних гранул із різними наповнювачами, при якому осади використовуються як паливна складова і зв'язуюча речовина.

Ключові слова: *осади стічних вод, мулові карти, очисні споруди, органічні добрива, біологічні компоненти.*

Abstract. The study describes the general state of treatment facilities and considers the reasons that brought them to the brink of inoperability. In particular, it is emphasized that at all sewage treatment plants, without exception, a systematic violation of the organization of the technological process is practiced – sewage sludge is not removed for several decades. As a result, silt maps from technological constructions of intermittent operation as they were designed and previously used turned into a kind of burial grounds – man-made deposits of a mixture of mineral and partially decomposed biological components. There are three scenarios for gradually getting out of a tense situation. The first scenario configured to minimize initial capital costs is temporary. The second scenario allows you to gradually completely free the mud maps, and use their territory for fertilizer production. The third scenario is set up for the production from sludge of fuel pellets with different fillers, in which sludge is used as a fuel component and binder.

Keyword. *sewage sludge, sludge maps, sewage treatment plants, organic fertilizers, biological components.*

Абсолютна більшість населених пунктів України облаштовано станціями очищення комунальних стічних вод (КОС).

Майже всі станції очищення стоків були побудовані декілька десятиліть тому і на момент їх будівництва могли вважатися такими, що відповідали світовому рівню техніки у цій галузі.

На сьогодні майже всі вони є морально застарілими, а, крім того, потребують ремонту задля підтримання їх працездатності.

Більшість очисних споруд [1, 2] мають повну схему очищення стічних вод і їх якість перед поверненням у довкілля є, в цілому, задовільною.

Теза про моральну застарілість базується на таких міркуваннях:

- всі очисні споруди належать до «відкритого типу», що призводить до розповсюдження неприємних запахів, а у розвинених країнах використовують споруди закритого типу;

- всі очисні споруди облаштовані муловими майданчиками різних конструкцій, звідкіль води відводяться у довкілля трьома шляхами – зливом із поверхні у природні водойми, фільтрацією у ґрунт

через шар щебеню та випаровуванням; при цьому мулові майданчики займають значну площу, на околиці населених пунктів.

На сьогодні у розвинених країнах мулові майданчики (мулові карти) не використовують, а землі, що їх раніше вони займали у минулому, піддано рекультивації і повернено до господарського використання.

Функцію, яку виконували мулові майданчики, а саме, зниження вологості осадів від 96-98% до 70÷80% покладено на систему оброблення флокулянтами й механічного відокремлення рідини за допомогою різноманітних сепараційних пристроїв (фільтрпресів, центрифуг, деканторів, тощо).

На очисних спорудах України такі системи, як правило, відсутні, а в рідких випадках їх наявності, не експлуатуються.

Щодо потужності очисних споруд, то за станом на сьогодні, вони у більшості випадків мають істотні резерви, що напряду зумовлено занепадом промисловості і, відповідно, до багаторазового зменшення промислових стоків, які здебільшого після первинного очищення на самих підприємствах потрапляли на комунальні очисні споруди.

Інша ситуація склалася лише в Києві та декількох обласних центрах, де паралельно зі зменшенням промислових стоків, через міграцію за останні роки зросла чисельність мешканців і об'єм стоків не знижувався.

Крім згаданих недоліків галузі очищення стічних вод (застарілості технологічного процесу та зношеності основних фондів, які як мінімум, потребують ремонту), *на всіх без виключення очисних спорудах практикується системне порушення організації технологічного процесу – осаді стічних вод не видаляються впродовж декількох десятиків років.*

Це призвело до накопичення на мулових майданчиках величезної кількості застарілих осадів. Мулові карти із технологічних споруд періодичної дії, як вони були запроектовані і раніше використовувались поступово перетворилися на своєрідні могильники – техногенні родовища, так званого, детриту (суміші мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів).

Така багаторічна практика призвела у ряді населених пунктів до *дуже напруженої ситуації, яка ставить очисну споруду на край непрацездатності через відсутність технічної можливості до подальшого накопичення осадів.*

У Києві, наприклад, були вимушені нарощувати дамбами мулові карти й наливати нові осаді поверх застарілих. За проектом глибина, яку повинні займати осаді на початку кожного циклу не повинна

перевищувати 1,3 м; на сьогодні в Києві висота наросчувальних дамб вже сягає декількох метрів. Ці незаплановані, але існуючі могильники – техногенні родовища застарілих осадів спричиняють негативний вплив на довкілля (через забруднення вод), являють собою середовища задля розвитку небажаної мікрофлори, спричиняють загрозу працездатності очисної споруди, як такої.

Крім того, за умов співпадіння деяких негативних факторів подібні суміші можуть набувати небезпечної рухливості.

Нещодавно на околицях міста Омська (РФ) на очисних спорудах Омського хімкомбінату після тривалих опадів утворився потужний зсув селевих мас, що призвів до створення масштабної техногенної небезпеки.

Описана хибна практика склалася з ряду причин.

За проектом мулові майданчики, це споруди періодичної дії, які по завершенню циклу необхідно повністю вивантажувати, що і означає готовність до наступного циклу.

Отже, за проектом муловий майданчик (незалежно від його конструктивного різновиду) на початку циклу заливається двома рідинно-плинними двофазними сумішами: надлишковим активним мулом і неперебродженим сирим осадом:

– надлишковий активний мул утворюється у аеротенках і являє собою високовологу суміш (~98%), суцільна фаза якої являє собою істинний водний розчин, а дисперсна фаза представлена колоїдальними частками рідини, які з суцільною фазою утворюють колоїдний розчин органічних речовин, сфероїдами рідини, які утворюють із суцільною фазою емульсію та твердими частками, які утворюють сумісно з суцільною фазою суспензію.

Отже, надлишковий мул являє собою складну рідинно-плинну масу з суцільною фазою у вигляді водного розчину, у якому знаходиться дисперсна фаза у вигляді колоїдних і емульсійних рідинних часток і твердих часток суспензії. Значна частина вказаних часток поєднані фізичними зв'язками (гелева структура), що зумовлює реологічні властивості описаної двофазної системи і практично унеможливує її сепарацію без використання коагулянтів чи флокулянтів.

У складі абсолютно сухої речовини надлишкового активного мулу знаходиться більше 95% біогенних займистих речовин, решта – мінеральна складова.

У біологічному сенсі активний надлишковий мул, який потрапляє на муловий майданчик – є біоценоз зоогенних угруповань (колоній бактерій, дощових черв'яків і найпростіших організмів, які беруть участь у очищенні стічних вод біологічним методом, який

застосований на здатності деяких видів мікроорганізмів у відповідних умовах використовувати забруднюючі речовини стічних вод задля свого споживання.

Задля цього вони виділяють у суцільну фазу стічних вод особливі речовини – ферменти, які є біохімічними каталізаторами. В результаті їх взаємодії з забруднюючими речовинами відбувається розкладення, гідроліз і поглинання у внутрішній об'єм бактеріальних клітин, де гідралізовані органічні і деякі неорганічні речовини використовуються бактеріальними клітинами у двох напрямках.

1. Біологічне окислення (біологічне «горіння») з утворенням газоподібного окису вуглецю і води. Рівняння цієї хімічної реакції не відрізняється від звичайної реакції горіння.

Органічна речовина + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + Q$ – ця реакція є екзотермічною, а енергія, що виділяється, використовується бактеріальною клітиною задля забезпечення своєї життєдіяльності.

2. Синтез нових бактеріальних клітин, розмноження.

Органічна речовина + $N + P + Q \rightarrow$ нова клітина.

Таким чином, ця реакція є ендотермічною. Наявна у стічних водах маса забруднюючих речовин перетворюється на гази, що видаляються у довкілля та надлишковий активний мул, який складається з новоутворених бактеріальних клітин та інших організмів, які пов'язані з ними трофічними ланцюжками.

У складі активного мулу присутні більш, як 30 видів мікроорганізмів.

Таким чином, біологічна стадія очищення стічних вод супроводжується накопиченням надлишкового активного мулу, який підлягає обов'язковому видаленню з очисної споруди.

При невиконанні цієї обов'язкової вимоги очисна споруда перетворюється на небезпечний могильник.

Непероброджений сирий осад складається здебільшого із мінеральних складових (фрагменти кісток, скло, пил, пісок тощо). Ці складові відокремлюються за допомогою фізико-хімічних і гідромеханічних впливів і також потрапляють на муловий майданчик у вигляді суспензії твердих часток у водному розчині; є у складі сирого осаду і певна частка органічних речовин (мастила, які важчі за воду, речовини поєднані з мінеральними частками тощо). Вологість неперобродженого сирого мулу має менше значення, ніж вологість активного мулу і становить 94÷96%.

Загалом суміш надлишкового активного мулу й неперобродженого сирого осаду має, зазвичай, усереднену вологість

97%, а абсолютно суха речовина складається, у середньому, із 70÷80% органічних (займистих) речовин і 20÷30% мінеральних.

За проектом цикл на муловому майданчику вважається закінченим після досягнення осадом вологості 75÷85%; після чого раніше його відвозили у сільгоспідприємства у якості добрива.

Відповідно муловий майданчик передавався до наступного циклу.

У колишньому серр зрідка використовувався ще один метод видалення надлишкових осадів.

Під москвою на Гур'янівській станції очищення стічних вод був побудований мулопровід довжиною 70 км, який відводив осади на овочеві плантації. Осади розподілялись на значну площину, безпосередньо на овочеві насадження.

У подальшому, декілька десятиліть тому, було з'ясовано, що надлишковий активний мул накопичує у своєму складі важкі метали, які у дозволених концентраціях є корисними, а у надлишкових – вчиняють негативний вплив на живі організми. По них було встановлено гранично допустимі концентрації і перевищення було законодавчо заборонено.

У розвинених країнах масово почали відмовлятися від мулових майданчиків і вдалися до практики механічного зневоднення після обробки флокулянтами, тобто функцію доведення до вологості 75÷85%, яку виконували мулові майданчики, поклали на ділянки механічного зневоднення за допомогою фільтр-пресів, центрифуг, декатерів тощо [3]. При цьому мулові майданчики ліквідувались, а відповідні земельні ділянки піддавались рекультивації. Частково зневоднений осад піддавався висушуванню і спалюванню з використанням значної кількості викопних вуглеводнів (палива). У розвинених країнах було впроваджено велику кількість різноманітних технологій сушіння і спалювання.

Слід зауважити, що сам процес спалювання висушеного осаду, також, спричиняє тиск на довкілля через утворення оксидів азоту та інших небажаних складових у газоподібних викидах.

Значним технічним досягненням вважається система, створена у Петербурзі, яка не використовує додаткового палива

В Україні, як і на всьому пострадянському просторі в ці роки спричинився період переходу до ринкових відносин. Нові країни переживали економічні труднощі, соціальне напруження і тому, вимушено вдалися до найпростішого виходу – почали накопичувати осади на мулових майданчиках, поступово перетворюючи їх на могильники застарілих осадів. Це дало змогу відтермінувати принципове вирішення питання. Як вже наголошувалось раніше, така

хибна практика виявилась можливою через занепад промисловості і відповідне зменшення надходження промислових стоків.

Так вдалося протриматися декілька десятків років. *Але на сьогодні цей резерв вичерпано; мулові майданчики заповнені. Виникла нагальна потреба видаляти додаткові осади, що надходять протягом кожного поточного року.*

Утім, упродовж останніх років у світі почалося поступове повернення до використання осадів комунальних стічних вод у якості складової органічних добрив.

Поступово з'ясувалося, що вміст важких металів у складі абсолютно сухої речовини є вельми варіабельним і може у різних населених пунктах відрізнятися у декілька разів (це насамперед, залежить від особливостей місцевої промисловості). Крім того, рішення про відмову від використання осадів, у якості добрив, приймалося коли промисловість ще працювала в повному обсязі. Подальші дослідження показали що вміст важких металів у подальшому значно знизився (у деяких випадках у 10-15 разів).

На сьогодні, у розвинених країнах повертаються до використання осадів очисних споруд у якості складової органічних добрив із обов'язковим регулюванням кількості важких металів шляхом підбору відповідних рецептур. Тобто, *практика тотальної відмови замінена на індивідуальний підхід до кожної очисної споруди.*

Наприклад, на сьогодні у розвинених країнах Європи для цілей виробництва добрив використовується до 60% загальної кількості надлишкових осадів.

В Україні у 2013 році затверджено національний стандарт: *ДСТУ 7369:2013 Стічні води*. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання [4].

Згідно з цими документами використання осадів у якості складової добрив розділяється за призначенням: удобрення лісових, паркових господарств і земель сільськогосподарського призначення.

Наприклад, на очисних спорудах Франції фірма «Елеантіс» випускає партії висушених осадів з вологістю $\leq 20\%$ для використання у якості твердого біопалива, а партії з вологістю $\leq 45\%$ – для використання у якості біодобрива.

Отже, паливне і удобрюване використання осадів слід вважати альтернативними методами утилізації і навіть такими, що можуть застосовуватись сумісно на одному об'єкті.

Виходячи з нештатної ситуації, яка склалася на очисних спорудах сформулюємо наявні проблеми, характерні для більшості міст України і альтернативні технічні рішення для їх вирішення. (Перелік складений

у порядку терміновості проведення відповідних організаційно-технічних заходів).

Фізичне зношення основних фондів, яке загрожує технічній можливості проведення основного технологічного процесу очищення стічних вод.

Технічне рішення – розробити проектну документацію на проведення ремонтно-поновлюючих робіт; розробка такої документації проводиться на базі наявної проектної документації на будівництво даної очисної споруди.

При розробці проектної документації на ремонтні роботи взяти до уваги відмінності щодо реального навантаження на теперішній час, у порівнянні з проектним навантаженням.

Відсутність на очисній споруді резервних мулових майданчиків, альтернативні технічні рішення.

Сценарій 1 налаштований на мінімізацію первинних капітальних витрат, а саме:

- компостування застарілих осадів сумісно з наповнювачами, які являють собою місцеві відновлювальні ресурси – відходи (опале листя, подрібнена тріска на основі тонкоміра від рубок догляду за лісопарковим господарством, м'які відходи місцевих підприємств деревообробки, відходи підприємств громадського харчування та агропромислових підприємств тощо);

- рецептура сумішей для компостування визначається результатами досліджень вмісту важких металів у складі застарілих осадів і наявними місцевими ресурсами речовин наповнювачів;

- для інтенсифікації технологічного процесу пропонуємо застосувати внесення рідких спеціалізованих бактеріальних препаратів вітчизняного виробництва;

- апаратурне забезпечення технологічного процесу потребує відведення відкритого майданчика з твердим покриттям;

- використання самохідного ворошителя компосту, який оснащений новою навісною системою розпилення рідини та її внесення у компостну масу і технологічну ділянку розмноження спеціалізованих бактерій і приготування рідини для внесення у компост та заправлення такою рідиною витратних ємностей (2 шт. по 500 л), встановлених на самохідному ворошителі;

— необхідною умовою практичної реалізації вказаних заходів є створення спеціалізованого закладу (технологічного комплексу компостування), розміщеного недалеко від очисних споруд і надання йому організаційно-технічної допомоги у залученні місцевих ресурсів, вирішенні логістичних питань та використанні компостів у міському

господарстві, приміських підприємствах лісового господарства, сільськогосподарських підприємствах садівництва, рослинництва і овочівництва.

Описаний сценарій має принципові недоліки і може розглядатися лише як тимчасовий. Справа в тому, що вміст застарілих осадів у складі компостів може бути лише незначним через низький вміст органічних речовин у абсолютно сухій речовині застарілих осадів ($\leq 30\%$). Відповідно, виходячи із умов комерційної привабливості компостованих біодобров, процес звільнення мулових карт потребуватиме багатьох років навіть якщо повністю припинити щорічне надходження нових осадів.

Отже, описаний сценарій може бути ефективним лише у випадку досягнення рівноваги між надходженням нових осадів і видаленням застарілих. При цьому, загальне звільнення від осадів у системі мулових карт не відбувається.

Сценарій 2 налаштований на поступове повне звільнення мулових карт з використанням їх території для розширення виробництва компостів. Цей сценарій передбачає:

- поступове чи одночасне припинення надходження нових осадів на мулові карти шляхом впровадження (поступово чи одночасно) механічного відокремлення рідини після оброблення коагулянтами [5, 6];

- розширення виробництва компостів (поступове чи одночасне) завдяки щорічному надходженню осадів з високим вмістом органічних речовин у абсолютно сухій речовині ($\geq 70\%$), із поступовим використанням площі мулових карт, що звільняються для розширення виробництва компостів.

Підвищення вмісту органічних речовин у мулових осадах за умови переходу до механічного відокремлення рідини замість мулових карт забезпечується завдяки припиненню великих втрат органічних речовин у вигляді газів, які утворюються і надходять у атмосферу від поверхні мулових карт.

Цей процес підтримується анаеробною і факультативно-анаеробною мікрофлорою на мулових картах.

Надходження у довкілля таких газів чиняє вельми негативний вплив на глобальну екологію.

Отже, запропоновані за даним сценарієм заходи є позитивно налаштованими як щодо локальної, так і глобальної екології.

Сценарій 3 – створення композиційного палива на основі застарілих мулових осадів, торфу та інших органічних наповнювачів біологічного походження [7]. В цьому напрямі проведені досліді

спрямовані на реалізацію такої пропозиції. В якості наповнювачів використовувались деревна тирса, подрібнені: макулатура, солома та опале листя.

Всі наповнювачі, використані при одержанні композитних паливних гранул, можуть вважатись цілком придатними для використання в якості складової при виробництві гранульованого біопалива.

Випробування механічних властивостей гранул показало, що всі вони не зруйнувались при паданні на тверду поверхню (бетон) із висоти 2 м. Щодо випробувань під впливом зусилля стискання, то вони показали, що початок пластичної деформації починався при зусиллі, яке знаходилося для різних композицій в діапазоні значень зусилля, що діяло на поодинокую гранулу 4÷11,6 кг. Найменш міцними виявилися гранули з наповнювачем – соломою, а міцнішими – з наповнювачем – макулатурою. Особливу увагу привертають результати випробувань на сплюсчування (багаторазову пластичну деформацію) – всі гранули витримали її без руйнації. Це свідчить про те, що біогенні речовини, які містяться у складі абсолютно сухої речовини застарілих осадів у кількості 38,5% забезпечують особливі властивості гранул, а саме – міцність і пластичність.

Отже, одержання композитних паливних гранул на основі застарілих осадів очисних споруд і наповнювачів – місцевих вторинних відновлюваних ресурсів біомаси слід вважати перспективним напрямом при організації утилізації застарілих осадів очисних споруд. Механічні властивості подібних гранул можна вважати задовільними. Неабияка пластичність одержаних гранул свідчить про високі якості біогенних речовин застарілого активного мулу, а також про перспективність випробування композицій до брикетування (при потребі одержання брикетів високої щільності та міцності). Рекомендації: доцільно, за можливості, продовжити і роботи у напрямі створення промислових технологій.

Використані інформаційні джерела:

1. Очисні споруди. Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. С. 134.
2. Довідник сучасних технологій з очищення природної і стічної води та обладнання / [І. В. Панасюк та ін. ; під заг. ред. І. В. Панасюка] ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. Київ: Медінформ, 2016. 245 с.
3. Беляньська О. Р., Іванченко А. В., Волошин М. Д. Технологія одержання комплексного добрива на основі диспергованого активного мулу. Восточноєвропейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 3, № 6 (75). С. 43–47.

4. ДСТУ 7369:2013 Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування і удобрення. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67921

5. Стецюк В. Г., Шпільберг Л. Ю., Корбут Н. С., Коханенко М. С. Проблема механічного зневоднення застарілих осадів комунальних стічних вод і перспективи застосування флокулянтів перед їх сепарацією. *Проблеми теплофізики та теплоенергетики* : М-ли XI міжн. конф., 21-22 травня 2019 року, м. Київ – Теплофізика та теплоенергетика, том 41, № 5, 2019, С. 62.

6. Кремньов В. О., Корбут Н. С., П'яних К. Є., Шеліманова О. В. Дослідження процесу сушіння мулових відкладень стічних вод за рахунок енергії сонця. *Енергетика і автоматика*. 2020. № 2. С.51–61 DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.02.118>

7. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Новікова Ю. П., Петров А. І. Шляхи утилізації застарілих мулових відкладень на паливо. *Екологічна безпека та природокористування*, 2021, № 4 (40), С. 21–31. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.21-31>

**ПРОБЛЕМА ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНОГО
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО СКЛАДУВАННЯ ВОЛОГОЇ
СИРОВИНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВА ТА БІОДОБРІВ**

Тимошенко А. В., доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, **Кремньов В. О.**, завідувач лабораторії,

Беляєв Г. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Беляєва І. П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Жуков К. Л.**, головний технолог,

Корбут Н. С., молодший науковий співробітник,
Стецюк В. Г., молодший науковий співробітник

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,
Україна*

**THE PROBLEM OF FIRE-SAFE RESOURCE-SAVING STORAGE
OF WET RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF
BIOFUELS AND BIOFERTILIZERS**

Timoshchenko A., Doctor of Technical Sciences., Leading researcher,

Kremniev V., Head of the laboratory,

Belyaev G., PhD, Senior Researcher,

Belyaeva I., PhD, Senior Researcher,

Zhukov K., Chief technologist,

Korbut N., Junior Researcher,

Stetsuk V., Junior Researcher

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of
Sciences of Ukraine, Ukraine*

Анотація. Робота присвячена раціональній організації зберігання вологої сировини для виробництва біопалив та біодобрив на відкритому просторі під час «холодного» періоду року (з середини жовтня до середини квітня). При цьому наголошується, що характерні негативні явища при зберіганні вологої «зеленої» деревної тріски, одержаної із тонкоміру деревини (хмизу) подрібненого із листям чи хвою є подібними у біохімічному сенсі з процесами, які мають місце при зберіганні вологої біомаси, призначеної для біологічної конверсії методом твердотільної ферментації (компостування). Подібність причин негативних явищ полягає у недостатній аерації біомаси при зберіганні, що зумовлює активність небажаної мікрофлори з утворенням займистих газів та їх окислення. Запропоновано зберігання у вигляді подовжених буртів із

перерізом у формі трапедії, які організуються за допомогою самохідних чи причепних ворущителів компостів.

Ключові слова: *ресурсоцінні відходи, паливна тріска, біопаливо, біодобриво, біомаса, мікрофлора, компостування.*

Abstract. The study is devoted to the rational organization of storage of wet raw materials for the production of biofuels and biofertilizers in the open space during the «cold» period of the year (from mid-October to mid-April). At the same time, it is emphasized that the characteristic negative phenomena during the storage of wet «green» wood chips, obtained from thin-gauge wood (straws and brushwood) chopped with leaves or needles, are similar in the biochemical sense to the processes that take place during the storage of wet biomass intended for biological conversion by the method of solid-state fermentation (composting). The similarity of the causes of negative phenomena occurs in insufficient aeration of biomass during storage, which leads to the activity of undesirable microflora with the formation of occupied gases and their oxidation. Storage is proposed in the form of elongated sides with a trapezoidal cross-section, which are organized with the help of self-propelled or trailed compost movers.

Keywork. *resource-valuable waste, fuel chips, biofuel, biofertilizer, biomass, microflora, composting.*

Розділ, що пропонується, належить до одного зі сталих напрямів досліджень і розробок колективу авторів: «Системна інтенсифікація тепло- та біотехнологічних процесів утилізації місцевих відновлюваних ресурсоцінних відходів біологічного походження».

В Україні на сьогоднішній день залучена у промисловий обіг лише мала частина вторинних ресурсів біомаси. Відходи, що не залучені, породжують екологічні та санітарні проблеми, а також утворюють викиди у довкілля парникових газів.

Україна посідає чи не останнє місце у Європі щодо застосування у рослинництві біодобрив. Це тим більше прикро, якщо взяти до уваги величезне значення рослинництва для суспільного господарства, а також залежність країни від імпорту природного газу, який використовується при виробництві синтетичних добрив у двох напрямках, як енергоносіє і як сировина для синтезу аміаку. Отже, виробництво синтетичних добрив є потужним споживачем природного газу і суттєво загострює проблему залежності від його імпорту.

Склалася ситуація, для якої характерно водночас:

– значне зниження загальної кількості ресурсоцінних відходів – сировини для виробництва органічних добрив через занепад тваринництва;

– значна їх концентрація на поодиноких потужних підприємствах тваринництва, що унеможливило використання традиційних екстенсивних технологій підготовки із них органічних добрив.

Пояснення терміну. Ресурсоцінні відходи – такі, що, на наш погляд, є комерційно перспективними для використання у якості сировинних ресурсів при виробленні одного чи декількох видів товарної продукції зазначеної вище.

У полі наукових та практичних інтересів авторів знаходяться проблеми утилізації відходів біологічного походження, які постійно утворюються у ряді галузей суспільного господарства використовуються недостатньо, нераціонально чи зовсім не використовуються і негативно впливають на довкілля.

Широко поширені відходи різних галузей [1].

1. Лісівництво. У лісівництві щорічно утворюються неліквідні відходи, які відповідно до існуючих протипожежних правил спалюються у лісгоспах, із витратами праці, рідкого палива та забрудненням довкілля продуктами згоряння.

2. Тваринництво:

– птахівництво: м'ясний напрям (підстилковий послід), яєчний напрям (нативний послід).

– велика рогата худоба (ВРХ): при стійловому утриманні (суміш екскрементів із матеріалом підстилки); ВРХ при стійловому утриманні без підстилки при водяному змиві – високоволога рідиноплинна гетерогенна суміш кала, сечі й **змивної** води.

– відгодівля свиней: відходи від утримання (суміш кала сечі і матеріалу підстилки); відходи м'ясопереробки м'ясні продукти (легені, нирки тощо); шлям (внутрішній шар кишечника, так звана, мукозна сировина для виробництва фармацевтичних антикоагулянтів.

3. Промислове грибівництво. Відходи відпрацьованого субстрату для вирощування печериць, які підлягають періодичному видаленню з території підприємств з вирощування грибів і є перспективною сировиною для виробництва добрив.

4. Підприємства торгівлі:

– відходи фрукто- та овочесховищ;

– відходи продовольчих сітьових підприємств роздрібно́ї торгівлі;

– супермаркетів (продовольчі товари з вичерпаним строком придатності).

5. Відходи підприємств громадського харчування.

Вологі тверді та пастоподібні товарні рештки кафе, ресторанів, їдалень (у тому числі шкільних, санаторних, дитячих садків, лікарень тощо).

6. Відходи соціальної сфери:

– осади комунальних очисних споруд (надлишковий муловий осад від біологічної аеробної конверсії органічної складової стічних вод та «сирий» осад від установок фізико-хімічного очищення стічних вод;

– у подальшому – тверді побутові відходи при розподільному збиранні побутового сміття;

– листяний опад та деревина від догляду за зеленими насадженнями урбанізованих територій.

Наведені типи відходів далеко не вичерпують можливу їх номенклатуру, але є характерними і на сьогодні вже досліджуються авторами на предмет організації їх утилізації.

Місія, якої ми прагнемо досягти, полягає в значному поліпшенні користування ландшафтом, що підпорядкований територіальній громаді (ТГ). Для цього плануємо покласти край потраплянню відходів біологічного походження, які утворюються у суб'єктів господарювання на полігони звалища і сміттєспалювальні заводи. Завдяки цьому буде забезпечене значне зниження негативного впливу на глобальну і локальну екологію.

Сутність замислу скоординованих між собою заходів (новий сценарій) з утилізації ресурсоцінних відходів полягає в тому, що на урбанізованих територіях створюються виробництва добрив і кормів, які застосовуються за призначенням у першу чергу на території громади в рослинництві і тваринництві у сільській місцевості, а в якості дешевого і екологічного палива застосовується висушена паливна тріска із неліквідних відходів місцевого лісівництва. Без територіальної координації заходів із утилізації реалізація замислу неможлива. Наприклад, використання в якості сировини для виробництва добрив осадів комунальних очисних споруд (КОС) без інших компонентів неможливе через надмірний вміст «важких» металів. Ці метали у оптимальній кількості є корисними, а при перевищенні – шкідливими. Отже, ці відходи соціальної сфери є ресурсоцінними лише в сукупності з іншими складовими, котрі необхідно залучити до використання сумісно з осадами КОС.

Координація заходів із утилізації можлива лише в результаті розроблення й реалізації відповідних міжгалузевих цільових науково-технічних програм для умов кожної ТГ.

У загальному випадку програма для кожної ТГ включає створення двох підприємств:

– перше – з виробництва паливної тріски й розташоване на території лісгоспу;

– друге – з виробництва компостів і гранульованих біодобрив на їх основі і розташоване на території очисної споруди чи в сільській місцевості ТГ.

Наші роботи у напрямках виробництва біопалива і біодобрив дозволяють розглянути характерні негативні явища у цих технологіях з єдиних позицій. Чому виникає значне підвищення температури до рівня, при якому навіть може відбуватись явище самозаймання?

Наприклад, при обстеженні заводу по виробництву паливних гранул із соломи за допомогою спеціального щупа вимірювали температуру в глибині солом'яної маси на складі сировини. Вимірювання показало значення $+96^{\circ}\text{C}$.

На наш погляд, таке значення однозначно свідчить про те, що у масі соломи йдуть не тільки суто біологічні процеси, а й хімічні екзотермічні процеси окислення. Аналогічні явища мають місце при довготривалому зберіганні «зеленої» тріски і інших лісосічних відходів. Самозаймання відбувається як влітку, так і взимку [2].

Для роз'яснення необхідно звернутись до мікробіології.

Що відбувається при недостатній аерації?

Починає розмножуватись небажана мікрофлора. Аеробна мікрофлора, робота якої відповідає технологічній задачі, називається облигатною аеробною мікрофлорою. При її функціонуванні виділяються виключно негорючі гази (CO_2 і H_2O).

Наряду з облигатною аеробною мікрофлорою у природі існує різноманітна облигатна анаеробна мікрофлора така, що одержує енергію шляхом руйнування складних біополімерів і їх перетворення у простіші. Цей процес, також, спричиняється специфічними ферментами, але без участі кисню. Зокрема, облигатна анаеробна мікрофлора забезпечує процес виробництва біогазу в метантенках.

Отже, облигатні форми як аеробної, так і анаеробної мікрофлори налаштовані на характерні способи енергозабезпечення. Облигатна анаеробна мікрофлора призводить при перетворенні складних біополімерів у простіші до утворення суміші займистих газів (у тому числі метану), які не містять кисню.

Але, крім облигатних форм як аеробної, так і анаеробної мікрофлори, у природній біомасі присутній великий спектр, так званої, факультативної мікрофлори, яка здатна для обох циклів видобутку енергії і в залежності від властивостей оточуючого середовища може поводитись як аеробна чи анаеробна. При нестачі кисню у біомасі з'являються різноманітні продукти неповного розпаду, займисті гази,

біогенні аміни тощо. Займисті гази переміщуються в об'ємі й потрапляють в зону, де присутній кисень, вступають у суто хімічні екзотермічні реакції з відповідним підвищенням температури газового безперервного суцільного середовища, у якому розташовані тверді дисперсні частини біомаси. В результаті такого суто хімічного окислення температура може підвищитись навіть до самозаймання газів, а потім і самої твердої біомаси (соломи чи деревної тріски).

Таким чином, такі небезпечні явища як самозаймання, на наш погляд, спричиняються сумісною дією біохімічних і суто хімічних факторів, а першопричиною є недостатня та нерівномірна аерація.

У результаті порушення роботи аеробної мікрофлори з'являються замість інертних займисті гази, які в інших зонах об'єму біомаси окислюються хімічно з підвищенням температури до рівня, який не може бути досягнутий біохімічно.

Для досягнення температури, яка значно перевищує $+60^{\circ}\text{C}$ необхідна саме одночасна сумісна дія біохімічних і суто хімічних факторів, але в різних зонах. Біохімічно діяльність саме факультативної мікрофлори продукує займисті гази при температурі $\leq +60^{\circ}\text{C}$, а вже в інших зонах вони окислюються суто хімічно з подальшим нагріванням.

Невипадково явища самозаймання спостерігаються саме при зберіганні «зеленої» тріски. Це пояснюється тим, що хвоя і листя, які містяться в її об'ємі легко піддаються конверсії на відміну від деревини; саме із них факультативна мікрофлора продукує займисті гази, а після їх нагрівання й запалювання у горіння включається і деревна маса. Крім хвої і листя аналогічний ефект викликають і дрібні частки деревини та кори, які завжди присутні у лісосічних відходах. Таким чином недостатня аерація зумовлює пожежонебезпечність довгострокового зберігання вологої деревної тріски.

Розглянемо вплив недостатньої аерації при зберіганні вологої біомаси, призначеної для виробництва біодобрив.

Ми мали змогу обстежувати мулові карти комунальних очисних споруд (КОС) ряду міст України і відвали птахофабрик, де зберігався послід від утримання птиці.

Було з'ясовано, що внаслідок діяльності факультативної мікрофлори у мулових осадах та посліді кратно знизився вміст органічних речовин і особливо азотоутримуючих сполук, які мають основне значення щодо удобрювальних якостей біодобрив. Органічні речовини видаляються у повітря з біомаси у формі займистих газів, а втрати особливо цінних азотних сполук відбуваються у вигляді газу – аміаку.

Таким чином, при недосконалому зберіганні сировина для виробництва біодобрив знецінюється, а ресурсоцінні відходи перетворюються на забруднюючі речовини, непридатні для виробництва комерційної продукції.

Отже, зберігання вологої біомаси-сировини як при виробництві біопалива так і при виробництві біодобрив слід розглядати не стільки як логістичну операцію, скільки як тепло-біотехнологічну і таку, що істотно впливає на безпечність і економічність виробництва.

Довготривале зберігання та зневоднення тонкомірних відходів деревини.

Деревне паливо цілком відповідає сучасним екологічним вимогам, є перспективним відновлюваним ресурсом, але потребує великих обсягів зберігання сировини. Наприклад, у порівнянні з вугіллям, з урахуванням різниці у теплотворній здатності, насипний масі та вологості об'єм деревини у складометрах перевищує об'єм вугілля приблизно у 20 разів за умови однакового теплоенергетичного потенціалу.

В Інституті технічної теплофізики проводилось дослідження зберігання тонкомірної сировини трьома найбільш розповсюдженими способами [3]. У натурному вигляді – у купі і фрагменті штабеля та у подрібненому – у вигляді вологої «зеленої» тріски. Перший і другий способи вважаються безпечними щодо самозаймання, тому основною задачею дослідження цих способів був вплив довготривалого зберігання на вміст вологи у деревині. Третій спосіб – у вигляді вологої тріски вважається небезпечним щодо самозаймання, а особливо це стосується «зеленої» тріски, одержаної подрібненням деревини сумісно з листям.

При зберіганні у купах.

У окремій купі, у вигляді цілих деревин з листям: ширина – 1,7 м; довжина – 3,4 м; висота – 1,5 м; насипний об'єм $\sim 9 \text{ м}^3$.

При зберіганні у штабелях.

У фрагменті промислового штабелю: ширина – 5 м; висота – 2 м; довжина – 1 м (на практиці довжина не обмежена, не має технологічного значення й визначається з організаційних міркувань із урахуванням розмірів і форми майданчика для зберігання); насипний об'єм $\sim 10 \text{ м}^3$.

При зберіганні у фрагменті бурта в подрібненому вигляді (паливна тріска).

Фрагмент бурта подрібненої деревини на «зелену» тріску. Розміри бурта: висота – 2 м; ширина: на відмітці «0» – 5 м, на відмітці «2» – 3 м; довжина – 1 м; насипний об'єм $\sim 5,5 \text{ м}^3$ [4].

Довготривале зберігання вологих паливних трісок відбувається наступним чином.

Попередньо подрібнюють лісосічні відходи (хмиз із листям, деревна кора, хвоя), на відкритому просторі з твердим покриттям закладають купи за допомогою самоскидів, які на визначену ділянку вивантажують вологі тріски, при цьому формують паралельні купи висотою $1,5 \div 2,5$ м, із перерізом, наближеним до трапеції, що має нижню основу шириною $4 \div 6$ м, симетричні бокові сторони, які мають кут із нижньою основою, що дорівнює куту природного схилу тріскової маси $45 \div 55$.

Довготривалі дослідження довели, що при такій формі купи, поверхня тепломасообміну з довкіллям є достатньою для забезпечення довготривалого зберігання, необхідності у перемішуванні немає й таке зберігання є пожежобезпечним.

Під час зберігання проводився контроль температури в об'ємі тріски. Температура досягала $+ 60$ °C, а потім поволі знижувалась. Це однозначно свідчить про те, що підвищення температури має місце лише під впливом біохімічних факторів. Беручи до уваги, що при довготривалому зберіганні фрагмента промислового бурта перемішування нами не проводилось ми дійшли висновку, що вибрана форма бурта, яка відповідає роботі перемішувачів пристроїв є достатньою для само вентиляції і не призводить до небажаних біохімічних процесів. Отже, для пожежобезпечного зберігання є достатнім сформувати тріску у форми продовжених буртів. Цей вельми важливий висновок прислужився основою для отримання патенту на корисну модель «Спосіб довготривалого зберігання вологої паливної тріски з тонкоміру деревини» [5].

Таким чином, ми дійшли висновку про доцільність застосування подібних заходів при зберіганні у «холодний» період року як маси деревної тріски, так і сировини для виробництва компостів.

Розглянемо основні організаційно-технічні заходи.

Підготовка майданчика з твердим покриттям, придатного як для роботи транспортних засобів доставляння біомаси і її вивантаження, так і для роботи спеціалізованої машини для перемішування і аерації компостів.

Покриття майданчика може облаштовуватись методом ущільнення, шляхом трамбування або шляхом укладення твердого покриття з пристроями, які забезпечують видалення води при опадах (дощі чи танення снігу).

Майданчик у загальному випадку має форму в плані наближену до прямокутника, але співвідношення між його сторонами може бути різним як таке, що не має технологічного значення і залежність від місцевих особливостей господарства. Майданчик при плануванні

розподіляється на три зони: одна зона розташування буртів із вологою біомасою й дві подібні зони призначені для маневрування пересувних пристроїв перемішування і аерації.

Зона розташування буртів завжди займає центральне положення й оточена зонами маневрування пересувної техніки.

Планування майданчика потребує попереднього вибору комерційно доступних як транспортних засобів для доставляння і вивантаження біомаси, так і техніки для перемішування та аерації. Без такого вибору неможливо визначити переріз буртів, мінімальну відстань між паралельними буртами, розміри зони, необхідної для розвертання техніки.

Необхідна загальна площа зони безпосереднього розташування буртів визначається об'ємом біомаси, яка може надходити протягом року. Це забезпечує певний резерв площі, пов'язаний із тим, що впродовж року має місце не тільки доставка біомаси, а й вивезення.

Типи машин транспортування біомаси й її перемішування істотно впливають на необхідні розміри майданчика; самохідні способи потребують значно меншої площі, ніж такі, що причіплюються до тракторів.

Вибір засобів доставляння біомаси на майданчик і машин для її перемішування є певною мірою взаємозалежним. Це потребує деякого пояснення. При формуванні кожного бурта біомаса спочатку вивантажується у вигляді «ланцюжка» конічних куп, які розміщуються по прямій лінії. Після заповнення купами запланованої довжини майбутнього бурта, проводиться його однократна обробка машиною для перемішування. В результаті «ланцюжок» куп набуває форми бурта з перерізом у вигляді трапеції. Отже, розміри конічних куп і зони обробки біомаси машиною для перемішування необхідно скоординувати.

Після формування кожного бурта його не обробляють до закінчення «холодного» періоду року, який ми умовно називаємо «періодом складування».

При подібності біологічних принципів і організації складування деревної тріски і біомаси, призначеної для компостування, мають місце суттєві відмінності щодо технологічних цілей. Якщо при складуванні тріски головна мета – запобігання самозаймання, то при складуванні компостної маси головна мета – запобігти втратам органічних речовин у газоподібній формі і, відповідно, знецінення сировини.

Крім того, суттєві відмінності стосуються операцій, які передують закладанню на довгострокове зберігання у «холодний» період року.

Розглянемо такі відмінності більш докладно.

Підготовка паливної тріски до зберігання.

Тут можливі два варіанти.

Перший варіант. Тріска готується виключно із тонкоміру (хмизу). Така тріска не потребує особливої підготовки до вивезення на майданчик для зберігання впродовж «холодного» періоду року.

Другий варіант. До тріски, що одержана із тонкоміру, додається тріска, одержана із таких ресурсоцінних відходів:

- вчасно нереалізованої, забракованої і знятої з балансу дров'яної деревини (ураженої грибком тощо);

- відходами власного лісопиляння, яке здійснюється у більшості лісгосподарських підприємств і охоплює у середньому 40%, заготовленої ними ділової деревини; до таких відходів належать «горбилі», кромки дощок тощо.

Такі відходи також необхідно подрібнити на тріску і перемішати з тріскою із тонкоміру. Така операція дозволить у подальшому в «теплий» період року забезпечити активний екзотермічний біологічний процес «дихання» аеробної мікрофлори при аерації і, відповідно, за рахунок біологічної конверсії листя, хвої і малих часток кори, які швидко піддаються конверсії, одержати теплову енергію для підсушування тріски.

Тобто, змішування тріски різного походження слід проводити при формуванні бурта за допомогою перемішувача-аератора чи до вивезення на майданчик для зберігання на окремій ділянці приготування суміші.

Ці різновиди у організації описаної операції є альтернативними у технологічному сенсі, а вибір між ними робиться на основі техніко-економічних чинників.

Основний висновок полягає в тому, що подібні операції необхідно проводити й при закладанні на зберігання маси, призначеної для виробництва біодорив. Це стосується забезпечення рецептури компостів, у частині її твердих дисперсних складових, які неможливо вносити у рідинному стані під час самого процесу компостування. Тобто, рецептура щодо твердих складових забезпечується «заздалегідь» до закладання на довгострокове зберігання у «холодний» період року.

Активне поводження з буртами у «теплий» період року виходить за рамки даної роботи й буде розглянуто окремо.

Використані інформаційні джерела:

1. Кременьов В. О., Тимошенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г. Системна інтенсифікація тепло- і біотехнологічних процесів при утилізації ресурсоцінних відходів біологічного

походження на території об'єднаних територіальних громад. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: колективна монографія ; під. ред. М. С. Мальованого, О. В. Степової. Полтава – Львів : НУПП ім. Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» – Дніпро: Середняк Т. К., 2022, С. 326–339.

2. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В. Проблема пожежобезпечного ресурсозберігаючого складування вологої сировини при виробництві біопалива та біодобрив. *«Екологія. Довкілля. Енергозбереження»* : Збірник матеріалів V Міжн. наук.-практ. конф. (19.12.2024 р., Полтава). Полтава : НУПП, 2024. С. 99–102.

3. Кремньов В. О., Корбут Н. С., Тимошенко А. В., Шеліманова О. В. Організоване довготривале зберігання та попереднє сушіння неліквідної деревини (хворосту і хмизу) на відкритому повітрі під впливом природних факторів довкілля у масштабі, наближеному до промислового. *Енергетика і автоматика*. №6, 2019, С. 111–121.

4. Kremnov V., Belyaev G., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V., Shpilberg L., Timoshchenko A. Fire safe storage and preliminary dehydration of wood waste with diameter < 30 mm from final felling and forest care felling, as a semi-finished product for the production of solid fuel. / *Journal of new technologies in environmental science*. Vol. 6. No.3, pp. 85–90.

5. Кремньов В. О., Тимошенко А. В., Шпільберг Л. Ю., Жуков К. Л., Корбут Н. С. Спосіб довготривалого зберігання вологої паливної тріски з тонкоміру деревини. Патент України на корисну модель №142712 МПК F26B 9/00; C10L 5/00. Опубл. 25.06.2020, бюл. № 12.

**КОМПЛЕКСНІ РЕСУРСООЩАДНІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ
ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Усенко І. С., кандидат технічних наук, доцент,
Усенко Д. В., доктор філософії

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

**COMPLEX RESOURCE-SAVING AND ENERGY-EFFICIENT
TECHNOLOGIES FOR THE RESTORATION AND
MODERNIZATION OF CIVIL PROTECTION STRUCTURES**

Usenko I. S., PhD in Technical Sciences, Associate Professor;
Usenko D. V., PhD in Technical Sciences

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. У монографії розглянуто сучасні ресурсоощадні та енергоефективні технології для відновлення та модернізації захисних споруд цивільного захисту. Представлено результати досліджень фізико-механічних властивостей самоущільнюваного бетону з переробленими матеріалами, а також ефективність застосування технології 3D-друку у відновлювальних процесах. Особливу увагу приділено оцінці енерговитрат і екологічної стійкості, а також розроблено рекомендації щодо впровадження інноваційних технологій для зменшення викидів CO₂ та оптимізації використання ресурсів. Робота спрямована на підвищення надійності та швидкості відновлення пошкоджених об'єктів критичної інфраструктури.

Ключові слова: *ресурсоощадні технології, енергоефективність, відновлення споруд, цивільний захист, самоущільнюваний бетон, перероблені матеріали, 3D-друк, екологічна стійкість*

Abstract. The monograph examines modern resource-saving and energy-efficient technologies for the restoration and modernization of civil protection structures. The study presents the results of research on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete with recycled materials, as well as the effectiveness of using 3D printing technology in recovery processes. Special attention is given to the assessment of energy consumption and environmental sustainability, with recommendations developed for implementing innovative technologies to reduce CO₂ emissions and optimize resource use. The work aims to improve the reliability and

speed of restoring damaged critical infrastructure facilities.

Keywords: *resource-saving technologies, energy efficiency, structure restoration, civil protection, self-compacting concrete, recycled materials, 3D printing, environmental sustainability*

Сучасні виклики, зумовлені як природними, так і антропогенними факторами, зокрема військовими конфліктами, сприяли підвищенню уваги до швидкого відновлення пошкодженої інфраструктури. Захисні споруди цивільного захисту повинні забезпечувати високий рівень безпеки для населення та критично важливих об'єктів інфраструктури. При цьому зростає потреба у впровадженні ресурсоощадних та енергоефективних технологій, які можуть значно зменшити фінансові витрати, час на будівництво та негативний вплив на довкілля.

Ресурсоощадні рішення у відновленні споруд, зокрема використання вторинних матеріалів, таких як перероблена пластмаса в самоущільнюваному бетоні, дозволяють підвищити стійкість конструкцій та сприяють екологічній безпеці [3]. Одночасно з цим, адитивні технології, такі як 3D-друк бетонних конструкцій, демонструють значний потенціал для підвищення продуктивності будівельних процесів та скорочення витрат ресурсів [2]. Незважаючи на те, що технології 3D-друку активно розвиваються, їх широкомасштабне впровадження залишається обмеженим через ряд технічних, економічних та організаційних бар'єрів [1].

Важливим аспектом є також необхідність інтеграції принципів енергозбереження у процеси реконструкції та модернізації. Використання новітніх технологій із оптимізацією енергоспоживання сприятиме підвищенню ефективності захисних споруд, забезпечуючи при цьому дотримання екологічних стандартів [4].

Новизна даного дослідження полягає у комплексному підході до відновлення та модернізації захисних споруд цивільного захисту шляхом упровадження ресурсоощадних і енергоефективних технологій. Уперше здійснено порівняльний аналіз ефективності традиційних та інноваційних підходів до будівництва з акцентом на довговічність конструкцій, швидкість відновлення та мінімізацію впливу на довкілля.

Метою роботи є розроблення комплексних ресурсоощадних та енергоефективних технологій для відновлення та модернізації захисних споруд цивільного захисту, що сприятиме зменшенню витрат, часу на відновлення та екологічного впливу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі науково-дослідницькі завдання:

– проаналізувати сучасний стан відновлення захисних споруд та

визначити основні проблеми у цьому напрямі;

- дослідити потенціал використання адитивних технологій у будівництві та їхню ефективність для різних типів конструкцій;

- вивчити вплив перероблених матеріалів, таких як пластмасові добавки, на властивості будівельних конструкцій;

- розробити рекомендації щодо впровадження технологій, орієнтованих на збереження ресурсів та енергозбереження у процесах реконструкції;

- порівняти результати застосування інноваційних технологій із традиційними методами, з урахуванням впливу на навколишнє середовище та довговічності споруд.

Таким чином, розділ монографії спрямований на вирішення актуальних наукових та практичних завдань у сфері екологічно орієнтованого відновлення інфраструктури.

Об'єктами дослідження є захисні споруди цивільного захисту, що піддаються впливу різних руйнівних факторів, зокрема бойових дій, стихійних лих або техногенних катастроф. Особливу увагу надано дослідженню технологій, спрямованих на ресурсоощадне та енергоефективне відновлення цих споруд, що дозволяє знизити витрати на будівництво, час на відновлення та негативний вплив на довкілля. Дослідження базується на застосуванні новітніх матеріалів, таких як самоущільнюваний бетон із вторинними компонентами, а також технологій 3D-друку, які забезпечують швидке створення конструкцій складної форми з мінімальними затратами ресурсів.

Матеріальна база дослідження включає різноманітні будівельні матеріали та технології. Одним із ключових компонентів є самоущільнюваний бетон із додаванням перероблених пластмас, які представлені у вигляді полімерних волокон або гранул. Застосування таких матеріалів дозволяє підвищити механічні характеристики бетону, зокрема його міцність, тріщиностійкість і довговічність, а також сприяє зниженню обсягів використання природних ресурсів та відходів у будівництві. Дослідження підтверджують, що бетон із такими добавками зберігає високу плинність, що спрощує процес формування елементів конструкцій навіть складної форми без застосування механічної вібрації під час заливки.

Другою важливою технологією дослідження є 3D-друк бетонних конструкцій. Ця технологія передбачає пошарове нанесення спеціально розроблених бетонних сумішей за допомогою роботизованих систем. Для досягнення оптимальних результатів досліджено параметри друку, зокрема товщину шару, швидкість подачі матеріалу та тиск у системі. Експериментально встановлено, що швидкотверднучі суміші з

контрольованим складом забезпечують високу якість та точність друку, а також дозволяють уникнути дефектів, пов'язаних із нерівномірним твердінням. Переваги 3D-друку включають скорочення часу на відновлення об'єктів, зменшення витрат на опалубку та оптимізацію використання матеріалів [1].

Із метою підвищення енергоефективності будівельних процесів досліджено впровадження технологій із низьким енергоспоживанням, зокрема альтернативні методи твердіння бетону. Зниження енергетичних витрат досягається також завдяки застосуванню матеріалів із покращеними теплоізоляційними характеристиками. Окрім того, оптимізація складу бетонних сумішей за рахунок зменшення частки цементу дозволяє зменшити обсяги викидів CO₂ під час виробництва будівельних матеріалів, що відповідає сучасним екологічним стандартам і вимогам сталого розвитку.

Методологія дослідження базується на кількох етапах. На першому етапі проведено теоретичний аналіз сучасних технологій відновлення захисних споруд, що включає огляд наукових публікацій і нормативних документів. Зокрема, розглянуто міжнародний досвід використання перероблених матеріалів та технологій адитивного виробництва в будівництві. На другому етапі проведено експериментальні дослідження з метою оцінення фізико-механічних властивостей матеріалів, їх стійкості до навантажень і зносу. Досліди зі створення елементів методом 3D-друку дозволили визначити ключові параметри процесу, які впливають на якість і довговічність кінцевих конструкцій [1].

Додатково використано методи математичного моделювання для оцінки розподілу напружень у конструкціях. Це дозволило проаналізувати вплив геометрії елементів та складу матеріалів на міцність споруд. Особливу увагу надано оцінці енергоефективності різних варіантів технологій відновлення, зокрема шляхом порівняння енергоспоживання при використанні традиційних і інноваційних підходів. Для цього було створено моделі, які враховують витрати енергії на кожному етапі будівельного процесу.

Завершальним етапом стало порівняння отриманих результатів із даними для традиційних методів будівництва. Це дозволило зробити висновки щодо доцільності впровадження ресурсоощадних і енергоефективних рішень у масштабних проєктах відновлення пошкоджених об'єктів. Оцінка ефективності цих рішень проводилася за критеріями скорочення часу відновлення, зниження витрат на матеріали та зменшення впливу на довкілля. Результати дослідження формують основу для розроблення рекомендацій із практичного впровадження

технологій у сфері цивільного захисту та екологічно сталого будівництва.

Результати проведених досліджень підтвердили ефективність застосування сучасних ресурсощадних і енергоефективних технологій для відновлення та модернізації захисних споруд цивільного захисту. У сучасних умовах особливого значення набуває інтеграція інноваційних підходів до будівництва, що включають використання самоущільнюваного бетону з переробленими матеріалами та технологій адитивного виробництва, таких як 3D-друк. Такі рішення дозволяють не лише прискорити процеси відновлення, а й суттєво знизити витрати на матеріали та енергію, а також скоротити негативний вплив на довкілля.

Дослідження використання самоущільнюваного бетону з переробленими пластмасовими добавками показали значні переваги цього матеріалу. За результатами експериментів встановлено, що додавання полімерних волокон покращує механічні характеристики бетону, зокрема його міцність на стиск і стійкість до утворення тріщин [3]. Крім того, застосування вторинних матеріалів сприяє скороченню обсягів відходів та підвищенню екологічної ефективності будівництва, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Важливою частиною дослідження є оцінка можливостей технології 3D-друку, яка передбачає автоматизоване пошарове нанесення будівельної суміші за допомогою спеціалізованого обладнання. Ця технологія дає змогу значно скоротити час виконання робіт і зменшити залежність від людського фактора, що підвищує безпеку на будівельних майданчиках. Проведені експерименти підтвердили, що за умов дотримання оптимальних параметрів друку – таких як швидкість подачі матеріалу, товщина шару та тиск у системі – можна досягти високої точності та якості конструкцій [7].

Ще одним важливим аспектом дослідження є питання енергоефективності. Зниження енергетичних витрат у будівництві досягається за рахунок оптимізації складу сумішей і впровадження методів твердіння бетону з мінімальним споживанням енергії. Зокрема, скорочення частки цементу у суміші дозволяє зменшити викиди CO₂, що має велике значення для зниження впливу будівельної галузі на клімат. Впровадження теплоізоляційних матеріалів також підвищує загальну енергоефективність будівельних споруд [2].

Порівняння результатів експериментальних досліджень із даними для традиційних методів будівництва вказує на суттєві переваги інноваційних технологій. Встановлено, що використання ресурсозберігаючих рішень сприяє зменшенню загальних витрат на будівництво та підвищенню довговічності об'єктів. Проте, було

виявлено певні обмеження впровадження цих технологій. Основними проблемами залишаються відсутність розвинутої нормативної бази та необхідність додаткових досліджень щодо адаптації технологій до різних умов експлуатації [3].

Таким чином, результати досліджень підтверджують ефективність запропонованих підходів для відновлення пошкодженої інфраструктури цивільного захисту. Подальші дослідження мають бути зосереджені на удосконаленні технологічних процесів, оптимізації матеріалів і розширенні можливостей застосування інноваційних рішень у різних регіонах.

Одним із ключових напрямів дослідження є визначення механічних характеристик будівельних матеріалів, які використовуються для відновлення та модернізації захисних споруд цивільного захисту. Основний акцент зроблено на властивостях самоущільнюваного бетону з переробленими пластиковими добавками, а також на ефективності технологій 3D-друку бетонних конструкцій.

Проведені експерименти показали, що додавання перероблених полімерних матеріалів до бетонної суміші дозволяє підвищити її міцність та тріщиностійкість. Основним показником міцності є стискальна міцність σ_c , яка обчислюється за формулою:

$$\sigma_c = \frac{F_{max}}{A}, \quad (1)$$

де F_{max} – максимальне навантаження, що витримує зразок, A – площа перерізу зразка [3].

Додатково оцінюється розтягувальна міцність σ_t , яку визначають за формулою:

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot l}, \quad (2)$$

де P – прикладене навантаження, d – діаметр зразка, l – його довжина [3].

Використання пластикових волокон сприяє підвищенню стійкості бетону до розтріскування внаслідок пластичних деформацій. Згідно з даними, отриманими під час випробувань, впровадження полімерних добавок дозволяє досягти приросту міцності на 10-15% у порівнянні з традиційним бетоном [4].

Таблиця 1 – Результати досліджень

Уміст полімерів, %	Міцність на стиск, МПа	Міцність на розтяг, МПа
0	40	4,5
5	44	5,0
10	46	5,2

Технологія 3D-друку передбачає пошарове нанесення матеріалу. Важливим параметром є товщина шару h_{layer} , яка впливає на загальну міцність конструкції. Параметр оптимізується для збереження балансу між швидкістю друку та якістю поверхні. Для визначення впливу швидкості друку на міцність використовується формула:

$$\sigma_{3D} = \alpha \cdot v_{print}^{-\beta}, \quad (3)$$

де α і β – експериментальні коефіцієнти, що залежать від властивостей матеріалу та умов друку, v_{print} – швидкість подачі матеріалу [1].

Тести показали, що при збільшенні швидкості друку понад 100 мм/с якість шарів знижується через недостатнє зчеплення між ними. Це зумовлено тим, що верхній шар не встигає інтегруватися з нижнім через надто швидке його твердіння.

Таблиця 2 – Дані результату друку

Швидкість друку, мм/с	Міцність на стиск, МПа	Дефекти у зразках, %
50	48	2
100	45	5
150	38	12

Важливою характеристикою є товщина шару, яка визначає рівномірність навантаження у конструкції. Встановлено, що оптимальна товщина шару становить 10-15 мм для збереження міцності на рівні, не менше 90% від аналогічного литого бетону [1].

Використання перероблених полімерів позитивно впливає на стійкість до тріщиноутворення. Завдяки модифікації складу бетону досягається кращий розподіл напружень у зразках, що знижує ймовірність раптового руйнування конструкцій. Параметр тріщиностійкості σ_{crack} можна визначити за рівнянням:

$$\sigma_{crack} = \frac{K \cdot \Delta L}{E \cdot d}, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт жорсткості матеріалу, ΔL – подовження зразка, E – модуль пружності матеріалу, d – початкова довжина зразка [3].

Дані експериментів свідчать, що за наявності полімерних волокон критичні деформації суттєво знижуються, що робить матеріал більш довговічним. Порівняльні дослідження зразків різного складу показують, що використання добавок дозволяє зменшити кількість тріщин на 30-40% у порівнянні з контрольними зразками.

Аналіз механічних характеристик матеріалів показав суттєві відмінності між традиційним бетоном, самоущільнюваним бетоном із переробленими полімерними добавками та матеріалом, що використовується для технології 3D-друку. Традиційний бетон має стискальну міцність близько 40 МПа і розтягувальну міцність 4,5 МПа. Однак, цей матеріал менш стійкий до утворення тріщин і потребує використання опалубки під час будівництва. Водночас самоущільнюваний бетон із полімерними добавками продемонстрував покращені характеристики: його міцність на стиск становить 46 МПа, а тріщиностійкість зросла на 30%.

Таблиця 3 – Порівняння міцності матеріалів

Матеріал	Міцність на стиск, МПа	Міцність на розтяг, МПа	Тріщиностійкість (%)
Традиційний бетон	40	4,5	100
Самоущільнюваний бетон з полімером	46	5,2	70
Бетон для 3D-друку	45	5,0	80

Бетон для 3D-друку, хоч і поступається за міцністю самоущільнюваному (45 МПа), забезпечує значні переваги в будівельних процесах завдяки автоматизації та швидкому створенню конструкцій. Усі інноваційні матеріали дозволяють скоротити час будівництва майже вдвічі, а також знижують потребу в робочій силі та витратах на опалубку, що робить їх економічно вигідними [3].

Таблиця 4. Порівняння часу виконання робіт

Метод	Час будівництва (днів)	Вартість опалубки (%)	Потреба у робочій силі (%)
Традиційне будівництво	120	20	100
Будівництво з 3D-друком	60	0	50

Результати аналізу механічних характеристик матеріалів підтверджують доцільність впровадження як самоущільнюваного

бетону з переробленими матеріалами, так і технології 3D-друку у відновленні захисних споруд. Ці матеріали мають високі експлуатаційні властивості, сприяють оптимізації будівельних процесів і відповідають сучасним вимогам екологічної стійкості [6].

Енергетичні витрати на будівництво є важливим показником ефективності технологій. Проведене дослідження дозволило оцінити загальне енергоспоживання при використанні різних методів будівництва. Для традиційного бетону енерговитрати на виробництво та монтаж становлять близько 350 МДж на кубічний метр, що обумовлено високою часткою енергозатратного цементу у складі суміші. Самоущільнюваний бетон демонструє зменшення загальних витрат до 280 МДж/м³ завдяки оптимізації складу і зменшенню часу твердіння.

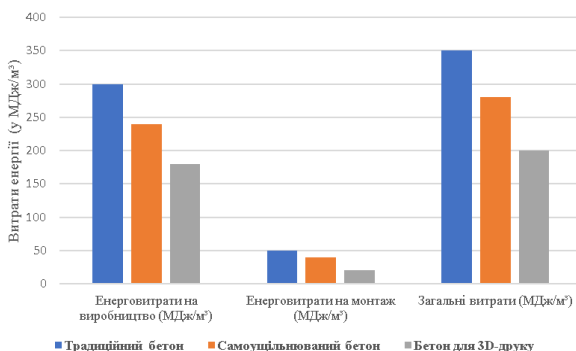


Рисунок 1 – Енергоспоживання різних методів будівництва

Найбільш енергоефективним виявився бетон для 3D-друку, де витрати знижені до 200 МДж/м³ за рахунок мінімізації ручної праці та автоматизації процесів нанесення матеріалу. Таке зниження енергоспоживання сприяє зменшенню вартості будівництва та підвищенню його конкурентоспроможності [5].

Упровадження самоущільнюваного бетону з переробленими полімерними компонентами дозволяє зменшити ці показники до 450 кг/м³ завдяки зниженню вмісту цементу та застосуванню вторинних матеріалів. Технологія 3D-друку забезпечує ще більше скорочення викидів – до 400 кг/м³, що пов'язано з ефективнішим використанням ресурсів та відсутністю відходів при формуванні конструкцій. Скорочення викидів на 25-33% є важливим фактором для зменшення екологічного навантаження, особливо в умовах глобальних зусиль щодо боротьби зі зміною клімату [3].

Таблиця 5. Викиди CO₂ під час виробництва бетону

Тип бетону	Викиди CO ₂ (кг/м³)	Скорочення порівняно з традиційним (%)
Традиційний бетон	600	0
Самоущільнюваний бетон	450	25
Бетон для 3D-друку	400	33

Одним із ключових аспектів сталого розвитку є скорочення викидів парникових газів, зокрема CO₂, який утворюється під час виробництва цементу. Для традиційного бетону викиди CO₂ становлять близько 600 кг на кубічний метр матеріалу.

Для оцінки екологічного впливу досліджено обсяги викидів CO₂ при виробництві різних типів бетону. Розрахунок зменшення викидів:

$$CO_2 = k \cdot \left(1 - \frac{C_{alt}}{C_{stand}} \right) \quad (5)$$

Тут CO₂ – обсяг скорочення викидів внаслідок використання альтернативних технологій, k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу матеріалів і технологій, C_{alt} – частка цементу в складі бетонної суміші при застосуванні альтернативних технологій, C_{stand} – частка цементу в традиційній суміші. Рівність (5) дозволяє кількісно оцінити екологічний ефект від впровадження ресурсоощадних рішень у будівництві. Чим нижча частка цементу C_{alt} , тим меншим є вплив на довкілля завдяки скороченню енергозатратного процесу його виробництва. Наприклад, якщо частка цементу в інноваційній суміші знижена на 30% порівняно з традиційною, обсяг викидів зменшується на аналогічний відсоток. Цей підхід є важливим для розробки екологічно орієнтованих будівельних технологій, які сприяють досягненню цілей сталого розвитку та зменшенню впливу будівельної галузі на кліматичні зміни.

Таким чином, застосування сучасних ресурсоощадних і енергоефективних технологій має значний потенціал для підвищення екологічної стійкості будівництва. Оптимізація матеріалів і технологічних процесів дозволяє не тільки скоротити витрати енергії та викиди шкідливих речовин, а й покращити експлуатаційні характеристики споруд, що є важливим для забезпечення довговічності та надійності об'єктів цивільного захисту.

Дана публікація присвячена розробці та впровадженню ресурсоощадних та енергоефективних технологій для відновлення і модернізації захисних споруд цивільного захисту. В результаті досліджень було встановлено, що використання самоущільнюваного бетону з переробленими полімерними добавками дозволяє значно

покращити механічні характеристики конструкцій, а технологія 3D-друку сприяє прискоренню будівельних процесів, оптимізації ресурсів та зниженню витрат. Особливу увагу надано екологічній стійкості: зменшенню енерговитрат і обсягів викидів CO₂. Розроблено практичні рекомендації щодо впровадження цих технологій у масштабних проєктах відновлення критичної інфраструктури. Досягнення поставленої мети та вирішення наукових завдань свідчать про актуальність і перспективність отриманих результатів.

Інформація про фінансування проєкту

Робота виконана в рамках науково-технічної роботи «Ресурсоощадні технології прискореного відновлення пошкоджених будівель із влаштуванням захисних споруд цивільного захисту», яка фінансувалася за рахунок коштів державного бюджету України (шифр наукової роботи №109/25; державний реєстраційний номер: 0125U000895).

Використані інформаційні джерела:

1. Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209–225. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
2. Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
3. Faraj, R. H., Hama Ali, H. F., Sherwani, A. F. H., Hassan, B. R., & Karim, H. (2020). Use of recycled plastic in self-compacting concrete: A comprehensive review on fresh and mechanical properties. *Journal of Building Engineering*, 30, 101283. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101283>
4. Liu, P., Yang, L., Gao, Z., Li, S., & Gao, Y. (2015). Fault tree analysis combined with quantitative analysis for high-speed railway accidents. *Safety Science*, 79, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.017>
5. Altuwaim, A., & El-Rayes, K. (2018). Minimizing duration and crew work interruptions of repetitive construction projects. *Automation in Construction*, 88, 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.024>
6. Le, T., Lim, S., Buswell, R. A., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., & Thorpe, T. (2012). Design and performance of an extrusion-based 3D printing system for cementitious materials. *Automation in Construction*, 21, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.005>

7.Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2004). Potential Hazards in the Concrete Construction Industry. Retrieved from <https://www.osha.gov>

8.World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2002). Cement Sustainability Initiative. Our agenda for action. Retrieved from <https://docs.wbcsd.org>

РОЗДІЛ III. КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ Й НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ



ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОСОРТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ЯК ЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕСУРСУ

Голік Ю. С., кандидат технічних наук, доцент, **Кутний Б.А.**, доктор
технічних наук, професор, **Серга Т. М.**, аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

USE OF LOW-GRADE FUELS AS AN ENERGY RESOURCE

Holik Y., Candidate of Technical Sciences, associate professor,
Kutnyi B., Doctor of Technical Sciences, professor,
Serha T.M., postgraduate student

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. Розвиток енергетичного потенціалу рослинництва та побутових відходів для використання в автономних низькоенергетичних системах замість традиційних видів палива є ключовим питанням. Зокрема, це стосується котелень лікарень, шкіл, дитсадків, індивідуальних адміністративних будівель, приватних житлових і сімейних будинків. Спалювання викопного палива має значний негативний вплив на всі компоненти навколишнього середовища. Щоб вирішити проблеми забруднення повітря, парникового ефекту, глобального потепління та зміни клімату, багато країн зосередили свої зусилля на використанні енергії з невідновлюваних джерел енергії. Однак постає питання про застосування джерел енергії, які є найменш шкідливими для навколишнього середовища. Низькосортні види палива для виробництва енергії є потенційним варіантом із позитивними довгостроковими результатами в майбутньому.

Ключові слова: національна безпека, низькосортні види палива, енергетичний ресурс, теплотехнічні показники, відновлювальні джерела енергії.

Abstract. Developing the energy potential of crop production and household waste for use in autonomous low-energy systems instead of traditional fuels is a key issue. In particular, this applies to boiler rooms of hospitals, schools, kindergartens, individual administrative buildings, private residential and family houses. The combustion of fossil fuels has a significant negative impact on all components of the environment. To address the problems of air pollution, greenhouse effect, global warming and climate change, many countries have focused their efforts on using energy from non-renewable energy sources. However, the question arises of using

energy sources that are the least harmful to the environment. Low-grade fuels for energy production are a potential option with positive long-term results in the future. **Keywords:** national security, low-grade fuels, energy resource, thermal performance, renewable energy sources.

Воєнні реалії сьогодення відкрили велику кількість проблем, пов'язаних із забезпеченням національної безпеки нашої держави. Особливо це стосується енергетичної безпеки, яка є основною потребою нашого суспільства разом із продовольчою безпекою та безпекою життя. До повномасштабного вторгнення Україна обрала шлях сталого розвитку, і навіть зараз, коли на перший план вийшли інші завдання – збереження та захист життя громадян, забезпечення потреб людей, влада в Україні дотримується стратегії збалансованого розвитку з урахуванням реалій. Уразливість газових та електромереж, залежність функціонування великих промислових підприємств і підприємств житлово-комунального господарства від наявності та забезпечення природними енергоносіями та паливом – це ті недоліки вітчизняної енергосистеми, які яскраво проявилися під час повномасштабної війни. Це виклики, що потребують раціональних рішень [1].

Незалежність від зовнішніх факторів процесу тепlopостачання та систем енергозабезпечення приватних домогосподарств, підприємств громадського харчування і торгівлі, адміністративних і громадських установ, а також лікувально-профілактичних і навчальних закладів передбачає використання автономних джерел енергії, що надає можливість вибрати найбільш зручний і економічно раціональний спосіб забезпечення теплом і енергією кожного споживача.

Уплив та наслідки військових дій вимагають пошуку альтернативних варіантів тепло- та енергопостачання, нових видів палива, розроблення більш ефективних та автономних, а ще краще – незалежних систем житлово-комунальної сфери [1]. Поряд із цим залишаються задачі окреслені концепцією збалансованого розвитку: зниження викидів парникових газів, зменшення використання викопних невідновлюваних видів палива, зниження маси утворення побутових відходів та площ, зайнятих полігонами та звалищами під їх захоронення, шляхом використання ресурсоцінних компонентів відходів.

Поряд із зазначеними вище проблемами, значущими для України залишаються негативні наслідки зміни клімату: підвищення ризиків для здоров'я людини майже з усіма виявами метеорологічних явищ; значне зниження врожайності основних сільськогосподарських культур; загострюються проблеми з водопостачанням; посилення деградації земель і опустелювання; зниження продуктивності, життєздатності та

стійкості лісу; прискорена деградація екосистем, небезпека та нестабільна робота електромереж і систем центрального опалення.

Проблема відновлення та розвитку зруйнованої й дезактивованої економіки та інфраструктури України виникла в умовах гострого дефіциту енергоресурсів та зневажливого ставлення до охорони навколишнього середовища. У цих умовах пріоритетом поставлених питань є широке впровадження енергозберігаючих матеріалів, обладнання та технологій, прийомів, які дозволять скоротити використання традиційних видів палива.

Серед різних джерел енергії, які сьогодні використовують, органічному паливу відводиться головна роль (більше 94% у масштабах всього світу). За останнє десятиліття у зв'язку з неухильним зростанням цін на якісне паливо помітно зростає інтерес до котельних установок, що забезпечують ефективне спалювання дешевих видів палива. Існує багато різновидів низькосортних енергетичних палив. До низькосортних видів палива відносять високозольне або високовологе вугілля, солоне вугілля, горючі сланці, торф, горючу частину міських відходів, відходи виробництв (деревообробної, целюлознопаперової промисловості), сільськогосподарські відходи (солома, лушпиння, стебла соняшника тощо), шлами й проміжні продукти збагачення кам'яного вугілля, призначені для технологічного споживання. Загальною ознакою низькосортних енергетичних палив є низька теплота згорання, яка переважно не перевищує $Q_{p_n} = 10...20$ МДж/кг [2]. Така низька теплота згорання палив цієї категорії зумовлена, насамперед, високим вмістом у них баласту: золи й води. Якщо у великій енергетиці розроблено досить багато ефективних методів спалювання низькосортних палив у промислових котлах (низькотемпературний та високотемпературний киплячий шар, низькотемпературна вихорова технологія, газогенерація з подальшим спалюванням штучного газу), то під час спалювання таких видів палива в котлах малої потужності виникає низка технічних та екологічних проблем.

На базі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» кафедрою теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики (далі – кафедра ТГВ та Т) створена лабораторія щодо визначення теплотворної здатності альтернативних видів твердого палива з дослідженням якісного складу викидів та мінімізації впливу на довкілля. Відкриття цієї лабораторії занесено до «Стратегії регіонального розвитку Полтавської області на 2021-2027 роки», а саме в завдання 3.3.5 «Оптимізація систем централізованого теплопостачання шляхом реконструкції джерел генерації теплової

енергії з впровадженням новітнього технологічного обладнання та альтернативних видів палива», що передбачає створення лабораторії визначення теплотворної здатності різних видів палива (особливо альтернативних та відновлюваних), технічне завдання 3.24 [3, 4].

Для вирішення в цих складних умовах поставлених завдань була створена робоча група з викладачів кафедр, аспірантів та магістрів [5]. У 2022 році викладачами кафедри ТГВ та Т були запроєктовані нові стенди з сучасним обладнанням, яке дозволяє враховувати не тільки особливості теплотехнічних показників, а й можливість оцінювати екологічні складові процесів спалювання. Викладачі кафедри розробили креслення нових лабораторних стендів, склали специфікацію потрібного обладнання й контрольно-вимірювальних приладів й розіслали спонсорам. Аспірантами кафедри були підготовлені пропозиції до закордонних виробників із проханням розглянути питання щодо надання спонсорської допомоги у вигляді сучасного лабораторного обладнання та приладів для визначення теплотворної здатності палива (калориметрів), аналітичних ваг, газоаналізаторів, приладів вимірювання температури, вологості, зольності та інше.

Таким чином, у 2022-2023 роках на кафедрі було створено сучасні лабораторні стенди: комплексний лабораторний стенд дослідження теплотехнічного обладнання (котел твердопаливний, котел газовий, теплообмінник, насосне обладнання, гідравлічна стрілка), обладнаний приладами для вимірювання необхідних параметрів (модель теплового пункту сучасного котеджу) (рис. 1); лабораторний стенд для спалювання різних альтернативних видів палива з можливістю визначення екологічних показників продуктів спалювання газоаналізатором типу TESTO-350 та визначення теплотворної здатності палива (рис. 2) [5].

В основу дисертаційних робіт аспірантів випускової кафедри прикладної екології та природокористування покладені дослідження теплоенергетичної та екологічної оцінки конкретних видів палива. Заплановано забезпечення зменшення використання традиційних видів палива на 20% завдяки впровадженню альтернативних та відновлюваних видів палива.

Фахівцями кафедри ТГВ та Т й кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» проводяться дослідження щодо вивчення теплотворної здатності палив із побутових відходів, енергетичних культур з можливістю визначення кількісного та якісного складу забруднювальних речовин у димових газах, що утворюються в

теплоенергетичному обладнанні під час їхнього спалювання в умовах мінімального забруднення атмосферного повітря.



Рисунок 1 – Лабораторна установка для дослідження роботи котла на твердому паливі



**Рисунок 2 – Фрагмент лабораторного стенду
«Лабораторії теплотворної здатності відновлюваного палива»**

Для дослідження теплотворної здатності палив важливим етапом є подрібнення дослідних зразків, наприклад, побутових відходів. Для цього використали кавомолку, яка дозволила перетворити зразки на дрібнодисперсну масу (рис. 3а). Цей етап був необхідним для забезпечення однорідності матеріалу та підвищення точності наступних вимірювань калорійності. Подрібнена маса відходів була далі використана для формування паливних таблеток (рис. 3б). Процес пресування дозволив створити стандартизовані зразки (рис. 3в, 3г), які могли бути ефективно використані в калориметричних дослідженнях. Вага кожної таблетки дорівнювала $1 \text{ г} \pm 0,05 \text{ г}$ (рис. 4а, 4б).



Рисунок 3 – Підготовка досліджуваних зразків для вимірювань калорійності



а) таблетка з пластику



б) таблетка з деревної стружки

Рисунок 4 – Зважування досліджуваних зразків

Теплоту згоряння визначають експериментальним методом із застосуванням калориметру. Сутність експериментального методу визначення теплоти згоряння палива полягає в спалюванні проби досліджуваного палива (наприклад, побутових відходів) в середовищі кисню в герметично закритій калориметричній бомбі, зануреній у воду (рис. 5, 6).

Також теплотворну здатність відходів традиційно розраховують за емпіричною формулою (для твердих видів палива):

$$Q_p^H = 4,18 \cdot (81C_p + 3000H_p - 26(O_p - S_p) - 6(9H_p + W_p)),$$

де Q_p^H – нижча теплота згоряння побутових відходів на робочу масу, кДЖ/кг;

C_p – загальний вміст вуглецю, %;

H_p – загальний вміст водню, %;

O_p – загальний вміст кисню, %;

S_p – загальний вміст сірки, %;

W_p – загальна вологість, %.

Особлива увага надавалася такому важливому параметру при спалюванні побутових відходів, як викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, в тому числі хімічні сполуки й тверді частинки.

Вирішення цього аспекту є ключовим для забезпечення ефективності та екологічної безпеки процесу видалення відходів.



Рисунок 5 – Калориметр



Рисунок 6 – Зняття показів температури по термометру Бекмана для калібрування калориметру

Із цією метою використано газоаналізатор TESTO 350-S. Газоаналізатор TESTO 350-S був використаний для вимірювання загального рівня шкідливих газів, викинутих у атмосферу під час спалювання. У результаті дослідження виявлено високі концентрації СО (рис. 6).



Рисунок 6 – Показники газоаналізатора TESTO 350-S при спалюванні гофрокартону

Запровадження в Полтавській області розширеного виробництва відновлюваного палива з відходів та створення системи його енергетичної утилізації, під якою розуміється спалювання такого палива з метою вироблення електричної й теплової енергій, сприятиме вирішенню проблеми невинного «засмічення» території країни, спонукатиме до оснащення високо-ефективними установками з очищення викидів димових газів об'єктів теплоенергетичної галузі.

Використані інформаційні джерела:

1. Голік Ю. С., Ілляш О. Е., Монастирський О. М., Чепурко Ю. В., Серга Т.М. Оцінка енергоресурсного потенціалу територіальних громад Полтавської області як складової енергетичної безпеки. *Proceedings of III International Scientific and Practical Conference Toronto «SCIENTIFIC RESEARCH IN THE MODERN WORLD»*. С. 205–215.

2. Мисак Й. С., Гнатишин Я. М., Івасик Я. Ф. Паливні пристрої для спалювання низькосортних палив : навч.посіб. Л. : Львівська політехніка, 2002. 135 с.

3. Голік Ю.С., Шарий Г.І., Крот О.П., Чепурко Ю.В., Серга Т. М. Дослідження використання альтернативних видів палива на Полтавщині. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук*. 2023. Випуск 66. С. 64–69.

4. Стратегія розвитку Полтавської області до 2027 року. URL: <https://www.adm-pl.gov.ua/page/strategiyarozvitku-poltavskoyi-oblastido-2027-roku>

5. Голік Ю. С., Кутний Б. А., Гузик Д. В., Чернецька І. В., Чепурко Ю. В., Серга Т. М., Манейло Є. М., Михайлюк С. М., Грікіс С. А. Нові лабораторні стенди кафедр теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики й прикладної екології та природокористування. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : Збірник матеріалів IV Міжн. наук.-практ. конф., Полтава, 7-8 грудня 2023 р. НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кндратюка», 2023. С. 218–222.

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСОЦІАЦІЇ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Кутний Б.А., доктор технічних наук, професор

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», Україна*

THERMOPHYSICAL BASIS OF DISSOCIATION OF GAS HYDRATES AS ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY

Kutniy B.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Ukraine*

Анотація. В останні десятиліття в різних країнах світу газові гідрати (ГГ) активно досліджуються не як фактор, який погіршує видобування та транспортування газу та нафти, а як джерело енергії. Багато робіт вчених присвячено дослідженню питань зберігання та транспортування горючих газів у газогідратній формі, у тому числі й дослідженню самоконсервації ГГ. Проте, за окремими винятками широкого впровадження газогідратних технологій не спостерігається. Причиною цього є відсутність теоретичного обґрунтування процесів зберігання ГГ у нерівноважному стані та їх дисоціації. В даній роботі наведено окремі результати узагальнення дослідження теплофізичних процесів, які спостерігаються при дисоціації ГГ. Дана публікація може бути корисна для студентів, аспірантів, викладачів та науковців, котрі бажають долучитися до використання альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: газові гідрати, самоконсервація, тепловий режим, дисоціація газогідрату, кінетика.

Abstract. In recent decades, gas hydrates (GH) have been actively studied in various countries of the world not as a factor that impairs the extraction and transportation of gas and oil, but as a source of energy. Many works of scientists are devoted to the study of issues of storage and transportation of combustible gases in gas hydrate form, including the study of self-preservation of GH. However, with some exceptions, widespread implementation of gas hydrate technologies is not observed. The reason for this is the lack of theoretical justification for the processes of GH storage in a non-equilibrium state and their dissociation. This work presents some results of the generalization of the study of thermophysical processes observed during GH dissociation. This monograph may be useful for students, graduate students, teachers and scientists who wish to participate in the use of alternative energy sources.

Keywords: gas hydrates, self-preservation, thermal regime, gas hydrate dissociation, kinetics.

Останнім часом у різних країнах активно проводяться дослідження властивостей газових гідратів, і цьому є ряд причин. Газові гідрати природного походження, які складаються переважно з гідрату метану, розглядаються як перспективні джерела вуглеводневої сировини. Згідно з існуючими оцінками, поклади природного газу, котрі зосереджено у вигляді газових гідратів, становлять $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$ [1], що перевищує кількість вуглецевого палива в усіх інших його видах на нашій планеті. Зокрема, дані англійських учених свідчать, що загальні запаси газогідратів у морських відкладах знаходяться в межах $500 \div 1000 \text{ Гт}$ та 400 Гт у зоні вічної мерзлоти в Арктиці [2, 3].

Разом із тим газогідрати, що перебувають у термобаричних умовах, близьких до дисоціації, є потенційно екологічно небезпечними. У випадку зміщення умов термодинамічної рівноваги метан може виділитися у вільній формі й зробити вагомий внесок у «парниковий ефект» [4]. Тому знання динамічних, термодинамічних і механічних властивостей газових гідратів є дуже важливими для оцінювання їх поведінки при освоєнні газогідратних покладів.

Транспортування та зберігання природного газу зручно здійснювати, коли він перебуває у формі газового гідрату [5]. Важливою для їх зберігання та транспортування є здатність до самоконсервації при температурах, нижчих за 0 градусів Цельсія. Тобто, якщо над сформованим гідратом скинути тиск, він починає дисоціювати і формувати на своїй поверхні тоненьку плівку льоду, котра зупиняє подальший розклад. Ураховуючи високу газоемність гідрату (до 164 м^3 газу на 1 м^3 гідрату), можна зберігати та перевозити газ в умовах атмосферного тиску, наприклад, використовуючи звичайні рефрижератори. Така технологія активно розробляється в Японії для газифікації віддалених населених пунктів, де відсутні газопроводи. У холодний період така технологія може бути задіяна і в Україні.

Незважаючи на те, що ефект самоконсервації газових гідратів як основу цієї технології було відкрито досить давно, до напівпромислового використання заморожених гідратів дійшла тільки Японія, де цей проєкт реалізується вже більше 10 років.

Метою даної роботи є розкриття теплофізичних основ процесу дисоціації газових гідратів, що в перспективі може призвести до розширення їх застосування у якості альтернативних енергоносіїв.

У дисоціюючому гідраті одночасно відбуваються декілька процесів: процес розкладання з поглинанням теплоти й виділенням газу, процес передачі теплоти у глибинні шари шляхом теплопровідності, фазові переходи на поверхні й відведення теплоти при нагріванні газу,

який рухається всередині щільної структури з глибини гідрату до його поверхні. Для максимально точного відтворення теплофізичних процесів у математичному моделюванні будемо орієнтуватися на експериментальні дані з розподілу температур усередині газового гідрату, що дисоціює.

Нехай існує достатньо великий масив газового гідрату, такий, щоб температурне поле в ньому можна було вважати одномірним. До поверхні гідрату шляхом теплообміну підводиться теплота. Для цього випадку математична модель теплового режиму дисоціації гідрату буде ґрунтуватися на одномірному нелінійному рівнянні теплопровідності Фур'є з питомими об'ємними джерелами (чи стоками) теплоти [6], яке має вигляд:

$$\frac{\partial t_g}{\partial \tau} = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g} \frac{\partial^2 t_g}{\partial x^2} + \frac{q_{V(x)}}{c_g \rho_g}, \quad (1)$$

де t_g – температура, °C; λ_g – теплопровідність гідрату, Вт/(м·°C); c_g – його теплоємність, Дж/(кг·°C); ρ_g – густина гідрату, кг/м³; q_v – питомі об'ємні джерела теплоти, Вт/м³.

У загальному вигляді, враховуючи можливість танення льоду або дисоціацію гідрату одразу на газ і воду, теплообмінні процеси біля поверхні масиву гідрату можна задати за допомогою граничних умов третього роду з урахуванням фазовоперехідних процесів та теплообміну з газом, який виділяється при дисоціації газогідрату:

$$r\rho \frac{dx}{d\tau} - \lambda_g \frac{dt_{g(0)}}{dx} = \alpha_3 (t_3 - t_{g(0)}) - c_\Gamma \rho_\Gamma g_\Gamma (t_3 - t_{\Gamma(0)}), \quad (2)$$

де r – питома теплота дисоціації гідрату чи танення льоду, Дж/кг; ρ – густина гідрату або льоду, кг/м³; α_3 – коефіцієнт теплообміну біля поверхні ГГ, Вт/(м²·°C); t_3 – температура зовнішнього повітря °C; $t_{g(0)}$ – температура на поверхні ГГ, °C; c_Γ – масова теплоємність газу, Дж/(кг·°C); ρ_Γ – густина газу, кг/м³; g_Γ – питомі об'ємні витрати газу, м³/(м²·с); $t_{\Gamma(0)}$ – температура газу на поверхні масиву ГГ, °C.

Залежно від умов теплообміну на поверхні гідрату можна виділити три головних моделі дисоціації ГГ масиву. Наведемо їх у порядку інтенсифікації підведення теплоти до поверхні: модель *самоконсервації*, *танення льодяної кірки* й *інтенсивної дисоціації* гідрату. У моделі самоконсервації підведення теплоти до поверхні ГГ порівняно невелике. Температура поверхні газогідрату на один-два градуси нижча від 0 °C, тому льодяна кірка не тане.

Під час розрахунку зберігання гідрату процес дисоціації можемо вважати достатньо тривалим для встановлення стаціонарного розподілу

температур у масиві гідрату. Тоді рівняння (1) можна записати спрощено:

$$0 = \lambda_g \frac{d^2 t_g}{dx^2} + q_{V(x)}. \quad (3)$$

Оскільки задача стаціонарна, то з рівняння (3) можна визначити потужність об'ємних стоків теплоти як функцію координати, Вт/м³,

$$q_{V(x)} = -\lambda_g \frac{d^2 t_g}{dx^2}, \quad (4)$$

яке для експоненційного розподілу температур у ГГ масиві, дозволяє визначити розподіл об'ємних стоків теплоти у гідраті, Вт/м³,

$$q_{V(x)} = -\lambda_g k^2 (t_{g(0)} - t_\infty) \ell^{-kx}. \quad (5)$$

В умовах повільної дисоціації (зокрема, при *самоконсервації*) геометрична форма гідрату практично не змінюється впродовж тривалого часу. Отже, у рівнянні (2) можемо прийняти, що $\frac{dx}{d\tau} \approx 0$. У

зв'язку з малою кількістю газу, який виділяється в умовах самоконсервації, витрати теплоти на його нагрівання вважатимемо незначними порівняно зі стоками теплоти на дисоціацію гідрату. У такому випадку рівняння (2) можна записати у спрощеному вигляді:

$$-\lambda_g \frac{dt_{g(0)}}{dx} = \alpha_3 (t_3 - t_{g(0)}). \quad (6)$$

Рівняння (6) дозволяє визначати температуру поверхні гідрату. Підстановка

$$\frac{dt_g}{dx} = -k (t_{g(0)} - t_\infty) \ell^{-kx}, \quad (7)$$

при $x=0$ в рівняння (6) дає можливість розрахувати температуру на поверхні гідрату в умовах самоконсервації

$$t_{g(0)} = \frac{\lambda k t_\infty + \alpha_3 t_3}{\lambda k + \alpha_3}. \quad (8)$$

Модель *танення льодяної кірки*. Якщо інтенсивність підведення теплоти збільшується – це призводить до підвищення температури на

поверхні гідрату до 0 °С. Відбувається танення льодяної кірки. Процес протікає повільно, і гідрат, який межує з поверхневою кіркою льоду, встигає практично повністю дисоціювати. Ця модель також характерна для гідрату низької концентрації, у складі якого багато льоду. Витрати газу незначні, і в тепловий баланс поверхні масиву вагомому впливу вони не вносять. Для цього випадку гранична умова має вигляд:

$$r_{\Lambda} \rho_{\Lambda} \frac{dx}{d\tau} - \lambda_g \frac{dt_{g(0)}}{dx} = \alpha_3 (t_3 - t_{g(0)}). \quad (9)$$

Із урахуванням того, що температура на поверхні масиву гідрату $t_{g(0)} = 0$, розподіл об'ємних джерел теплоти у глибині масиву, Вт/м³,

$$q_{V(x)} = \lambda_g k^2 t_{\infty} \ell^{-kx}. \quad (10)$$

Із граничної умови (9) визначаємо швидкість танення льодяної кірки, м/с,

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\alpha_3 t_3 + \lambda k t_{\infty}}{r_{\Lambda} \rho_{\Lambda}}. \quad (11)$$

Режим інтенсивної дисоціації характерний для концентрованого газогідрату в умовах активного поверхневого нагрівання. Збільшення інтенсивності теплового потоку на поверхні ГГ призводить до дисоціації гідрату, який безпосередньо знаходиться на поверхні, а не лише глибинних шарів, як це було при самоконсервації ГГ. Температура поверхні перевищує 0 °С, і льодяна кірка на поверхні масиву ГГ не утворюється.

В умовах активного нагрівання поверхні гідрату виділення газу збільшуються і їх необхідно враховувати в граничних умовах. Граничні умови мають такий вигляд:

$$r_g \rho_g \frac{dx}{d\tau} - \lambda_g \frac{dt_{g(0)}}{dx} = \alpha_3 (t_3 - t_{g(0)}) - c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} g_{\Gamma} (t_3 - t_{\Gamma(0)}), \quad (12)$$

Для оцінки впливу складової $c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} g_{\Gamma}$ необхідно визначити витрати газу під час дисоціації гідрату. Витрати газу складаються з двох частин: внаслідок дисоціації глибинних шарів та утворених на поверхні масиву гідрату. Дисоціація глибинних шарів газогідрату принципово не відрізняється від розглянутих вище умов самоконсервації. Її інтенсивність порівняно мала і витратами газу, які утворюються при повільній дисоціації усередині ГГ можемо нехтувати. Проте, витрати газу, які утворилися внаслідок дисоціації поверхневого шару ГГ можуть бути значно більші і їх необхідно враховувати в граничних умовах. Питомі об'ємні витрати газу на поверхні гідрату, м³/(м²·с)

$$g_{\Gamma} = K_g \frac{dx}{d\tau}, \quad (13)$$

де K_g – об’ємний газовміст гідрату, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Оскільки ГГ має щільну структуру з великою площею теплообмінної поверхні, то температуру газу, який виділяється з поверхні дисоціюючого гідрату можна прийняти рівною температурі поверхні гідрату $t_{\Gamma(0)} = t_{g(0)}$. Тоді, з урахуванням (13) з рівняння (12) можна визначити швидкість дисоціації на поверхні масиву ГГ

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\alpha_3(t_3 - t_{g(0)}) - \lambda_g k(t_{g(0)} - t_{\infty})}{r_g \rho_g + c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} K_g(t_3 - t_{g(0)})}. \quad (14)$$

Порівнюючи між собою величини в знаменнику формули (15) можна побачити, що складова $c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} K_g(t_3 - t_{g(0)})$ як мінімум на два порядки менша за $r_g \rho_g$. Тому, з достатньою для практичних розрахунків точністю формулу (14) можна записати у вигляді:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\alpha_3(t_3 - t_{g(0)}) - \lambda_g k(t_{g(0)} - t_{\infty})}{r_g \rho_g}. \quad (15)$$

Формула (15) дозволяє визначити температуру на поверхні дисоціюючого ГГ лише за умови якщо відома лінійна швидкість дисоціації ГГ. Для її розрахунку скористаємося розподілом об’ємних джерел теплоти у масиві гідрату (5). Оскільки процес дисоціації ГГ починається ще у глибині масиву будемо враховувати експоненціальний характер розподілу джерел теплоти і проінтегруємо їх по координатній вісі x . При перевищенні температури ГГ у цьому блоці буде розкладатися поглинаючи теплову енергію потужністю, $\text{Вт}/\text{м}^2$

$$Q_V = \lambda_g k^2(t_{g(0)} - t_{\infty}) \int_0^{\infty} \ell^{-kx} dx. \quad (16)$$

Розділивши теплову потужність, яка підводиться для компенсації джерел холоду на загальну необхідну кількість теплової енергії для танення цього блоку ($r_g \rho_g$), отримаємо лінійну швидкість дисоціації блока ГГ, $\text{м}/\text{сек}$:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\lambda_g k^2(t_{g(0)} - t_{\infty})}{r_g \cdot \rho_g} \int_0^{\infty} \ell^{-kx} dx = \frac{\lambda_g k(t_{g(0)} - t_{\infty})}{r_g \cdot \rho_g}. \quad (17)$$

Підставляючи (15) у (17), одержимо

$$\frac{\lambda_g k (t_{g(0)} - t_\infty)}{r_g \rho_g} = \frac{\alpha_3 (t_3 - t_{g(0)}) - \lambda_g k (t_{g(0)} - t_\infty)}{r_g \rho_g}. \quad (18)$$

Звідки можна визначити температуру на поверхні масиву гідрату в умовах інтенсивного нагрівання його поверхні

$$t_{g(0)} = \frac{2\lambda_g k t_\infty + \alpha_3 t_3}{2\lambda_g k + \alpha_3}. \quad (19)$$

Порівнюючи з формулою (8) (для повільної дисоціації) бачимо, що у випадку інтенсивного підведення теплоти тепловий потік у гідраті розподіляється порівну на дві частини: на дисоціацію і передачу у глиб ГГ шляхом теплопровідності.

Отримані залежності дозволяють проаналізувати результати натурних експериментів. Під час проведення дослідів температура зовнішнього повітря становила $t_3 = +11$ °С. Для теплового потоку зверху вниз у нерухомому повітрі коефіцієнт теплообміну біля поверхні $\alpha_3 = 4$ Вт/(м²·°С). Теплопровідність гідрату пропану $\lambda_g = 0,5$ (Вт/(м·°С)), коефіцієнт $k = 50$ м⁻¹, виміряні температури поверхні гідрату $t_0 = 0,7$ °С та температура глибинних шарів гідрату $t_\infty = -0,9$ °С. Підставляючи експериментальні дані у формулу (8), можна отримати значення температури на поверхні гідрату, що дисоціює, °С:

$$t_0 = \frac{0,5 \cdot 50 \cdot (-0,9) + 4 \cdot (+11)}{0,5 \cdot 50 + 4} = 0,74.$$

Розрахована температура майже збігається з виміряною під час проведення дослідів. Оскільки температура на поверхні гідрату вища від 0 °С, то гідрат дисоціює на газ і воду, а ефект самоконсервації не спостерігається.

Після підстановки вихідних даних у рівняння (5), отримаємо значення об'ємних стоків теплоти, Вт/м³:

$$q_{V(x)} = -2000 \ell^{-50x}. \quad (20)$$

Це рівняння показує, що на поверхні дисоціюючого гідрату пропану діють стоки теплоти потужністю 2000 Вт/м³. У глибинних шарах їх потужність швидко падає і на глибині 50 мм становить лише 164 Вт/м³.

Таким чином, нами одержано залежності для визначення температури на поверхні та в глибині газогідратного масиву, розподілу джерел теплоти та швидкості дисоціації в різних умовах нагрівання поверхні цього масиву.

Зважаючи на важливість ефекту самоконсервації для

газогідратних технологій, необхідно детальніше охарактеризувати теплофізичні особливості цього процесу.

У формулах (5, 7, 8) коефіцієнт k відображає інтенсивність зміни внутрішніх стоків теплоти у гідраті. З формули (8) можна визначити, при яких k буде спостерігатися ефект самоконсервації, m^{-1} :

$$k = \frac{\alpha_3(t_3 - t_0)}{\lambda(t_0 - t_\infty)}. \quad (21)$$

Підставивши значення для гідрату пропану за умови $t_0=0$ °С, температура у приміщенні +18 °С, на відкритій поверхні у приміщенні коефіцієнт теплообміну біля вертикальної поверхні $\alpha_3=8,7$ Вт/(м²·°С), отримаємо, m^{-1} ,

$$k = \frac{8,7(18-0)}{0,5(0-(-2,5))} = 125.$$

Таким чином, теоретично ефект самоконсервації для гідрату пропану можна було б очікувати при значеннях $k > 125$. Проте експериментально встановлене значення k не перевищує 50. Це пояснює чому в звичайних умовах для газогідрату пропану ефект самоконсервації не спостерігається.

За формулою (21) можна розрахувати значення k для гідрату метану. Згідно з даними, викладеними в роботі [7], температура на поверхні льодяної кірки -2 °С, а рівноважна температура всередині масиву метанового гідрату при атмосферному тиску становить -33 °С. Підставимо значення для гідрату метану, m^{-1} :

$$k = \frac{8,7(18-(-2))}{0,5((-2)-(-33))} = 11,2$$

Таким чином, для гідрату метану самоконсервація буде спостерігатися вже при значеннях $k > 11,2$. При цьому інтенсивність внутрішніх стоків теплоти біля поверхні ГГ, Вт/м³,

$$q_{V(0)} = -0,5 \cdot 11,2^2 (-2 - (-33)) = -1944.$$

Аналогічним чином можна визначити коефіцієнт k і потужність об'ємних стоків теплоти для інших гідратоутворюючих газів. Результати розрахунку для різних газів зведено в таблицю 1.

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити, що за результатами експериментів у пропанового гідрату інтенсивність стоків теплоти значно нижча (приблизно у 10 разів), ніж потрібно для отримання ефекту самоконсервації. Тому самоконсервація гідрату пропану «при кімнатних температурах» не спостерігається.

Із формули (21) можна одержати залежність для визначення температури зовнішнього повітря нижче якої може існувати ефект самоконсервації, °С:

$$t_3 = t_{g(0)} + \frac{k \cdot \lambda (t_{g(0)} - t_{\infty})}{\alpha_3}. \quad (22)$$

Так, для пропанового ГГ самоконсервацію можна очікувати при зниженні навколишньої температури нижче

$$t_3 = 0 + \frac{50 \cdot 0,5(0 - (-2,5))}{8,7} = 7,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таким чином, формула (22) має велике практичне значення, оскільки дозволяє розрахувати умови, за котрих можна досягти тривалого зберігання гідратів у нерівноважному стані.

Таблиця 1 – Характеристики гідратів в умовах самоконсервації

Газ – гідратоутворювач	t_0 , °C	t_{∞} , °C	k , м ⁻¹	$q_{V(0)}$, Вт/м ³
Азот	-1	-49	6,9	-1142
Метан	-2	-33	11,2	-1944
Діоксид вуглецю	-2	-22	17,4	-3027
Етан	-1	-13	27,6	-4570
Пропан (<i>теоретично для самоконсервації</i>)	0	-2,5	125	-19531
Пропан (<i>за експериментальними даними</i>)	0,7	-0,9	50	-2000

В умовах самоконсервації об'єм масиву гідрату змінюється мало, проте за рахунок поступової дисоціації його газовміст зменшується. Це призводить до зміни теплофізичних властивостей гідрату, зокрема відбувається зменшення інтенсивності об'ємних потоків теплоти. Унаслідок цього буде змінюватися температурний режим газогідратного масиву.

Для визначення змін у характеристиках гідрату залежно від його концентрації позначимо масову концентрацію гідрату як частку чистого гідрату в суміші гідрату та льоду:

$$C_g = \frac{m_g}{m}, \quad (23)$$

де m_g – маса чистого гідрату, м³; m – загальна маса газогідратного масиву, м³. Очевидно, що за інших рівних умов, потужність питомих

об'ємних джерел теплоти буде пропорційна масі гідрату, який дисоціює:

$$\frac{q_V}{q_{Vg}} = \frac{m_g}{m}. \quad (24)$$

Підставляючи відомі значення об'ємних теплових потоків, одержимо вираз для визначення об'ємних стоків теплоти в умовах поступової дисоціації гідрату:

$$\frac{q_V}{q_{Vg}} = \frac{\lambda k^2}{\lambda k_g^2}, \quad (25)$$

де k_g – коефіцієнт для концентрованого газогідрату, м^{-1} .

Як свідчать натурні експерименти, коефіцієнт k зменшується зі зниженням газовмісту ГГ. Для природного масиву концентрованого гідрату зміна теплопровідності глибинних шарів гідрату не характерна, оскільки при розкладанні гідрату перекристалізація з утворенням льоду відбувається лише на його поверхні. Щодо глибинних шарів, то гідрат розкладається зі збереженням структури каркаса. Унаслідок цього теплопровідність гідрату в широких межах його концентрації можна вважати постійною. Таке зауваження не стосується синтетичного газогідрату, який у своєму початковому складі вже може містити лід.

Якщо теплопровідність газогідрату не змінюється, то для гідрату довільної концентрації:

$$k = k_g \sqrt{C_g}. \quad (26)$$

Із урахуванням формули (26) рівняння питомих об'ємних стоків теплоти (10) набуває вигляду:

$$q_V = -C_g \lambda k_g^2 (t_0 - t_\infty) e^{-k_g x \sqrt{C_g}}. \quad (27)$$

Отримана залежність (27) дозволяє визначити розподіл стоків теплоти в глибині газогідрату в умовах повільної дисоціації. Для розрахунку питомих об'ємних стоків теплоти при різних значеннях концентрації ГГ скористаємося експериментальними даними (дослід № 2) $C_g = 1,0$; $\alpha_3 = 4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $k = 50 \text{ м}^{-1}$; $t_3 = +11 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_0 = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_\infty = -0,9 \text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Результати розрахунку об'ємних стоків теплоти у гідраті пропану, розраховані за формулою (27), зображено на рис. 1. Аналіз отриманих результатів указує на існування зони з інтенсивними тепловими процесами, глибиною близько 6 см. У глибших шарах газогідрату інтенсивність стоків теплоти приблизно однакова.

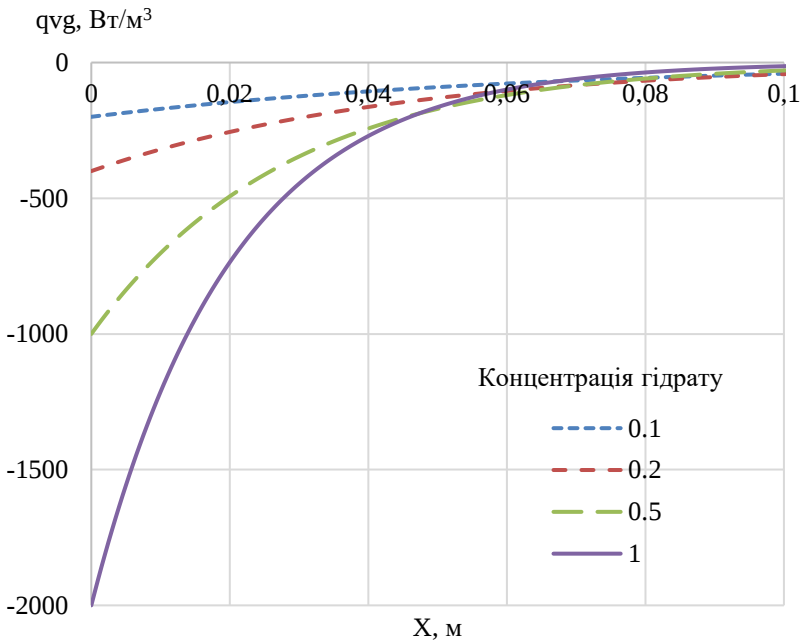
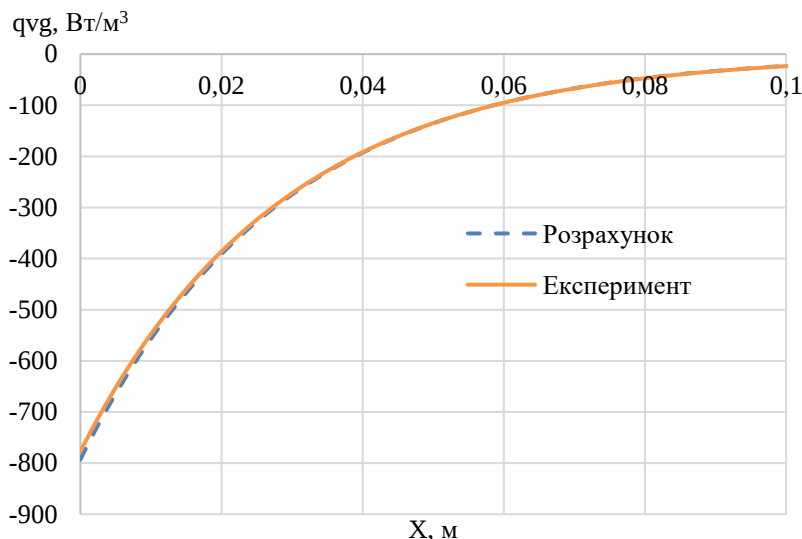


Рисунок 1 – Розподіл стоків теплоти по глибині гідрату пропану для різних концентрацій $C_g=0,1\div 1,0$

Для оцінювання працездатності отриманих залежностей порівнюємо між собою два проведені досліди з різною початковою концентрацією гідрату. Оскільки в натурних експериментах газовміст гідрату пропану залежав від умов його утворення, а не від тривалості розкладу, то можемо вважати коефіцієнти C_g та λ не залежними від координати x .

Значення вихідних величин для досліді №1: $C_g = 0,5$; $\alpha_3 = 4$ Вт/(м·°C); з урахуванням концентрації газогідрату коефіцієнт $k = 50 \cdot 0,5^{1/2} = 35,36$ м⁻¹; $t_3 = +11$ °C; $t_0 = 0$ °C; $t_\infty = -0,47$ °C; коефіцієнт теплопровідності суміші гідрату та льоду $\lambda = (0,5 + 2,2)/2 = 1,35$ Вт/(м·°C). Результати розрахунку стоків теплоти за формулою (27) наведено на рис. 2. Отримані результати показують гарне узгодження теоретичних розрахунків з експериментальними даними (похибка не перевищує 2,5 %).



**Рисунок 2 – Розподіл стоків теплоти. Порівняння з дослідом №1.
Концентрація гідрату $C_g = 0,5$**

Таким чином, результати виконаних досліджень показують, що головною причиною ефекту самоконсервації гідрату є зниження температури його глибинних шарів унаслідок часткової дисоціації. Утворення льодяної кірки на поверхні дисоціюючого ГГ є наслідком, а не причиною ефекту самоконсервації. Тому, при математичному моделюванні теплових процесів, які відбуваються при дисоціації масиву гідрату, необхідно враховувати, що стоки теплоти є функцією температури та тиску в цій точці масиву гідрату.

Визначено умови, за яких можна досягти самоконсервації гідратів різних газів. Установлено причину відсутності ефекту самоконсервації гідрату пропану при «кімнатних» температурах. Виконані розрахунки показують можливість отримання ефекту самоконсервації гідрату пропану при достатньому зниженні температури навколишнього середовища.

Установлено, що причиною впливу розміру масиву гідрату на ефект самоконсервації є розподіл температур усередині масиву гідрату. У великому масиві досягається нижча температура у глибинних шарах гідрату, яка сприяє його кращому зберіганню. Визначено вплив концентрації ГГ на розподіл температур та стоків теплоти по «глибині» газогідратного масиву, що дисоціює. Отриману залежність підтверджено результатами натурних експериментів.

Використані інформаційні джерела:

1. Milkov A.V. Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there?/ *Earth-Science Reviews*. 2004. Vol. 66, Iss. 3-4. P. 183–197.
2. Diaconescu C. C. Geophysical evidence for gas hydrates in the deep water of the South Caspian Basin / C.C. Diaconescu, R.M. Kieckhefer, J.H. Knapp. *Marine and Petroleum Geology*. 2001. P. 209–221.
3. Gas hydrates: past and future geohazard? / M. Maslin, M.Owen, R.Betts [et. al.]. *Natural resources*. 2010. №8. P. 5–9.
4. Mar K. A. Beyond CO₂ equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health / K. A. Mar, Ch. Unger, L. Walderdorff, T. Butler. *Environmental Science & Policy*, Vol. 134. 2022. P. 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.027>
5. Тарко Ю. Б., Педченко Л. О., Педенко Л. О. Перспективи газогидратної технології на ринку морських перевезень природного газу. *Техніка і технології. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2012. № 2(43). С. 49–55.
6. Кутний Б. А. Нестационарний тепловий режим щільних матеріалів з урахуванням повітропроникнення. *Збірник наукових праць. Серія Галузеве машинобудування, будівництво* / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Полтава : ПолтНТУ, 2009. Вип. 24. С. 201–207.
7. Sato H. Self-preservation of methane hydrate revealed immediately below the eutectic temperature of the mother electrolyte solution / H. Sato, H. Sakamoto, S. Ogino, H. Mimachi, T. Kinoshita, T. Iwasaki, K. Sano, K. Ohgaki. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 91. P. 86–89.

РОЗДІЛ IV. БІОРІЗНОМАНІТТЯ, ЗАПОВІДНА СПРАВА, ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА



МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК СКЛАДОВА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ ЛИСТОВОЇ ПОВЕРХНІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯШНИКА

Бердін І. В., магістр екології,
Скляр В. Г., доктор біологічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

¹**Berdin I. V.**, Master of Ecology,
²**Skliar V. H.**, doctor of biological sciences, professor

Sumy National Agrarian University, Master of Ecology, Ukraine

Анотація. Листок – орган фотосинтезу, процесу перетворення вуглекислого газу на органічну речовину необхідну для побудови як рослинного організму в цілому так і репродуктивних органів зокрема. Тому чи не найважливішою передумовою отримання високого врожаю будь якої сільськогосподарської культури є оптимальне забезпечення посіву листовою поверхнею. Мета даної публікації – визначити взаємозв'язок між ознаками індивідуальної продуктивності рослин соняшника та параметрами листової поверхні. Дослідження проводилось з травня по серпень 2024 року, на сільськогосподарських полях, розташованих в н.п. Добрянське, Охтирського району Сумської області, що є частиною північно-східного Лісостепу України. Результати проведеного кореляційного аналізу свідчать про тісну позитивну кореляцію, достовірну при рівні ймовірності 95%, залежність фітомаси рослин та їх окремих структур від сформованої на момент досягання насіння листової поверхні. Листки верхнього та середнього ярусу, хоча і функціонують як елементи єдиного механізму утворення фітомаси, мають різний внесок у формування генеративних структур. Фізіологічно молоді, невеликі за площею, листки верхнього ярусу, розташовані безпосередньо біля кошика, мають більш вагомий внесок в утвірні кошика та насіння аніж листки нижчих ярусів. Більша листовая поверхня забезпечує інтенсивне накопичення рослиною продуктів фотосинтезу необхідних для побудови організму, а чим більша загальна фітомаса тим її відношення з масою генеративних структур стає меншим.

Ключові слова: морфометричний аналіз, асиміляційний апарат, кореляційний аналіз, математичні моделі, врожайність сільськогосподарських культур, *Helianthus annuus* L.

Abstract. The leaf is the organ of photosynthesis, the process of converting carbon dioxide into organic matter, which is necessary for the construction of both the plant

organism in general and the reproductive organs in particular. Therefore, one of the most important prerequisites for obtaining a high yield of any crop is the optimal provision of sowing with leaf surface. The purpose of this publication is to determine the relationship between the traits of individual productivity of sunflower plants and the parameters of the leaf surface. The study was conducted from May to August 2024, on agricultural fields located in the village of Dobrianske, Okhtyrka district, Sumy region, which is part of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine. The results of the correlation analysis indicate a close positive correlation, reliable at the 95% probability level, between the dependence of plant phytomass and their individual structures on the leaf surface formed at the time of seed ripening. Leaves of the upper and middle tier, although functioning as elements of a single mechanism of phytomass formation, have different contributions to the formation of generative structures. Physiologically young, small in area, leaves of the upper tier, located directly near the boll, make a more significant contribution to the morning boll and seeds than the leaves of the lower tiers. A larger leaf surface provides for intensive accumulation of photosynthetic products necessary for the construction of the organism, and the larger the total phytomass, the smaller its relation to the mass of generative structures becomes.

Keywords: morphometric analysis, assimilation apparatus, correlation analysis, mathematical models, crop yield, *Helianthus annuus* L.

Листок – орган фотосинтезу, процесу перетворення вуглекислого газу на органічну речовину необхідну для побудови як рослинного організму в цілому так і репродуктивних органів зокрема [7]. Чи не найважливішою передумовою отримання високого врожаю будь якої сільськогосподарської культури є оптимальне забезпечення посіву листовою поверхнею [9].

Соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) належить до культур, які формують велику листову поверхню [8], що при сприятливому режиму освітлення та тривалості світлового дня, фону живлення, оптимальній щільності посіву, посилює його фотосинтетичну активність [1, 4-6, 10-12]. Не менш важливу роль ніж загальна площа листової поверхні відіграє характер розміщення листків відносно одне одного, кількість та площа листків у межах певного ярусу [2].

Мета даної публікації – визначити взаємозв'язок між ознаками індивідуальної продуктивності рослин соняшника та параметрами листової поверхні.

Дослідження проводилось із травня по серпень 2024 року на сільськогосподарських полях, розташованих у населеному пункті Добрянське Охтирського району Сумської області, що є частиною північно-східного Лісостепу України.

Матеріал для дослідження – ранньостиглий гібрид NS 8004

(Оригіатор – Інститут польовництва, місто Нові Сад, Республіка Сербія). Технологія вирощування – класична.

На дослідних ділянках випадковим чином було відібрано 12 екземплярів соняшника. Даний обсяг вибірки найкраще репрезентує всі властивості генеральної сукупності. У рослин вимірювали 12 морфопараметрів, п'ять із яких – параметри листкової поверхні, ще п'ять – ті, що характеризують генеративну сферу. Параметри листкової поверхні – кількість листків, шт. (Nl), площа листків верхнього ярусу, см² (s1), площа листків середнього ярусу, см² (s2), середня площа одного листка, см² (s), загальна площа листкової поверхні, см² (S), генеративна сфера: фітомаса кошика, г (Wf), фітомаса насіння, г (Wgen), репродуктивне зусилля, % (RE1, RE2, RE3), вегетативна – загальна фітомаса, г (W), фітомаса вегетативних органів, г (Wveg). Площа листкової поверхні та репродуктивного зусилля визначалась у фазу дозрівання за загальноприйнятою методикою за формулами, наведеними в таблиці 1.

Таблиця 1 – Формули для розрахунку площі листкової поверхні та репродуктивного зусилля

Морфопараметр	Формула для розрахунку	Коментар
Площа листкової поверхні	$S = 0,74 * (l * n)$	0,74 – поправлений коефіцієнт; l – довжина листка, см; n – ширина листка, см ²
Репродуктивне зусилля	RE1 = Wgen/W	Wgen – фітомаса насіння, г; W – загальна фітомаса, г; Wf – фітомаса кошика, г; S – загальна площа листкової поверхні, см ²
	RE2 = Wgen/S	
	RE3 = Wf/W	

Статистичне оброблення даних проводилось шляхом кореляційного та регресійного аналізів у середовищі програми STATISTICA 10.

Вирощуваний гібрид відрізняється великою листковою поверхнею, кількість листків у рослин га момент досягання насіння коливалась у межах від 10 до 22 шт. Переважно це були верхні листки середнього ярусу та верхні листки. Нижній ярус представляв собою сухі відмерлі залишки листків. Нижні листки ще на етапі росту стебла отримали ураження грибковими хворобами (рис. 1). Також листки цього ярусу продемонстрували досить низьку тінювитривалість, що з урахуванням щільного розташування рослин у рядах та характеру

розподілу листків на стеблі, прискорило їх відмирання.

Результати проведеного кореляційного аналізу свідчать про тісну позитивну кореляційну залежність (достовірну при рівні ймовірності 95%), фітомаси рослин та їх окремих структур від сформованої на момент досягання насіння листової поверхні (рис. 2). Загальна площа листової поверхні соняшника (S) досить суттєво та достовірно залежала від кількості зелених листків (NI) ($r=0,5254$), тоді як з іншими ознаками залежність була або дуже слабкою, негативною або не достовірною.



**Рисунок 1 – Ураження фомозом листків нижнього ярусу
(Фото І. Бердіна)**

Більш цікавими виявились залежності ознак генеративної сфери від листків середнього та верхнього ярусів. Насамперед, площа листків верхнього ярусу ($s1$) сильніше корелювала з фітомасою кошика (Wf) – $r = 0,8062$ та насіння ($Wgen$) – $r = 0,8222$, порівняно з листками середнього ярусу ($s2$) – $r = 0,6888$ та $0,6390$ відповідно. Щодо кореляцій між фітомасою вегетативних органів ($Wveg$) та загальною фітомасою (W), більш тісним виявився зв'язок із листками верхнього ярусу ($r = 0,8491$ та $r = 0,8757$, відповідно). З репродуктивним зусиллям рослин площа листків мала невисоку кореляцію.

Кореляції (Залежність продуктивності від площі листків) Відмічені кореляції суттєві на рівні $p < 0,05000$ N=120 (Постркове видалення)												
Змінна	NI	s1	s2	s	S	Wf	Wveg	W	RE1	RE2	RE3	Wgen
NI	1.000000	0.249785	-0.299848	0.019113	0.525469	0.141344	0.286771	0.240907	-0.247900	-0.044904	-0.286456	0.201144
s1	0.249785	1.000000	0.648273	0.893885	0.903154	0.806293	0.849186	0.875758	0.179456	0.334519	-0.486156	0.822296
s2	-0.299848	0.648273	1.000000	0.853901	0.529383	0.688560	0.579483	0.655554	0.330078	0.313905	-0.198433	0.639065
s	0.019113	0.893885	0.853901	1.000000	0.841046	0.859147	0.847312	0.896705	0.204695	0.275703	-0.429678	0.864003
S	0.525469	0.903154	0.529383	0.841046	1.000000	0.798394	0.890887	0.898874	0.052724	0.208276	-0.529462	0.830696
Wf	0.141344	0.806293	0.688560	0.859147	0.798394	1.000000	0.797190	0.923932	0.079741	0.175397	-0.167230	0.950993
Wveg	0.286771	0.849186	0.579483	0.847312	0.890887	0.797190	1.000000	0.967510	0.059125	0.165549	-0.693522	0.827998
W	0.240907	0.875758	0.655554	0.896705	0.898874	0.923932	0.967510	1.000000	0.070859	0.178355	-0.509490	0.922931
RE1	-0.247900	0.179456	0.330078	0.204695	0.052724	0.079741	0.059125	0.070859	1.000000	0.483262	-0.013975	0.042933
RE2	-0.044904	0.334519	0.313905	0.275703	0.208276	0.175397	0.165549	0.178355	0.483262	1.000000	-0.108303	0.147874
RE3	-0.286456	-0.486156	-0.198433	-0.429678	-0.529462	-0.167230	-0.693522	-0.509490	-0.013975	-0.108303	1.000000	-0.289028
Wgen	0.201144	0.822296	0.639065	0.864003	0.830696	0.950993	0.827998	0.922931	0.042933	0.147874	-0.289028	1.000000

**Рисунок 2 – Кореляційна матриця для результатів
морфометричного аналізу**

Середня площа одного листка (s) дуже тісно та достовірно корелює з фітомасою кошика (Wf) – $r = 0,8591$, масою вегетативних органів (Wveg) – $r = 0,8473$ та загальною фітомасою (W) – $r = 0,8967$. Результати множинного регресійного аналізу, показали, що цей показник відіграє провідну роль у формуванні генеративних структур. Із іншими параметрами генеративної та вегетативної сфер кореляція слабка або негативна. Загальна площа листової поверхні рослин також дуже тісно корелює з вищезгаданими ознаками. Виявлено доволі сильну негативну кореляцію загальної площі листової поверхні (S) та частки суцвіття від загальної фітомаси (RE3) – $r = -0,5294$.

Залежність фітомаси кошика від середньої площі одного листка апроксимується логарифмічною кривою, графік якої зображений на рисунку 3, та математичної вираховується за рівнянням:

$$Wf = -418,4111 + 308,9343 \times \log_{10}(s)$$

Залежності між параметрами листової поверхні та фітомасою вегетативних органів, загальною фітомасою та фітомасою насіння графічно подані у вигляді трьохвимірних графіків (рис. 4-6).

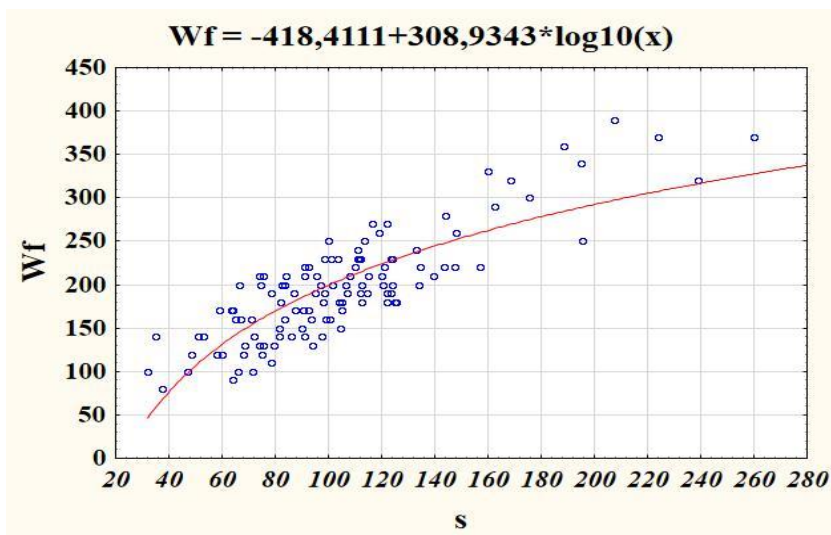


Рисунок 3 – Модель формування маси суцвіття залежно від середньої площі одного листка

Отже, результати дослідження дають чітке уявлення про певні закономірності формування параметрів визначаючих структуру та величину майбутнього врожаю. Листки верхнього та середнього ярусу, хоча і функціонують як елементи єдиного механізму утворення фітомаси, мають різний внесок у формування генеративних структур. Фізіологічно молоді невеликі за площею листки верхнього ярусу, розташовані безпосередньо біля кошика, мають більш вагомий внесок в утворення кошика та насіння, аніж листки нижчих ярусів. Цим також можна пояснити і сильну кореляцію площі верхніх листків та загальної фітомаси, оскільки суцвіття соняшника доволі велике і займає значну частку від маси надземної частини рослин. Разом із тим, більша листкова поверхня забезпечує інтенсивне накопичення рослиною продуктів фотосинтезу необхідних для побудови організму, а чим більша загальна фітомаса, тим її відношення з масою генеративних структур стає меншим, і, відповідно, відбувається зниження показників репродуктивного зусилля.

$$W_{veg} = 150,7688 - 14,4015 * x + 1395,6311 * y - 0,3469 * x * x + 96,0311 * x * y - 2478,552 * y * y$$

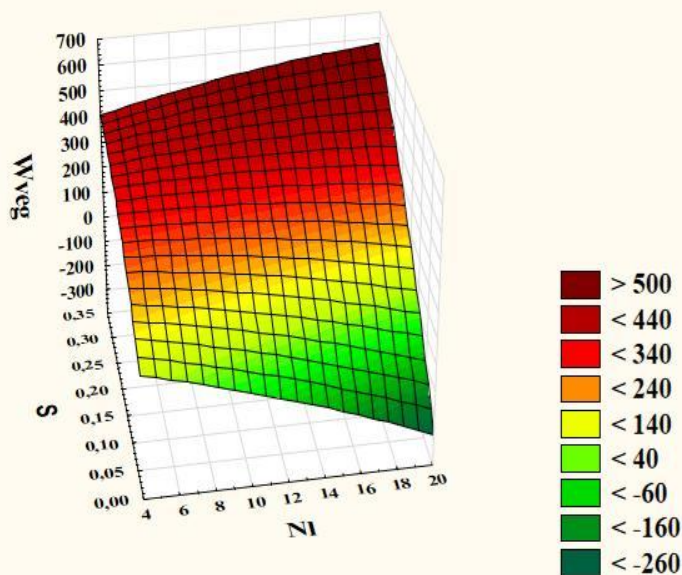


Рисунок 4 – Модель формування маси вегетативних органів (Z) залежно від кількості зелених листків (X) та загальної площі листової поверхні (Y)

$$W = 268,9101 - 23,021 * x + 3169,7923 * y - 0,0928 * x * x + 45,684 * x * y - 2507,1749 * y * y$$

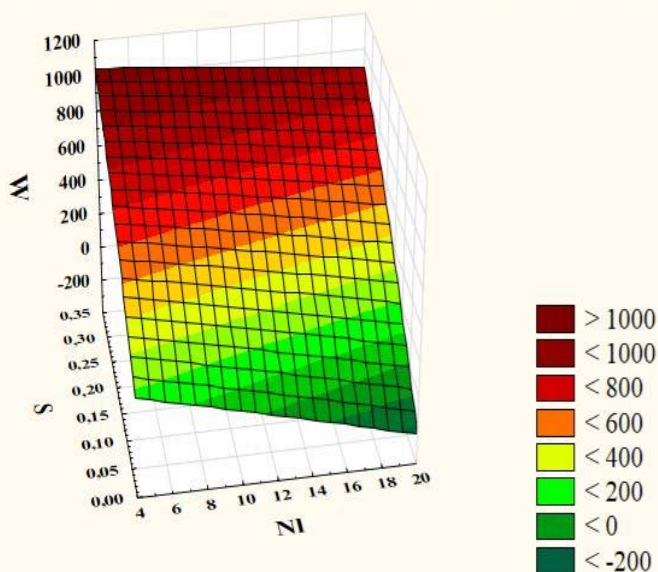


Рисунок 5 – Модель формування загальної фітомаси рослин (Z) залежно від кількості зелених листків (X) та загальної площі листової поверхні (Y)

$$W_{gen} = 17,9106 + 0,2986 * x + 204,4291 * y - 0,0003 * x * x + 0,4909 * x * y - 399,527 * y * y$$

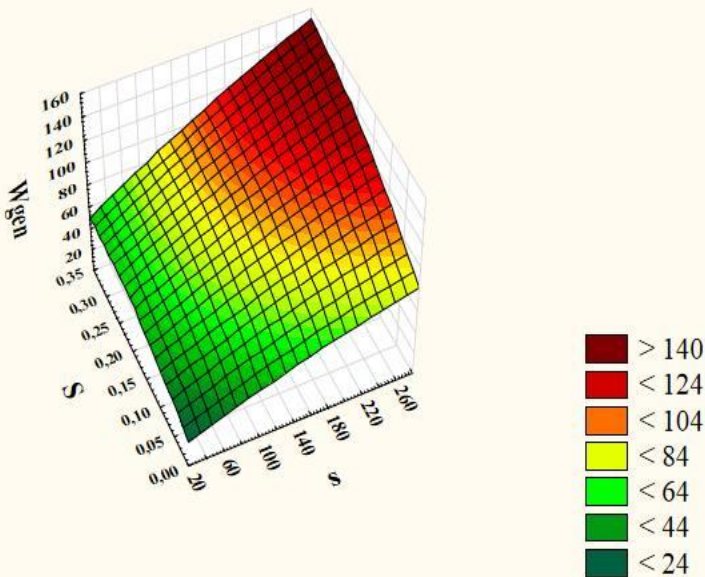


Рисунок 6 – Модель формування маси насіння у кошику (Z) залежно від середньої площі одного листка (X) та загальної площі листової поверхні (Y)

Загалом з'ясування провідних морфоструктурних ознак соняшника, які і інших сільськогосподарських культур, а також розкриття взаємозв'язку між морфоознаками та врожайністю, є важливою складовою агроекологічних досліджень, зокрема, спрямованих на досягнення в агроекосистемах оптимального співвідношення між такими характеристиками як склад, структура та продуктивність, та у підсумку, – на забезпечення екологізації агросфери.

Використані інформаційні джерела:

1.Борисенко, В. В. (2021). Вплив умов вирощування на формування листової поверхні і фотосинтетичний потенціал посіву гібридів соняшника. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*, (117), 16–21.

2. Домарацький, Є. О., Козлова, О. П., Базалій, В. В. (2019). Агробіологічне обґрунтування застосування біопрепаратів в технології вирощування соняшника : Монографія. Херсон : Олді Плюс. 186 с.
3. Зінченко, О.І., Салатенко, В.Н., Білоножко, М.А. (2001). Рослинництво : Підручник ; за ред. О. І. Зінченка. Київ : *Аграрна освіта*. 591 с.
4. Калінов, О. О., Рожков, А. О. (2024). Варіабельність площі листової поверхні рослин соняшнику за впливу передпосівної обробки насіння і позакоренових підживлень. *Scientific & Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, (37).
5. Любицька, Д. М., & М'ялковський, Р. О. (2024). Фотосинтетична активність ранньостиглих гібридів соняшнику в умовах Лісостепу Західного. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, (32), 37–48.
6. Поляков, О. І., Нікітенко, О. В., Алієва, О. Ю., Щербак, А. Д., & Усова, Н. М. (2024). Зміна показників площі листової поверхні, чистої продуктивності фотосинтезу та врожайності соняшнику залежно від додаткового живлення. *Scientific & Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, (36).
7. Скляр, В. Г., Злобін, Ю. А. (2015). Екологічна фізіологія рослин : підручник; за заг. ред. Ю.А. Злобіна. Суми: Університетська книга.
8. Троценко, В.І. (2001). Соняшник : селекція, насінництво, технологія вирощування : Монографія. Суми : *Видавництво "Університетська книга"*. 184 с.
9. Харченко О.В. (2003). Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур : Навчальний посібник ; За ред. Академіка УААН В.О. Ушкаренка. Суми : Університетська книга. 296 с.
10. Цилюрик, О. І., Остапчук, Я. В. (2023). Вміст хлорофілу та фотосинтетична активність соняшнику під впливом регуляторів росту рослин в посівах соняшнику. *Таврійський науковий вісник* Вип. 134. 185–195. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.24>
11. Melnyk, A., Akuaku, J., Trotsenko, V., Melnyk, T., & Makarchuk, A. (2019). Productivity and quality of high-oleic sunflower seeds as influenced by foliar fertilizers and plant growth regulators in the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Agrolife scientific journal*, 8 (1).
12. Vozhehova, R. A., Zhygailo, T. S., & Zhygailo, O. L. (2024). The influence of climate change on the sunflower crop in the Southern Steppe of Ukraine: modeling and analysis. *Publishing House «Baltija Publishing»*.

**ВІД КАТАСТРОФИ ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ: МОНІТОРИНГ НАСЛІДКІВ
ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ У ЧОРНОБИЛЬСЬКОМУ РАДІАЦІЙНО-
ЕКОЛОГІЧНОМУ БІОСФЕРНОМУ ЗАПОВІДНИКУ**

Запотоцький С.П., доктор географічних наук, професор,
Масляк П.О., доктор географічних наук, професор,
Уліганець С.І., кандидат географічних наук, доцент,
Шинкаренко У.Ю., аспірантка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

**FROM DISASTER TO PRESERVATION: MONITORING THE
CONSEQUENCES OF MILITARY OPERATIONS IN THE CHORNOBYL
RADIATION AND ECOLOGICAL BIOSPHERE RESERVE**

Zapototskyi S., Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Masliak P., Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Uliganets S., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Shynkarenko U., Postgraduate student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Анотація. Забезпечення принципів сталого розвитку, на які орієнтуються як уряди країн, так і міжнародні організації, неможливе без збереження природних ресурсів. У сучасних умовах екологічної глобалізації взаємозалежність екосистем і людської діяльності стає все більш очевидною, що зумовлює необхідність комплексного підходу до раціонального природокористування. Природоохоронні території відіграють важливу роль у зменшенні антропогенного тиску, підтримуючи біорізноманіття, регулюючи мікрокліматичні умови та зберігаючи важливі екосистемні послуги. Територіальне розширення та ефективне управління об'єктами природно-заповідного фонду є ключовими компонентами національної та міжнародної екологічної політики. Як кейс, що демонструє сценарій скоординованих зусиль, інтеграцію в процесі прийняття рішень, зміцнення міжнародних механізмів щодо запобігання екологічній катастрофі, нами було розглянуто Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. Особливий статус цієї природної території зумовлений необхідністю суворого екологічного моніторингу через залишкове радіоактивне забруднення після техногенної катастрофи на ЧАЕС 1986 року. Окупація Чорнобильської атомної електростанції та прилеглої зони відчуження російськими військами у перші години вторгнення в Україну висвітлила тісний взаємозв'язок екологічної безпеки та геополітичної нестабільності. Присутність військовослужбовців і техніки на радіаційно забрудненій території викликала занепокоєння щодо можливого порушення цілісності радіоактивних матеріалів, що могло призвести

до серйозних екологічних наслідків і шкоди для здоров'я людей.

У межах проведення дослідження важливо було вивчити період окупації (24.02.2022-01.04.2022) та проаналізувати поточний стан функціонування території. У результаті було встановлено, що за час, коли заповідник був захоплений російською армією відбулося як руйнування інфраструктурних об'єктів, так і порушення екологічної цілісності території, через будівництво фортифікаційних споруд. Невибухлі босприпаси, міни, снаряди та інші вибухонебезпечні предмети, становлять пряму загрозу як для дикої природи, так і для безпеки людей, перешкоджаючи проведенню досліджень, реалізації природоохоронних заходів і відновленню довкілля.

Ключові слова: *природоохоронні території, Чорнобильський радіаційно-екологічний заповідник, окупація, сталій розвиток, моніторинг, охорона навколишнього середовища, біорізноманіття, радіоактивне забруднення, антропогенний вплив*

Abstract. Ensuring the principles of sustainable development, which are pursued by both national governments and international organizations, is impossible without the conservation of natural resources. In the current context of environmental globalization, the interdependence of ecosystems and human activity is becoming increasingly apparent, necessitating a comprehensive approach to rational nature management. Protected areas play an important role in reducing anthropogenic pressure by supporting biodiversity, regulating microclimatic conditions, and preserving important ecosystem services. Territorial expansion and effective management of nature reserve fund objects are key components of national and international environmental policy. As a case study demonstrating a scenario of coordinated efforts, integration in the decision-making process, and strengthening of international mechanisms to prevent environmental disasters, we considered the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. The special status of this natural territory is due to the need for strict environmental monitoring because of residual radioactive contamination after the 1986 Chernobyl nuclear disaster. The occupation of the Chernobyl nuclear power plant and the surrounding exclusion zone by Russian troops in the first hours of the invasion of Ukraine highlighted the close relationship between environmental security and geopolitical instability. The presence of military personnel and equipment in the radiation-contaminated area raised concerns about the possible breach of the integrity of radioactive materials, which could lead to serious environmental consequences and harm to human health.

As part of the study, it was important to examine the period of occupation (February 24, 2022 – April 1, 2022) and analyze the current state of the territory. As a result, it was established that during the time when the reserve was captured by the Russian army, both infrastructure facilities were destroyed and the ecological integrity of the territory was violated due to the construction of fortifications. Unexploded ordnance, mines, shells, and other explosive objects pose a direct threat to both wildlife and human safety, hindering research, nature conservation measures, and environmental restoration.

Keyword: *protected areas, Chornobyl Radiation and Environmental Reserve, occupation, sustainable development, monitoring, environmental protection,*

biodiversity, radioactive contamination, anthropogenic impact

Згідно із звітним «*Protected Planet Report 2024*», підготовленим фахівцями з Всесвітньої комісії з природоохоронних територій (WCPA), Всесвітнього центру моніторингу охорони навколишнього середовища (UNEP-WCMC) та Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) природоохоронні території охоплюють приблизно 17,6% наземного та 7% морського середовища у всьому світі [1]. У грудні 2022 року в Монреалі (Канада), під час конференції ООН з біорізноманіття (COP 15), було ухвалено нову глобальну мету – зберегти 30% наземних і морських екосистем до 2030 року. Ця мета, відома як Цільова задача 3 є частиною Куньмінсько-Монреальської глобальної рамкової програми [2]. Структура конвенції охоплює чотири основні цілі (A, B, C, D) та 23 завдання, спрямовані на посилення захисту та сталий розвиток довкілля. Фундаментальним аспектом цього документа є не лише розширення природоохоронних територій, але й сприяння сталому управлінню ресурсами та офіційне визнання традиційних знань і практик корінних і місцевих громад. Незважаючи на те, що багато об'єктів ПЗФ перебувають під охороною, вони зазнають постійного антропогенного тиску. Розширення меж міст, сільськогосподарська діяльність, будівництво та розвиток інфраструктури сприяють фрагментації оселищ, тоді як проведення незаконних рубок, браконьєрство та забруднення посилюють деградацію довкілля. Крім того, приватизація землі в межах природоохоронних територій або на прилеглих до них територіях є серйозною проблемою, оскільки може призвести до неконтрольованої експлуатації ресурсів та порушення екосистем. Недостатнє фінансування (державний, місцевий рівень) та слабкі механізми правового регулювання додатково ускладнюють ефективне управління заповідними територіями.

Також варто звернути увагу на те, що до початку повномасштабного вторгнення на територію України, військові конфлікти в європейській природоохоронній політиці не враховувалися, так як з часів Другої світової війни у Європі не велися воєнні дії. Відсутність військових конфліктів протягом майже 100 років дозволила вибудувати пріоритети в екологічній політиці, зосередившись на більш нагальних питаннях, таких як забруднення природно-ресурсного потенціалу, моніторинг та збереження біорізноманіття та зміна клімату. Однак, реальність сучасної великої війни продемонструвала руйнівний вплив військових дій на навколишнє середовище: порушення ландшафтів, забруднення ґрунтів і водойм, переміщення та втрата диких тварин. Відповідно, привернення уваги до теми збереження та відновлення об'єктів екомережі (території та об'єкти ПЗФ) в Україні під час війни – це не лише забезпечення

майбутнього природної спадщини країни, а й можливість залучити міжнародну підтримку, зацікавлених осіб, висококваліфікованих фахівців для вирішення проблемних питань з реалізації природоохоронної сфери.

Аналіз наукової літератури підтверджує, що Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник залишається актуальною та важливою темою для досліджень. З огляду на те, що заповідник був офіційно створений у 2016 році, більша частина доступної документації складається з офіційних звітів, нормативно-правових актів та планів управління, опублікованих на офіційному сайті заповідника. Наукові роботи, опубліковані, до моменту створення нового об'єкту ПЗФ, мають описове спрямування зони відчуження, Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) та довгострокових екологічних наслідків після 1986 року. Пошук у наукових базах даних (міжнародних, національних), таких як Web of Science, Scopus та OUCI, виявив обмежену кількість журнальних статей, присвячених Чорнобильському заповіднику, в той час як дослідження 30-км зони відчуження містять більше напрацювань. Міжнародні дослідження Чорнобильської зони відчуження проводилися різними установами, зокрема Портсмутським університетом (Великобританія) (досліджувався довгостроковий вплив хронічного опромінення на тварин у цій зоні), Університетом Південної Кароліни (США) (вивчалися екологічні наслідки після аварії) та Норвезьким агентством з радіаційної та ядерної безпеки (DSA) (дослідження спрямовані на вивченні процесів перенесення радіонуклідів у дику природу та радіаційного впливу, що виникає внаслідок цього). Дослідники з Університету Джорджії вивчали присутність і вплив радіоактивності в екосистемах, використовуючи Чорнобиль як «природну лабораторію».

Важливим для наукової спільноти можна вважати проєкт TREE (Transfer-Exposure-Effects), що залучив багато установ і був спрямований на вивчення впливу радіації на дику природу в Чорнобильській зоні відчуження. Дослідження поєднувало контрольовані лабораторні експерименти та польові роботи. Серед українських науковців, також можна відмітити низку представників від різних закладів, з якими адміністрація Чорнобильського заповідника має тісну співпрацю. Зокрема, із закладами освіти: КНУ імені Тараса Шевченка, ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна (КНУТШ), КНУТД, Поліський національний університет, Державна екологічна академія, НУ «Львівська політехніка», Університет Ювяскюля, Університет новітніх технологій, ТНУ імені В.І.Вернадського, ХНУ імені В.Н.Каразіна; науково-дослідними установами: U.S. Department of

Agriculture Forest Service, Інститут біології тварин НААН України, ДУ Інститут еволюційної екології НАНУ, Інститут агроекології і природокористування НААН, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, ДУ «Український гідрофізичний центр НАН України», Інститут географії НАН України, Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій; громадськими організаціями: «Українське товариство охорони птахів», «АЕРОРОЗВІДКА», «Українська асоціація активного та екологічного туризму», «Українське ентомологічне товариство», Туристичне товариство «Карпатські стежки», Свободу не спинити, ГС «Всесвітній фонд природи Україна», ГС «Асоціація Чорнобильських туроператорів», а також низкою ТОВ, НПП та іншими закладами.

З метою встановлення будь-яких наслідків від військових дій та розробки заходів для довгострокового розвитку природоохоронних територій, перш за все варто відштовхуватися від поточного стану екосистеми. Відповідно до розрахунків Міндовкілля від початку повномасштабного вторгнення в Україні окуповано близько 1,9 млн га Смарагдової мережі, постраждало біля 800 об'єктів ПЗФ площею 1,24 млн га [3]. У цілях проведення дослідження щодо моніторингу стану функціонування об'єктів ПЗФ під час воєнного режиму було обрано Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (N 50.4651⁰, E 30.47022⁰). Об'єкт був створений (Указ Президента від 26.04.2016 року №174) навколо зони відчуження Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) та давно відомий своєю складною історією та екосистемним значенням [4]. Територія постраждала від техногенної ядерної аварії в 1986 році, яка призвела до значного радіоактивного забруднення. Незважаючи на це, заповідник став унікальною «природною лабораторією», що дає змогу вивчати процеси відновлення екосистем за відсутності втручання людини. З часом популяції диких тварин таких як зубр та коні Пржевальського, відновилися, що дозволило отримати цінні дані про стійкість видів до радіації та порушення середовища існування. Актуальність дослідження Чорнобильського біосферного заповідника як референтної території для оцінки екологічних змін і збереження біорізноманіття зросла з початком повномасштабного вторгнення в Україну. Військові дії на півночі Київської області, включаючи як прямий, так і непрямий вплив, посилили проблеми, з якими стикається заповідник. Перебуваючи під окупацією з 24.02.2022 по 1.04.2022 (37 днів), через ускладнення доступу до певних частин заповідника відбулося руйнування його інфраструктури (офісні приміщення м. Чорнобиль),

порушення якості ґрунту та води, а також підвищилися ризики для флори та фауни [5]. Враховуючи площу ПЗФ (2 269,65 км²), яку практично можна прирівняти до Люксембургу чи федеративної землі Саар (Німеччина) цілком закономірно, що значна частка території зазнала впливу від переміщення військової техніки, розповсюдження радіонуклідів, унаслідок руйнування захисного покриву ґрунту та лісових пожеж. Для оцінки оптимальності форми та характеристики меж природно-заповідного об'єкту можна застосовувати теорію острівної біогеографії (Макартур Р., Вілсон Е., 1967). Спочатку концепція була розроблена для пояснення видового різноманіття на океанських островах, а пізніше її принципи почали широко застосовуватися і до наземних ландшафтів, де природоохоронні території функціонують як острівці оселища у матриці антропогенних ландшафтів.

Відповідно до розміру особливо охоронюваних природних територій, можна сформувати наступну тезу: більш компактні та суцільні заповідники мінімізують крайові ефекти – екологічні зміни, що відбуваються на межах оселищ, які можуть сприяти проникненню інвазивних видів або деградації оселищ. І навпаки, витягнуті або сильно фрагментовані заповідники більш схильні до крайових порушень, що потенційно знижує їхню природоохоронну цінність. Застосовуючи цей принцип для оцінки конфігурації Чорнобильського заповідника, можна скористатися наступною формулою [6]:

$$D = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}, \text{ де} \quad (1)$$

$$D = \frac{510,06}{2\sqrt{3,14 * 2434,85}}$$

D – індекс форми ділянки; P – периметр, км; A – площа, км², π – 3,14

За результатами проведених розрахунків, дані для яких було отримано після вимірювання необхідних параметрів у QGIS (периметр; площа), отримане значення становило 2,92, що свідчить про те, що об'єкт має велику довжину кордонів. За нормативами індекс D, за круглої форми (найкращий варіант) становить 1, за прямокутної – 1,2, витягнута форма прямокутника – 1,6, за довільної форми територіальних кордонів – біля 2, і далі пропорційно зростанню площі показник збільшується у декілька разів. За результатами проведеного розрахунку заповідник не має форми кола, що вважається найбільш придатною для зменшення периферійного впливу. Однак, у цьому випадку його конфігурація не обумовлює високої вразливості чи нестійкості. За інших умов такі розміри могли б призвести до збільшення взаємодії з природно-антропогенними ландшафтами та зростання ризиків деградації

екосистем. Проте, Чорнобильський біосферний заповідник розташований у зоні відчуження, що суттєво знижує вплив людської діяльності. Оскільки прилеглі населені пункти покинуті, а господарська активність відсутня, заповідник фактично не має значних точок контакту з іншими природно-територіальними комплексами.

Додатковими розрахунками, що дають змогу обґрунтовано надати характеристику прийнятності меж заповідника є критерій екологічної проникності (P/A) та ступінь екологічної оптимальності території (A/P). Отримані розрахунки для природоохоронної місцевості мають такі значення $P/A = 0,20$ та $A/P = 4,77$. Відносно невисока перша цифра свідчить про те, що довжина кордонів заповідника є невеликою відносно його площі, що зменшує вплив зовнішніх факторів і сприяє збереженню природних екосистем. Друге значення є нижчим за оптимальний рівень (5 і більше), що означає, що середня відстань від внутрішніх точок до меж заповідника є відносно невеликою. Це може свідчити про певну вразливість екосистем до зовнішніх впливів, оскільки біота, що зберігається, залишається під впливом факторів, що поширюються з-за меж території.

З метою подальшого аналізу ступеню антропогенного впливу було досліджено просторову організацію антропізованих ландшафтів заповідника та видовий склад його рослинності (див.рис.1,табл.1). За допомогою оброблення супутникових знімків з використанням платформи ESA WorldCover з роздільною здатністю 10 м та 100 м було отримано інформацію щодо типів землекористування. Наразі, майже 70% території заповідника складає лісова рослинність, де переважають хвойні породи дерев (66%), решту складають широколистяний ліс (20%) та мішаний (13%). Інші типи рослинності, такі як луки, водна рослинність та пустища, займають менші площі відносно лісу. Луки переважно розташовані в заплавах річок Прип'ять, Уж та Ілля, тоді як суходільні луки з'являються розрізненими ділянками в межах лісових масивів. Пустища, переважно вересові, також зустрічаються в подібних екологічних умовах, але займають відносно обмежену площу. Також помітна частка відводиться території пасовищ (природно-кормові угіддя, 21%) та водно-болотним угіддям (8%). З урахуванням поточної ситуації щодо воєнного стану в Україні структура Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника зазнала змін у зв'язку з офіційним переглядом його меж. Беручи до уваги Указ Президента України №835/2024 від 5 грудня 2024 року, частина земельних ділянок, розташованих вздовж лінії державного кордону, була вилучена із загальної площі об'єкту ПЗФ, що призвело до його зменшення до 226 269,5 га [7].

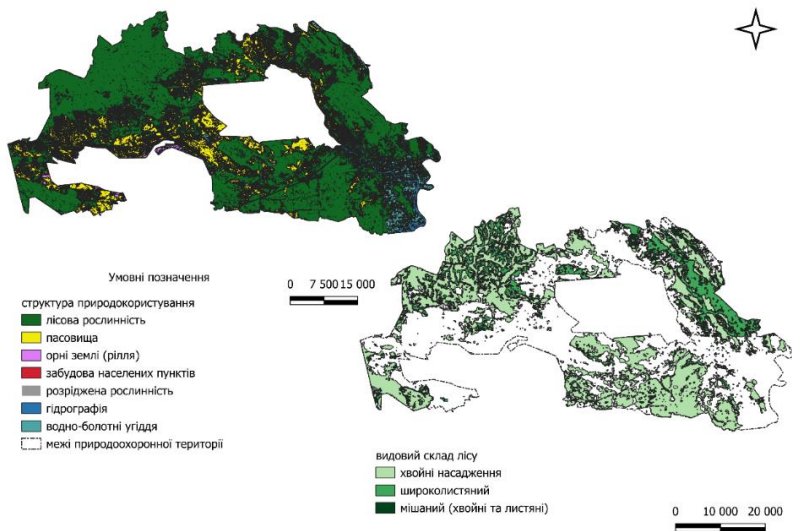


Рис.1. Структура території заповідника

Таблиця 1. Результати розрахунку територіальної організації заповідника

Структура природокористування	Площа (м2)	% від загальної площі природоохоронних земель
Лісова рослинність	2482509000	68,24
Пасовища	766308400	21,06
Орні землі (рілля)	21488440	0,59
Забудова населених пунктів	12325890	0,34
Розріджена рослинність	2279823	0,06
Гідрографія	72711410	2,00
Водно-болотні угіддя	280440400	7,71
Типи лісів		
Хвойні насадження	814773400	66,16
Широколистяний	254355500	20,65
Мішаний (хвойні та листяні)	162416100	13,19

Враховуючи те, що земельні ділянки заповідника використовуються відповідно до цільового призначення, а також

завдань Проєкту організації території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника та охорони його природних комплексів (том 1, том 2; 2021), важливо розглянути діюче функціональне зонування. Згідно з Положенням (2022) заповідник поділяється на 4 зони [8]:

- заповідна зона (72794,5 га) територія з найсуворішим режимом охорони, де будь-яке втручання людини обмежене з метою збереження природних процесів та підтримання екологічної рівноваги;

- зона регульованого заповідного режиму (**10 391,7 га**) – зона, в якій можливе проведення наукових досліджень і природоохоронних заходів, що відповідають екологічним вимогам;

- буферна зона (66 105,6 га) – територія перехідного типу, що забезпечує поступовий перехід між охоронюваними екосистемами та зонами з вищим рівнем антропогенного впливу;

- зона антропогенних ландшафтів (77 672,9 га) – включає ділянки, що зазнали значних змін внаслідок людської діяльності, на території можливе проведення регульованих заходів з рекультивациі та управління природними процесами.

З огляду на те, що до повномасштабного вторгнення територія заповідника слугувала місцем для проведення низки польових наукових досліджень, відвідувань туристів та представників освітніх установ тощо. Нині важливо визначити оптимальну кількість відвідувачів для запобігання деградації природних комплексів. На разі нормативні документи* не встановлюють чітких стандартів допустимого рекреаційного навантаження для біосферних заповідників. Тому у цьому дослідженні було здійснено розрахунок граничних показників для кожної з функціональних зон. Результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо регулювання відвідуваності та інтеграції рекреаційної діяльності в систему управління заповідником. Таким чином, взявши за основу площу кожної зони та визначивши за своїм суб'єктивним баченням % від максимально можливої кількості людей, що одночасно може знаходитися в межах певної території було встановлено рекомендовані значення антропогенного навантаження (див.табл.2).

Таблиця 2. Антропогенний вплив рекреантів на одиницю площі

Назва зони	Площа, га	% території	Максимально можлива кількість людей (64 особи*/км ²)	% допустимої кількості осіб	Оптимальна кількість людей

Заповідна	72794,5	32,07	46 575	10%	4 657,49
Регульованого заповідного режиму	10 391,7	4,58	6653,28	15%	998
Буферна	66 105,6	29,13	42366,59	25%	10 591,65
Антропогенних ландшафтів	77 672,9	34,22	49682,66	50%	24841,33

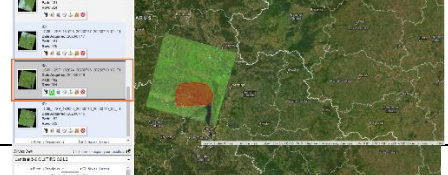
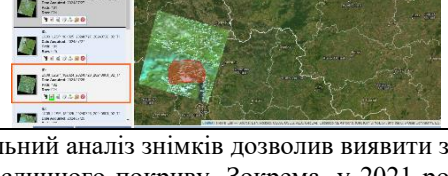
*щільність населення взята з Екологічного паспорту Київської області 2022 рік [9]

*згідно норм зазначених у ДБН України «Планування і забудова територій ДБН Б.2.2-12:2018» показники допустимого рекреаційного навантаження встановлені для таких категорій ПЗФ: національних природних парків (0,2 осіб/га), регіональних ландшафтних парків (0,5 осіб/га), дендропарків та парків пам'яток садово-паркового мистецтва (20 осіб/га)

Загальна максимальна кількість людей, що одночасно може перебувати на території заповідника, становить 145 277,53 осіб. Враховуючи встановлені обмеження даний показник знизився майже у 4 рази до значення 40 088,47 осіб. Відповідно до статистики, представленої у відкритих інформаційних джерелах, до початку пандемії Чорнобильський заповідник щорічно відвідували понад 120 000 осіб, зокрема значна кількість іноземних туристів (у 2016 році зону відчуження відвідали туристи з 86 країн світу) [10]. У постконфліктний період врегулювання військових дій в Україні, можна очікувати, що Чорнобильський заповідник і надалі привертатиме увагу завдяки своєму науковому значенню в контексті вивчення наслідків техногенної катастрофи (майже 40 років від часу аварії). Потенціал об'єкта залишається високим, особливо у розрізі «темного туризму», коли зростає інтерес до місць, пов'язаних з екологічними/техногенними/військовими катастрофами, історичними колективними травмами (голокост, втрата місця проживання, переселення тощо). Зацікавленість до цього місця в поєднанні з його науковим потенціалом як унікального середовища для досліджень впливу радіації та екологічної сукцесії свідчить про те, що Чорнобильський заповідник продовжить збереження статусу важливого об'єкта ще довго після війни.

З метою ефективного відстеження змін, що відбулися на території з початку її окупації було проведено аналіз спектральних знімків (Landsat) за комбінацією каналів (2): 5-4-3 (2021; 2023; 2024) та 7-6-4 (2022) [11], що забезпечують покращену диференціацію різних типів земного покриття (рослинність, ґрунт та водні об'єкти), а також дозволяють виявляти порушення, спричинені зовнішніми факторами (див.табл.3).

Таблиця 3. Вихідний набір даних для дослідження змін у землекористуванні

Часові рамки	Супутникове зображення	Джерело даних
18.07.2021		LC08_L2P_182024_20210718_20210729_02_T1
27.02.2022		LC08_L2SP_182024_20220227_20220309_02_T1
16.07.2023		LC09_L2SP_182024_20230716_20230719_02_T1
26.07.2024		LC08_L2SP_182024_20240726_20240801_02_T1

Порівняльний аналіз знімків дозволив виявити зміни у щільності та характері рослинного покриву. Зокрема, у 2021 році висока частка червоних тонів свідчить про розгалужений і відносно здоровий рослинний покрив (див.рис.2). Просторовий розподіл вказує на домінування широколистяної рослинності на значній частині території. На знімку, зробленому на 3-й день, з моменту початку війни, можна побачити, що північний захід має щільні зелені ділянки, що вказує на здоровий трав'яний покрив. Невеликі білі плями можна ідентифікувати як засніжені ділянки на підвищених ділянках території або хмарність. Рослинність тут виглядає відносно неушкодженою. Північно-східна частина заповідника на знімку має темно-зелене і коричнево-зелене забарвлення рослинності, що можна трактувати як зріджений лісовий покрив. Станом на 2024 рік можна помітити найбільш значні трансформації. Хоча деякі ділянки на знімку зберігають свої червоні відтінки, велика частина території має темніший вигляд, що свідчить

про подальше скорочення рослинного покриву. Крім того, видно збільшення білих і світлих ділянок, що вказує на хмарний покрив, оголену землю або ж наслідки зовнішніх впливів.

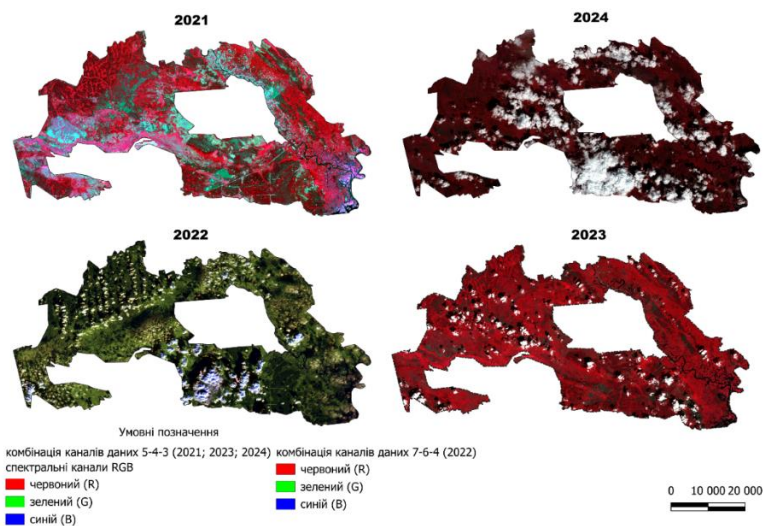


Рис.2. Аналіз змін у природному середовищі за допомогою Landsat 8-9

Після російського вторгнення в Україну Чорнобильська зона відчуження зазнала масштабних пожеж, які знищили понад 22 171 гектар території, з яких близько 14 000 гектарів (Корогодський, Денисовичський, Паришівський, Луб'янський ліси) припало на період окупації [12]. Розпочаті пожежі були одними з найбільших за всю історію спостережень у зоні відчуження. Окупація перешкождала гасінню пожеж, оскільки обладнання було знищене або пошкоджене, а дороги та заповідні ландшафти заміновані, що ускладнювало доступ для екстрених служб. Пожежі не лише погіршили стан довкілля, але й поставили під загрозу бар'єрну функцію зони відчуження, яка допомагає запобігати поширенню радіоактивних частинок за межі зони відчуження.

Топографія Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника є важливим аспектом еколого-орієнтованих досліджень та природоохоронних заходів. З метою аналізу поточної ситуації щодо змін рельєфу місцевості, у програмному середовищі QGIS та через онлайн платформу OpenTopography було побудовано цифрову модель території (див.рис.3). У результаті було проведено

класифікацію схилів місцевості за крутістю (за Воскресенським С.), де від 0° – 1° (майже горизонтальні поверхні), 1° – 5° (дуже спадисті), 5° – 15° (спадисті), 15° – 35° (середньої крутості) $>35^{\circ}$ (круті). Встановлено, що більшість території має практично пологий рельєф.

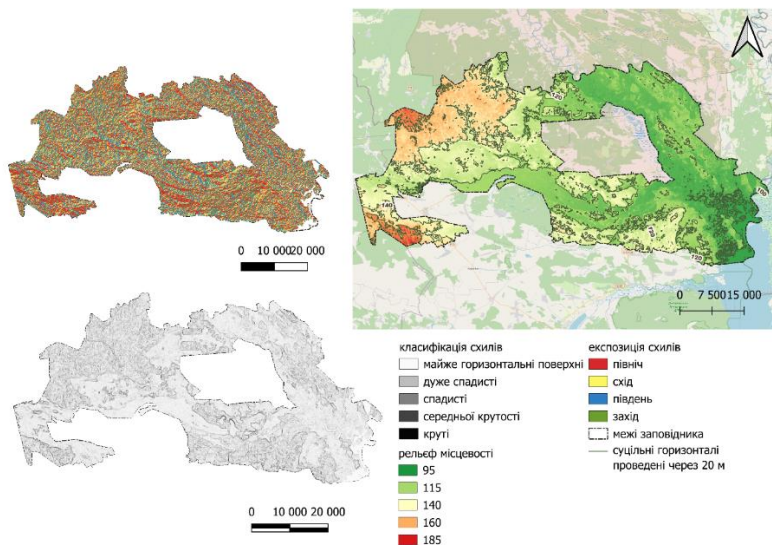


Рис.3.Орографічні особливості ЦМР Чорнобильського заповідника

Згідно з офіційними документами, де представлена фізико-географічна характеристика заповідника, найвища точка його поверхні досягає 171 м над рівнем моря. Вона розташована в південно-західній частині досліджуваної території (південно-східна околиця с. Голубівичі). Висоти в межах цієї частини заповідника коливаються в діапазоні 150–162 м. У напрямку на північ і схід відбувається поступове зниження абсолютних відміток до 103–108 м, особливо в заплавах річкових долин нижньої течії. Найнижчі висоти (103–105 м) спостерігаються в заплаві річки Прип'ять, зокрема на її лівобережжі. У північно-східній частині заповідної території виділяється найвища точка з абсолютною відміткою 127,8 м (північний схід від с. Паришів). Загалом переважаючі висоти в цій частині становлять 105–120 м, тоді як у заплавах районів вони варіюються в межах 102–103 м. Амплітуда висот на території є порівняно незначною і визначається переважно впливом льодовикових форм рельєфу, таких як ози та камові утворення. У долинах великих річок спостерігається наявність пагорбів, які формувалися внаслідок алювіальних процесів. Ці пагорби здебільшого

представлені еоловими піщаними грядками, що зазнають активного переформування під дією вітрових процесів.

Під час російської військової окупації з лютого по березень 2022 року спостерігалися значні зміни рельєфу місцевості. Було збудовано інженерні споруди, відбулося значне зміщення ґрунту під час облаштування позицій для важкої техніки та піхоти [13]. Використання габіонів - великих контейнерів, заповнених піском або ґрунтом - як інженерних бар'єрів було поширеним явищем по всій території зони відчуження та Київської області. Крім того, на території заповідника було виявлено глибокий кар'єр, що створює додаткові екологічні проблеми. Незважаючи на розвиток технологій дистанційного зондування, наразі неможливо використати такий сервіс, як Google Earth Pro (історичні космоснімки), для аналізу системи російських окопів та підземних бліндажів, через відсутність актуальних супутникових знімків. Таке обмеження підкреслює необхідність інтеграції топографічної зйомки з високою роздільною здатністю та безпосередніх польових досліджень для точної оцінки поточного стану ландшафту заповідника та розробки заходів для мінімізації екологічних наслідків.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, що був створений на місці техногенної екологічно-гуманітарної катастрофи (1986 рік), зіткнувся з новими екологічними проблемами через російське вторгнення та окупацію (2022). Зусилля з відновлення екосистеми протягом багатьох років після аварії включали реінтродукцію різних видів тварин. У 1998 році природоохоронці завезли 31 коня Пржевальського в Чорнобильську зону відчуження на заміну вимерлим тарпанським коням, що мешкали в цьому регіоні. З того часу популяція зросла і, за оцінками, становить стабільну, самодостатню групу, що налічує приблизно 100-120 особин. Однак нинішні військові дії принесли нові загрози, зокрема, широке поширення наземних мін, що призвело до значних втрат серед диких тварин. Дані Міністерства охорони навколишнього середовища свідчать про те, що приблизно 425 000 гектарів українських лісів зараз забруднені мінами та боеприпасами, що не вибухнули, створюючи серйозні ризики як для тварин, так і для людей. Вплив на довкілля виходить за межі безпосередньої фізичної небезпеки, адже військові дії призводять до знищення середовища існування, забруднення та довготривалих екологічних порушень.

Також варто зазначити, що під час російської окупації Чорнобильської зони відчуження міжнародні організації зіткнулися зі значними труднощами в наданні прямої допомоги через обмежений

доступ до території заповідника. Втім, кілька організацій вжили заходів для дистанційної підтримки Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника та підготувалися до організації спільних кроків з відновлення після окупації. Після виведення російських військ МАГАТЕ оперативно організувало місії допомоги та підтримки для оцінки рівня радіації та забезпечення безпеки ядерних об'єктів у зоні відчуження. До початку конфлікту ПРООН брала участь у проєктах, спрямованих на забезпечення екологічної стійкості та регіонального розвитку в районах, що постраждали від Чорнобильської катастрофи. Хоча конкретні дії під час окупації не деталізовані, постійна прихильність ПРООН до регіону свідчить про подальшу підтримку ініціатив з відновлення та розвитку. Після відновлення доступу до Чорнобильської зони відчуження міжнародні організації співпрацювали з українською владою, щоб оцінити масштаби шкоди завданої довкіллю та ініціювати проєкти з відновлення.

Незважаючи на те, що статистичні дані про масштаби екологічної шкоди та стан реалізації заходів у відновленні є обмеженими, проведені оцінки щодо поточної ситуації в заповіднику дозволяють працювати над актуалізацією заходів відносно захисту цієї критично важливої екологічної території від майбутньої деградації, щоб гарантувати збереження її екологічної та наукової цінності для майбутніх поколінь.

Використані інформаційні джерела:

1. Protected Planet Report 2024.URL: <https://pp-digital-report-files.s3.us-east-1.amazonaws.com/Protected+Planet+Report+2024+Executive+Summary.pdf>
2. COP15 ends with landmark biodiversity agreement. UNEP. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/cop15-ends-landmark-biodiversity-agreement>
3. Єрохіна Т. Які заповідники може втратити Україна через війну: збитки, загрози і наслідки. RFI. URL: <https://www.rfi.fr/uk/україна/20240102-які-заповідники-може-втратити-україна-через-війну-збитки-загрози-і-наслідки>
4. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. URL: <https://zapovidnyk.org.ua/>
5. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник після окупації - Природно-заповідний фонд України. Природно-заповідний фонд України. URL: <https://wownature.in.ua/chornobylskyy-radiatsiyno-ekolohichnyy-biosfernyy-zapovidnyk-pislia-okupatsii/>
6. Андронов В.А. Заповідна справа: навч. посіб. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – 204 с.

7. Про зміну меж території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника : Указ Президента України від 05.12.2024 № 835/2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/835/2024#Text>
8. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник - Природно-заповідний фонд України. URL: <https://wownature.in.ua/oberihaymo/biosferni-rezervaty-v-ukraini/chornobylskyy-radiatsiyno-ekologichnyy-biosfernyy-zapovidnyk/>
9. Екологічний паспорт Київської області. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-Kyyivska-oblast.pdf>
10. Найбільш закритий заповідник на підконтрольній території: що відбувається в Чорнобильській зоні відчуження?. Рубрика. URL: <https://rubryka.com/article/chornobylskyy-radiatsiyno-ekologichnyy-biosfernyy-zapovidnyk/>
11. EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
12. Colossal losses for the nature of the Chernobyl zone during the war. ЕкоПолитика. URL: https://ecopolitic.com.ua/en/news/nazvani-kolosalni-vtrati-dlya-prirodi-chornobilskoi-zoni-za-chas-vijni-2/?utm_source=chatgpt.com
13. Russians who dug trenches in Chornobyl's Red Forest have radiation sickness, Energoatom reports. Rubryka. URL: <https://rubryka.com/en/2022/04/11/promeneva-hvoroba-chornobyl/>

**МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СУБТРОПІЧНИХ ТА
ПІВДЕННИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР ЗА УМОВ
ХОРОЛЬСЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ**

¹**Красовський В. В.**, кандидат біологічних наук., старший науковий співробітник, ²**Шкура Т. В.**, кандидат біологічних наук, доцент, ³**Федько Р. М.** кандидат біологічних наук., ¹**Черняк Т. В.**, аспірантка, ²**Єгоркіна С. О.**, аспірантка, ²**Рудик А. В.**, аспірант

¹*Хорольський ботанічний сад, Полтавська область, Україна*

²*Полтавський національний педагогічний університет імені
В. Г. Короленка, Україна*

³*Дослідна станція лікарських рослин ІАП НААН України, Полтавська
область, Україна*

**METHODOLOGY OF COMPREHENSIVE RESEARCH OF THE
ADAPTATION POTENTIAL OF SUBTROPIC AND SOUTHERN
FRUIT CROPS IN THE CONDITIONS OF THE KHOROL
BOTANICAL GARDEN**

¹**Krasovsky V.V.**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, ²**Shkura T.V.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, ³**Fedko R.M.** Candidate of Biological Sciences, ¹**Cherniak T.V.**, Postgraduate Student, ²**Yehorkina S.O.**, Postgraduate Student, ²**Rudyk A.V.**, Postgraduate Student

¹*Khorol Botanical Garden*

²*Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University, Ukraine*

³*Research Station of the Medicinal Plants of the Institute of Agroecology
and Nature Management of the National Academy of Sciences, Ukraine*

Анотація. Показана методологія комплексних досліджень адаптаційного потенціалу субтропічних та південних плодових культур колекції Хорольського ботанічного саду. Ботанічний сад є об'єктом природно-заповідного фонду України загальнодержавного значення, що належить до групи зелених насаджень спеціального призначення зі статусом науково-дослідної установи. Планові дослідження установи проводились за темою «Інтродукція субтропічних та південних плодових культур за відкритого ґрунту з метою збагачення фіторізноманіття, використання в селекції і плодівництві». У процесі

виконання дослідних робіт оцінено кліматичні умови регіону досліджень, використано акліматизаційні та морфобіологічні методи досліджень серед яких: ботаніко-географічний, ступеневої акліматизації, висіву насіння вільного запилення, спостереження в умовах інтродукції, морфометричних вимірювань, фотофіксації, опису тощо, та в деякій мірі, модифіковані під кожний окремий вид рослин.

Ключові слова: зимостійкість, посухостійкість, дегустаційна оцінка, декоративність, фітохімічні дослідження.

Abstract. The methodology of comprehensive research into the adaptive potential of subtropical and southern fruit crops from the collection of the Khorol Botanical Garden is shown. The Botanical Garden is an object of the nature reserve fund of Ukraine of national importance, belonging to the group of special-purpose green spaces with the status of a scientific and research institution. The institution's planned research was conducted on the topic «Introduction of subtropical and southern fruit crops in open soil for the purpose of enriching phytodiversity, use in breeding and fruit growin». In the process of carrying out research work, the climatic conditions of the research region were assessed, acclimatization and morphobiological research methods were used, including: botanical-geographic, step-by-step acclimatization, sowing of free-pollinated seeds, observations under conditions of introduction, morphometric measurements, photofixation, description, etc., and to some extent, modified for each individual plant species.

Key words: *winter hardiness, drought resistance, tasting evaluation, decorativeness, phytochemical studies.*

Ботанічні сади є важливими науковими і природоохоронними осередками, в яких проводяться дослідження з інтродукції, акліматизації, селекції рослин, здійснюються роботи зі збереження біологічного різноманіття, охорони рослинного світу, екологічного моніторингу, ландшафтного проектування та садово-паркового будівництва. У них формуються штучні фітоценози – ботаніко-географічні ділянки, де проводиться комплексна оцінка адаптаційного потенціалу інтродуцентів із метою їх тривалого збереження.

Мета даної роботи полягала у висвітленні методології комплексних досліджень адаптаційного потенціалу субтропічних та південних плодових культур новоствореного ботанічного саду в аспекті планових досліджень.

Хорольський ботанічний сад є об'єктом природно-заповідного фонду України загальнодержавного значення, який належить до групи зелених насаджень спеціального призначення зі статусом науково-дослідної установи. Він створений згідно Указу Президента України від 01.12.2008 р. № 1129/2008 «Про розширення мережі та територій національних природних парків та інших природно-заповідних

об'єктів». При створенні об'єкту керувались ст. 31, 32 Глави 8 «Ботанічні сади» та ст. 51, 52 Розділу VII «Порядок створення й оголошення територій та об'єктів природно-заповідного фонду» Закону України «Про природно-заповідний фонд України». Засновано Хорольський ботанічний сад у 2009 році [1], розпочав функціонувати у 2011 році, офіційно відкритий у 2013 році [2].

Згідно планових досліджень Хорольського ботанічного саду за темою «Інтродукція субтропічних та південних плодових культур за відкритого ґрунту з метою збагачення фіторізноманіття, використання в селекції і плідництві» (Протокол № 1 засідання Науково-технічної ради Хорольського ботанічного саду від 17.08.2012 року) на трьох колекційних ділянках наукової зони («Сад субтропічних плодових культур» – 0,26 га, «Формовий плодовий сад» – 0,23 га, «Селекційний сад південних плодових культур» – 0,06 га) досліджується 30 видів субтропічних та південних плодових рослин, систематика яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік субтропічних та південних плодових рослин

№ з/п	Порядок	Родина	Рід	Вид
1.	<i>Magnoliales</i> Магнолієцвіті	<i>Annonaceae</i> Анонові	<i>Asimina</i> Азіміна	<i>A. triloba</i> (L.) Dunal Азіміна трилопатева
2.	<i>Laurales</i> Лавроцвіті	<i>Lauraceae</i> Лаврові	<i>Laurus</i> Лавр	<i>L. nobilis</i> L. Лавр благородний
3.	<i>Rosales</i> Шипшиноцвіті	<i>Rosaceae</i> Шипшинові	<i>Cydonia</i> Айва	<i>C. oblonga</i> Mill. Айва довгаста
4.			<i>Chaenomeles</i> Японська айва	<i>Ch. ×californica</i> Clarke ex Weber Японська айва каліфорнійська
5.			<i>Cormus</i> Домашня горобина	<i>C. domestica</i> L. Домашня горобина справжня
6.			<i>Mespilus</i> Мушмула	<i>M. germanica</i> L. Мушмула німецька
7.			<i>Crataegus</i> Глід	<i>C. azarolus</i> L. Глід азароль
8.				<i>C. opaca</i> Hooker & Arn.

				Глід матовий
9.			<i>Prunus</i> Слива	<i>P. dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb Слива солодка
10.				<i>P. armeniaca</i> L. Слива вірменська
11.			<i>Pyrus</i> Груша	<i>P. pyrifolia</i> (Burm. f.) Nakai Груша азійська
12.		<i>Rhamnaceae</i> Жостерові	<i>Hovenia</i> Родзинкове дерево	<i>H. dulcis</i> Thunb. Родзинкове дерево солодке
13.			<i>Ziziphus</i> Зизиф	<i>Z. jujuba</i> Mill. Зизиф ююба
14.		<i>Elaeagnaceae</i> Маслинкові	<i>Elaeagnus</i> Маслинка	<i>E. multiflora</i> Thunb. Маслинка багатоквіткова
15.				<i>E. umbellata</i> Thunb. Маслинка парасолькова
16.		<i>Moraceae</i> Шовковицеві	<i>Maclura</i> Маклюра	<i>M. tricuspidata</i> (Carrière) Bureau Маклюра тризагострена
17.			<i>Ficus</i> Смоківниця	<i>F. carica</i> L. Смоківниця карійська
18.	Malpighiales Мальпігієцвіті	<i>Passifloraceae</i> Страстоцвітові	<i>Passiflora</i> Страстоцвіт	<i>P. incarnata</i> L. Страстоцвіт м'ясо- червоний
19.	<i>Myrtales</i> Миртоцвіті	<i>Lythraceae</i> Плакунові	<i>Punica</i> Гранатник	<i>P. granatum</i> L. Гранатник зернястий
20.		<i>Myrtaceae</i> Миртові	<i>Feijoa</i> Фейхоа	<i>F. sellowiana</i> O.Berg Фейхоа Зелловова
21.	<i>Sapindales</i> Сапіндоцвіті	<i>Anacardiaceae</i> Анакардієві	<i>Pistacia</i> Фісташка	<i>P. vera</i> L. Фісташка справжня
22.		<i>Rutaceae</i> Рутові	<i>Citrus</i> Цитрина	<i>C. trifoliata</i> L. Цитрина трилисточкова
23.			<i>Zanthoxylum</i>	<i>Z. bungeanum</i>

			Зантоксилум	Maxim. Зантоксилум Бунге
24.	Ericales Ерікоцвіті	<i>Ebenaceae</i> Ебенові	<i>Diospyros</i> Хурма	<i>D. virginiana</i> L. Хурма вірджинська
25.		<i>Ebenaceae</i> Ебенові	<i>Diospyros</i> Хурма	<i>D. lotus</i> L. Хурма кавказька
26.		<i>Theaceae</i> Часві	<i>Camellia</i> Камелія	<i>C. sinensis</i> (L.) Kuntze Камелія китайська
27.		<i>Actinidiaceae</i> Актинідієві	<i>Actinidia</i> Актинідія	<i>A. chinensis</i> Planch. Актинідія китайська
28.	<i>Lamiales</i> Глухокропиво цвіті	<i>Oleaceae</i> Маслинові	<i>Olea</i> Маслина	<i>O. europaea</i> L. Маслина європейська
29.	<i>Fagales</i> Букоцвіті	<i>Betulaceae</i> Березові	<i>Corylus</i> Ліщина	<i>C. avellana</i> L. Ліщина звичайна
30.	<i>Cornales</i> Дереноцвіті	<i>Cornaceae</i> Деренові	<i>Cornus</i> Дерен	<i>C. kousa</i> Bürger ex Hance Дерен коуса

За результатами досліджень цих видів станом на 01.01.2025 року науковими працівниками Хорольського ботанічного саду в співавторстві науковців із інших установ опубліковано п'ять монографій, 60 статей (дві в наукометричній базі Scopus), 119 тез доповідей (одна на Міжнародному симпозіумі, 73 на Міжнародних та 45 на Всеукраїнських конференціях), отримано один патент на винахід, 13 патентів на корисну модель, одне свідоцтво на зразок рослин.

Основними напрямками наукових досліджень були фенологічні дослідження, вивчення зимостійкості та посухостійкості рослин, розмноження та захист рослин від вимерзання та пошкодження морозами, морфологічні дослідження плодів, кісточок та насіння, будови квіток, дегустаційної оцінки плодів, декоративних якостей рослин тощо. Сукупність прийомів комплексних досліджень підпорядкована етичним принципам, які мають застосовувати науковці під час проведення досліджень й оприлюдненні їх результатів [3].

У процесі виконання дослідних робіт оцінено кліматичні умови регіону досліджень, використано акліматизаційні та морфобіологічні методи досліджень серед яких – ботаніко-географічний, ступеневої

акліматизації, висіву насіння вільного запилення, спостереження в умовах інтродукції, морфометричних вимірювань, фотофіксації, опису тощо, та в деякій мірі, модифіковані під кожний окремий вид рослин.

Для оцінки кліматичних умов регіону досліджень метеорологічні величини подавали у відповідних одиницях виміру (м/с, Пн./Пн.Пн.Сх./Пн.Сх./Сх.Пн.Сх./Сх./Сх.Пд.Сх./Пд.Сх./Пд.Пд.Сх./Пд./Пд.Пд.Зх./Пд.Пд.Зх./Зх.Пд.Зх./Зх./Пн.Зх./Зх.Пн.Зх./Пн.Пн.Зх./Шт.) , опади (мм) та сніговий покрив (см). Відбір статистичних даних метеорологічних спостережень проводили з використанням відомостей метеорологічних величин Полтавського обласного центру з гідрометеорології (дані 1813-2023 років) та по метеорологічній станції міст Лубни (географічні координати: 50°00'56" пн.ш., 32°59'11" сх.д.), зібраних упродовж 2013-2023 років, окремі відомості – за 1945-2023 роки. Вони є достовірними, надані офіційно і становлять науковий інтерес для наших досліджень.

Ботаніко-географічний метод ґрунтувався на пошуку північної межі штучного ареалу досліджуваних рослин.

Із використанням методу ступеневої акліматизації, який полягав в поступовому перенесенні рослин із одних географічних районів в інші висівом насіння, здійснили поширення ареалу зростання субтропічних та південних плодових рослин із півдня на північ, де географічна ступінь складала 150-200 км.

Для вирощування сіянців і отримання нових зразків різних видів використали метод масового висівання насіння вільного запилення безпосередньо в умовах інтродукції [4, 5].

Морфометричні дослідження проводили за допомогою вимірювальних засобів.

Фенологічні спостереження розпочинали рано навесні, приблизно за тиждень до початку вегетації й припинили восени, після листопаду. Для визначення дати розпускання бруньок спостереження проводили через дві доби, за настання фази цвітіння – через добу, за досягання плодів, а також за листопаду – один раз на п'ять діб.

Дати настання фенофаз фіксували за такими ознаками:

- початок розпускання бруньок – на деревах / кущах з'явилися перші розтріпані бруньки, а на їхніх верхівках – кінчики зелених листочків;

- початок цвітіння – на деревах розкрилося 5-10% квіток;

- кінець цвітіння – відцвіло 90% квіток;

- досягання плодів – коли плоди досягли збиральної стиглості та можуть бути зібраними, тобто ці плоди здатні за збирального досягання набути характерного (властивого сорту) смаку, кольору та

аромату. Дату збиральної стиглості плодів багатозборових видів відзначали за можливості першого збирання. За дату кінця їхнього досягання приймали дату останнього збирання;

- початок листопаду – відмічали, коли опало 25% листків;

- кінець листопаду – 7 % дерев / кущів скинули листки. Якщо до настання стійких морозів листопад не закінчився, то в примітках у польовому журналі робили позначку – відсоток листків, що залишилися на деревах;

- кінець вегетації – настали стійкі морози, які припинили вегетацію.

У зведеному звіті для кожної фенофази вказували найраніші, середні та найпізніші строки її настання. За середній строк брався такий, що найчастіше трапляється.

Визначення ступеня підмерзання деревних рослин починали з огляду дерева чи куща загалом.

Беручи до уваги підмерзання окремих частин, визначали загальний ступінь підмерзання кожної рослини в балах [6]:

- повне вимерзання надземної частини або до лінії снігового покриву;

- сильне підмерзання: деревина темно-коричнева, сильні опіки кори з глибокими пошкодженнями на уражених місцях стовбура й скелетних гілках;

- значне підмерзання: деревина коричнева, опіки середнього ступеня в окремих місцях на стовбурі й скелетних гілках, глибоке пошкодження кори. У кісточкових помірна камедетеча, випадки підмерзання напівскелетних або окремих скелетних гілок; загибель до 50% плодових гілок;

- слабе підмерзання: слабе потемніння деревини (забарвлення світло-коричневе); слабкі опіки або окремі невеликі глибокі пошкодження кори; у кісточкових – слабка камедетеча; всихання однорічних приростів і частково невеликих гілок, загибель частин плодових гілок (25%), листки частково здрібнені;

- відсутнє або дуже слабе підмерзання: слабе потемніння деревини (забарвлення жовтувате), невеликі поверхневі опіки кори на стовбурі і скелетних гілках; можливе всихання кінців однорічних приростів, у поодиноких випадках – дрібних гілок; вимерзання частин плодових гілок (10%): дерево добре залистяне, листки нормально розвинені.

За ступенем зимостійкості рослини ділили на групи [6]:

- високозимостійкі – не вимерзають навіть у найсуворіші зими; придатні для вирощування в даному регіоні;

– зимостійкі – незначне підмерзання в суворі зими, у звичайні – повна відсутність морозних пошкоджень, цілковита придатність для культури в даному регіоні;

– середньозимостійкі – середнє підмерзання в суворі зими, придатні для вирощування в даному регіоні, але в меншому обсязі, ніж зимостійкі, і лише при високій агротехніці;

– малозимостійкі – значне підмерзання навіть у звичайні зими, у суворі – сильне або повне вимерзання, у певному регіоні можна вирощувати лише на зимостійких скелетоутворювачах;

– незимостійкі – вимерзають навіть у звичайні зими.

Пошкодження посухою визначали за такими ознаками [6]:

– приріст – нормальний, слабкий, відсутній;

– забарвлення листків – нормальне, пожовкле;

– опадання зав'язі і плодів – сильне, помірне, слабке.

За комплексом ознак, які характеризують реакцію рослин на посушливі умови, поділяли за стійкістю на групи з відповідною оцінкою в балах [7]:

1 – нестійкі до посухи – приріст відсутній, листки пожовкли (всохли), сильне опадання зав'язі;

3 – слабо посухостійкі – відсутність приросту пагонів, листки мають жовте забарвлення, в'януть, спостерігається опадання зав'язі і плодів;

5 – середньо посухостійкі – приріст незначний, спостерігається пожовтіння листків, опадання зав'язі і плодів помірне;

7 – посухостійкі – мають нормальний приріст і забарвлення листків, опадання зав'язі і плодів незначне;

9 – дуже посухостійкі – ознаки впливу посухи відсутні.

Спостерігаючи за строками цвітіння, відмічали його силу загалом по видах за такою шкалою з урахуванням віку рослин [6]:

1 – дуже обрідне (поодинокі квітки) або зовсім відсутнє;

3 – обрідне цвітіння;

5 – помірне цвітіння;

7 – добре цвітіння;

9 – рясне цвітіння.

Силу плодоношення визначали приблизно за два тижні до збирання врожаю візуально в балах за наступною шкалою (з урахуванням віку насаджень) [6]:

1 – дуже слабке (окремі плоди) або зовсім відсутнє плодоношення;

3 – слабке плодоношення;

5 – помірне плодоношення;

7 – добре плодоношення;

9 – рясне плодоношення/

Дегустаційну оцінку плодів проводили за 9-ти бальною шкалою та оцінювали наступні показники: розмір плодів, зовнішню привабливість, смак, загальну якість. Дегустацію свіжих плодів проводили впродовж 3-5 днів після збирання за винятком *Ficus carica*, плоди яких дегустували у день збирання [6].

Оцінювали розмір плодів у балах:

1 – дуже дрібні;

3 – дрібні;

5 – середнього розміру;

7 – великі;

9 – дуже великі.

Зовнішня привабливість є сумарною оцінкою плодів за розміром, формою, забарвленням і оцінювали її за 9-ти бальною шкалою [6]:

1 – плоди дуже непривабливі (дуже дрібні, неправильної форми, погано забарвлені);

3 – плоди негарні (дрібні, непривабливі за забарвленням і формою);

5 – плоди посередні (недостатньо великі, малопривабливі за забарвленням і формою);

7 – привабливі, але не дуже великі;

9 – дуже привабливі, великі, гарні за формою і забарвленням.

Смак оцінювали в балах [6]:

1 – плоди зовсім неїстівні у свіжому вигляді;

3 – недобрий смак, плоди майже непридатні до вживання;

5 – посередній смак;

7 – добрий столовий смак;

9 – відмінний смак із гармонійним співвідношенням кислоти й цукрів.

Загальна оцінка якості плодів не є середньою з оцінки розмірів, привабливості і смаку і визначали окремо як загальне враження від якості сорту (у балах) [6]:

1 – плоди непридатні для вживання у свіжому вигляді;

3 – плоди поганої якості;

5 – плоди посередньої якості;

7 – плоди доброї якості;

9 – плоди високої якості.

У дослідженнях використана інтегральна шкала комплексної оцінки видів декоративних екзотичних деревних рослин за основними морфологічними ознаками (за 5-ти бальною шкалою), що оптимізована

також для листопадних дерев та чагарників [7]. Таку оцінку здійснювали за чотирма основними блоками. Перший – оцінка загальної декоративності рослин, яка включає період декоративності, декоративні ознаки крони (форма, щільність, фактура), тривалість квітування та облистнення. Другий блок – оцінка декоративності кори, її фактури та забарвлення. Третій – оцінка декоративності листків за формою, розмірами, забарвленням і сезонністю його змін. Четвертий блок – оцінка декоративності генеративних органів рослини, яка ґрунтується на розмірах, забарвленні, рясності квіток, суцвіть, а також формі, величині, забарвленні та рясності плодів. У шкалу свідомо не включено показники зимостійкості, морозостійкості, посухостійкості й жаростійкості рослини, адже це внутрішня екотипічна здатність рослин протистояти комплексу несприятливих впливів зовнішнього середовища.

Ступені оцінки декоративності дерев та чагарників обраховували згідно таблиці 1.

Таблиця 1 – Ступені оцінки декоративності дерев та чагарників

Ступінь декоратив- ності, балів	13-40	41-50	51-64	65-90
	декора- тив- ність низька	декоративність посередня	декоративність висока	декоративність дуже висока
Група декора- тивності	IV	III	II	I

Для складання формули квітки використовували загальноприйняті символічні знаки [8, 9]:

* – актиноморфна квітка;



– двостатева квітка;



– тичинкова квітка;



– маточкова квітка;

P – проста оцвітина (perigonium);

Ca – чашечка (calyx);

Co – віночок (corolla);

A – андроцей (androecium);

G – гінецей (gynoecium);

+ – елементи квітки, розташовані в декількох колах;

1...4 – кількість членів певного кола позначали цифрами;

∞ – елементів квітки більше 12 або невизначали кількість;

0 – відсутність членів у колі,

(()) – зрощення членів кола позначали дужками;

Верхню й нижню зав'язі позначали рискою над або під цифрою членів гінецея;

$G_{(5)}$ – верхня зав'язь;

$G_{(5)}$ – нижня зав'язь;

$G_{(5)}$ – напівнижня або середня зав'язь.

Опис квіток рослин, що перейшли в генеративний період розвитку здійснювали в польових умовах на колекційних ділянках та за їх фотофіксацією. Фотофіксацію квіток здійснювали фотокамерою із застосуванням режиму макрозйомки.

Чисельне значення показника успішності інтродукції – акліматизаційне число (є сумою показників росту, генеративного розвитку, зимостійкості та посухостійкості деревних рослин) обчислювали за формулою:

$$A = P \cdot v + GP \cdot v + 3M \cdot v + Ps \cdot v,$$

де P – показник росту; GP – показник генеративного розвитку; $3M$ – показник зимостійкості; Ps – показник посухостійкості; v – коефіцієнт вагомості ознаки.

Показники росту, генеративного розвитку, зимостійкості та посухостійкості оцінювали візуально за п'ятибальними шкалами. Отриманий у результаті візуальної оцінки показник множили на показник ступеня вагомості даної ознаки – коефіцієнт вагомості. Для зимостійкості його значення дорівнює 10, для розвитку – 5, для посухостійкості – 3 та для росту – 2. Ці значення коефіцієнта вагомості прийняті виходячи з числового значення даної ознаки, необхідного для успішного проходження інтродукційного процесу. Найбільше акліматизаційне число – 100; воно характеризує найвищий показник успішності інтродукції [10].

Комахозапилення вивчали за довідниками [11].

Формулу винаходу та опис до патентів щодо способів вдосконалення захисту рослин від низьких зимових температур та способів вдосконалення розмноження рослин виконували згідно «Правил складання і подання заявки на винахід та корисну модель» відповідно до Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі».

Середнє квадратичне відхилення для діапазону даних розраховувалося за допомогою стандартних функцій табличного

процесора (з допомогою Google Sheets (Google Таблиці)). А саме за допомогою формул:

$$STDEV(X_1 : X_n) \text{ або } STDE (X_1 : X_n)$$

Коефіцієнт варіації (стандартне відхилення, поділене на середнє значення, підсумовує величину варіації у відсотках або частці від загальної суми). Обраховували за формулою:

$$STDEV (X_1 : X_n) / AVERAGE (X_1 : X_n)$$

При проведенні фітохімічних досліджень жирну олію у насінні визначали за допомогою метода Сокслета, який базується на вилученні жиру з продукту розчинником, видалення розчинника й зважування сирого жиру. Жир вилучали з наважки в апараті Сокслета шляхом багаторазового екстрагування [12]. Вміст білку в ядрі визначали за методом К'ельдаля. Метод К'ельдаля базується на повному озоленні (мінералізації наважки) досліджуваного продукту в процесі нагрівання з сірчаною кислотою в присутності каталізатора. Утворений розчин $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ обробляли концентрованим лугом, для виділення аміаку, а потім відновлювали сірчаною кислотою. Масову частку білку розраховували множенням отриманої величини загального азоту на коефіцієнт 6,25, виходячи з того, що у білках у середньому міститься 16% азоту.

Макроскопічне вивчення діагностичних ознак сировини проводили на свіжому та сухому матеріалі органолептично та за допомогою лупи.

Визначення вологості сировини, проводили згідно ДФУ [13, 14]. Методи наведено у відповідних статтях нормативного документу. Розміри цільної сировини визначали за допомогою лінійки та штангенциркуля.

Амігдалін – ціаногенний глікозид із гірким смаком та характерним запахом мигдалю. При розкладі виділяє ціаністий водень, який у великих дозах може призвести до смертельного отруєння. Для контролю вмісту амігдаліну в сировині розроблені прямі та непрямі методи. Непрямими методами визначають продукти розкладання амігдаліну – ціаністий водень [15, 16] або бензальдегід [17]. Для прямого визначення амігдаліну використовують метод високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). Даний метод наведено в монографіях Європейської Фармакопеї на насіння гіркокого мигдалю [18] та гіркокого абрикосу [19]. Для напівкількісного визначення

амігдаліну ми використовували фармакопейний метод тонкошарової хроматографії метанольних витяжок із насіння. Після хроматографування платівки обробляють розчином сірчаної кислоти в метанолі і нагрівають при температурі 105 °С. Зони амігдаліну та цукрів виявляються на пластинках у вигляді коричневих плям. Для порівняння використовують амігдалін-стандарт або метанольний екстракт насіння з відомим вмістом амігдаліну. За інтенсивністю фарбування зон амігдаліну визначають його відсутність або приблизну кількість у досліджуваному зразку. На ТШХ пластинку ми наносили метанольний екстракт зразка порівняння мигдалю та різні кількості метанольного екстракту досліджуваного зразка насіння солодкого абрикосу. За результатами аналізу визначали відсутність амігдаліну на хроматограмах досліджуваного розчину солодкого абрикосу. Таким чином, методом ТШХ підтверджували результати органолептичного тестування відсутності амігдаліну в досліджуваному зразку.

Використані інформаційні джерела:

1. Указ Президента України від 11.12.2009 № 1041/2009 «Про створення Хорольського ботанічного саду». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1041/2009#Text> (дата звернення 22.01.2025 р.)
2. Красовський В. В., Козлов А. В. *Ботанічний сад у системі ландшафтно́ї забудови міста Хорол* : монографія. Полтава : Дивосвіт, 2018. 116 с.
3. Лист Міністерства освіти і науки України «Про використання джерел інформації, створених на території держави-агресора» №1/19894-24 від 25.10.2024 р.
4. Шайтан І. М., Мороз П. А., Клименко С. В. и др. Интродукция и селекция юных и плодовых растений. Киев : Наук. думка, 1983. 216 с.
5. Рахметов Д. Б. Наукові основи адаптації економічно цінних інтродуцентів та рідкісних рослин. *Адаптація інтродукованих рослин в Україні : монографія / за ред. Д.Б. Рахметова*. Київ : Фітосоціоцентр, 2017. С. 8–24.
6. Методика проведення експертизи сортів рослин групи плодових, ягідних, горіхоплідних, субтропічних та винограду на придатність до поширення в Україні : вид. 2-ге, переробл. і допов. / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 85 с.
7. Власенко А. С. Оцінка декоративності дендрозоекзотів *ex situ* Степу України. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки*. 2016. № 7 (332). С. 27–35.
8. Барна М. М. Ботаніка. Терміни. Поняття. Персоналії. Київ : Видавничий центр «Академія», 1997. С. 197.
9. Біологічний словник / за ред. І. Г. Підоплічка, К. М. Ситника, Р. В. Чаговця. Київ : Голов. ред. УРЕ, 1974. 552 с.

10. Кохно Н. А., Курдюк А. М. Теоретические основы и опыт интродукции древесных растений в Украине : монография. Киев : Наукова думка, 1994. 188 с.
11. Гусев В. И., Єрмоленко В. М., Свищук В. В., Шмиговський К. А. Атлас комах України. Київ : Рад. шк., 1962. 304 с.
12. GOST 10857. Oil seeds. Methods for determination of oil content.
13. Державна фармакопея України: в 3т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2014. Т.3. 732 с.
14. Державна Фармакопея України / Державне підприємство «Науково-експертний фармакопейний центр». 1-е вид. Доповнення 2. Харків: Державне підприємство «Науково-експертний фармакопейний центр». 2008. 620 с.
15. Pulses - Determination of glycosidic hydrocyanic acid/ ISO 2164-1975 standard
16. Chaouali, N., Gana, I., Dorra, A., Khelifi, F., Nouioui, A., Masri, W., Belwaer, I., Ghorbel, H., & Hedhili, A. (2013). Potential Toxic Levels of Cyanide in Almonds (*Prunus amygdalus*), Apricot Kernels (*Prunus armeniaca*), and Almond Syrup. *ISRN Toxicology*, 2013, 1–6. doi.org/10.1155/2013/610648.
17. Balkon, J. (1982). Methodology for the Detection and Measurement of Amygdalin in Tissues and Fluids. *Journal of Analytical Toxicology*, 6(5), 244–246. doi:10.1093/jat/6.5.244.
18. PEACH SEED / *European Pharmacopoeia 11.0*, 04/2022:297.
19. BITTER APRICOT SEED / *European Pharmacopoeia 11.0*, 04/2022:2935.

ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ГЕОГРАФІЧНОЇ ОСВІТИ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ

Олішевська Ю.А., кандидат географічних наук, доцент

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

ENVIRONMENTAL COMPONENT OF GEOGRAPHICAL EDUCATION: CURRENT CHALLENGES

Olishevskya Yu. Candidete of Geographical Sciences, Associate professor

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Анотація. Географічна освіта є основою для розуміння сучасної екологічної кризи на світовому та регіональному рівні, що спонукає до переосмислення відносин у системі «природа – людина– технології» і сприяє формуванню екологічних знань й екологічної поведінки учнів та студентів. Для України вкрай важливим питанням є підготовка молоді до завдань післявоєнного відновлення та подолання екологічних наслідків воєнних дій. У цьому контексті актуальним є екологізація природних наук, зокрема географії. Метою дослідження стало визначення екологічної складової у системі шкільних курсів географії та її наповнення у межах профільних дисциплін, що забезпечують підготовку майбутніх учителів географії на першому (бакалаврському) та другому (магістерському) рівнях вищої освіти та виділення сучасних викликів, що повстали перед вчителями ЗЗСО та викладачами вищих навчальних закладів в процесі її реалізації. Проведений аналіз навчальних програм і модельних навчальних програм Географія (6-9 класи) засвідчив значну екологічну складову, особливо у курсах 8 та 9 класів. Найменший обсяг екологічної складової виявлено у курсі Географія 11 клас (Рівень стандарту). У процесі дослідження встановлено, що навчальні дисципліни, які забезпечують підготовку майбутніх учителів географії за освітньо-професійною програмою «Географія» спеціальності 014.07 Середня освіта (Географія) першого бакалаврського рівня, мають вагомий екологічний складову в межах обов'язкових дисциплін «Основи біології та екології», «Навчальна практика з основ польових географо-краєзнавчих досліджень». Дещо фрагментарно екологічні теми представлені в обов'язкових освітніх компонентах, що забезпечують фахову географічну підготовку як на рівні бакалавру так і на магістерському рівні. Найбільш ефективними заходами щодо покращення засвоєння екологічних знань як учнівської так і студентської молоді визначено впровадження діяльнісного та проектного навчання, а також популяризація свідомого природокористування та екологічного способу життя, залучення молоді до

участі в екологічних акціях, екоквестах та інших екологічних ініціативах місцевих громад. Важливими завданням модернізації географічної освіти та зокрема екологічної складової є оновлення навчальних програм для ЗЗСО та освітніх програм підготовки майбутніх учителів географії (інтегрувати екологічні знання до всіх дисциплін природничого циклу).

Ключові слова: *географічна освіта, екологічна складова географії, шкільні курси географії, підготовка майбутніх учителів географії*

Adabstract. Geographical education is the basis for understanding the modern environmental crisis at the global and regional levels, which encourages to rethink of relationships in the «nature – human – technology» system and contributes to the formation of environmental knowledge and environmental behavior of pupils and students. For Ukraine, an extremely important issue is the preparation of young people for the tasks of post-war restoration and overcoming the environmental consequences of military operations. In this context, the greening of natural sciences, in particular geography, is relevant. The purpose of the study was to determine the environmental component in the system of school geography courses and its content within the framework of specialized disciplines that ensure the training of future geography teachers at the first (bachelor's) and second (master's) levels of higher education and to highlight modern challenges that have arisen for teachers of secondary and higher education institutions and lecturers in the process of its implementation. The analysis of the Geography (grades 6-9) curriculum and model curricula revealed a significant environmental component, especially in the courses of grades 8 and 9. The smallest amount of the environmental component was noted in the Geography 11th grade course (Standard level). The study found that the disciplines that provide training for future geography teachers in the educational and professional programme «Geography» of the specialty 014.07 Secondary Education (Geography) of the first bachelor's level have a significant environmental component within the compulsory disciplines «Fundamentals of Biology and Ecology», «Training practice in the basics of field geographical and local history research». Environmental topics are somewhat fragmented in the mandatory educational components that provide professional geographical training at both the bachelor's and master's levels. The most effective measures to improve the acquisition of environmental knowledge by both pupils and students are the introduction of activity-based and project-based learning, as well as the promotion of conscious environmental management and an ecological lifestyle, and the involvement of young people in environmental campaigns, eco-quests and other environmental initiatives of local communities. An important task of modernising geographical education, and in particular its environmental component, is to update school curricula and educational programmes for future geography teachers (to integrate environmental knowledge into all disciplines of the natural sciences).

Keywords: *geographical education, environmental component of geography, school geography courses, training of future geography teachers*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю визначення можливостей впровадження екологічної освіти під час викладання

географії у закладах загальної середньої освіти (ЗЗСО) та підготовки майбутніх вчителів географії у закладах вищої освіти (ЗВО). У наш час надзвичайно гостро постала потреба у зміні ставлення до природи та гармонійного співіснування людства. Необхідні нові знання та система цінностей, що сприятимуть формуванню адекватного сприйняття й розуміння природних і соціальних процесів дійсності. Екологічна освіта й виховання мають охоплювати всі вікові категорії, оскільки є потреба у зростанні вимог до рівня сформованості екологічної компетентності та культури громадян України в контексті підготовки молоді до розв'язання завдань післявоєнного відновлення та подолання наслідків воєнних дій. Виходячи із мети дослідження важливо проаналізувати потенціал географічних курсів у ЗЗСО щодо наявності в них екологічної складової та можливостей її доповнення, адже екологічне мислення й формування екологічної культури є пріоритетним завданням освіти на сьогодні. Зрозуміло, що після закінчення війни подолання екологічних наслідків стане одним із пріоритетних завдань протягом тривалого часу, можливо десятиліть.

Екологічна складова географічної освіти дає можливість вчителям географії ЗЗСО показати причинно-наслідкові зв'язки в системі «природа – людина – технології» та залучити учнів до екологічної діяльності доступними засобами географічних досліджень. Особливо актуальним є формування здатності практичного застосування знань та вміння вирішувати сучасні виклики й проблемні ситуації, щодо поведінки в складних безпекових та еколого-небезпечних ситуаціях.

Мета дослідження – визначення екологічної складової у системі шкільних курсів географії ЗЗСО та її наповнення в межах профільних дисциплін, що забезпечують підготовку майбутніх учителів географії на першому (бакалаврському) та другому (магістерському) рівнях вищої освіти й виділення сучасних викликів, що постали перед учителями ЗЗСО та викладачами ЗВО в процесі її реалізації.

У зв'язку з цим, необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз навчальної програми з географії 6-9 класів для ЗЗСО та модельних навчальних програм 6-9 класи для ЗЗСО та визначення тем екологічного характеру;
- аналіз освітніх програм підготовки майбутніх вчителів географії на першому (бакалаврському) та другому (магістерському) рівнях вищої освіти на базі географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;
- визначити сучасні виклики, що повстали перед географічною освітою;
- запропонувати рішення щодо модернізації географічної освіти.

Основою для дослідження слугували навчальна програма Географія (6-9 класи) [8] та модельні навчальні програми Географія (6-9 класи) для ЗЗСО [5, 6] і навчальна програма Географія 10-11 клас. Рівень стандарту [7], а також освітньо-професійна програма підготовки майбутніх учителів географії першого (бакалаврського) рівня та освітньо-наукова програма другого (магістерського) рівня вищої освіти, що забезпечують підготовку студентів спеціальності 014.07 Середня освіта (Географія) на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

У процесі дослідження було використано методи аналізу навчальних програм для ЗЗСО та освітніх програм підготовки майбутніх вчителів географії, а також порівняльно-аналітичний метод, аналіз інформаційних джерел стосовно теми дослідження та нормативних актів і законів України у сфері базової середньої та вищої освіти. Для визначення можливостей розширення екологічної складової шкільних курсів географії було використано методи синтезу й узагальнення.

Сучасна географічна освіта охоплює цілий комплекс як галузевих дисциплін так і педагогічних та суспільних. Екологізація географічної науки має тривалу історію [1] й висвітлена в наукових розробках В. Барановського, П. Шищенко О. Непші, Л. Котик, Р. Ганиша та ін.

Упродовж тривалого часу відбуваються зміни змістовної частини курсів географія, біологія та екологія у ЗЗСО. Одним із суттєвих недоліків використання екологічної складової в навчальному процесі, на нашу думку, є виключення навчальної дисципліни «Екологія» із 6-9 класів та представлення її лише в інтегрованому курсі «Біологія і екологія» для профільної школи 10111 класів ЗЗСО. Крім того, кількість навчальних годин впливає на фрагментарне включення екологічної складової до шкільних курсів географії у 6-11 класах.

Упровадження екологічної складової в окремих курсах географії в першу чергу залежить від майстерності вчителя та вміння обирати найбільш ефективні методики викладання екологічних тем і впровадження діяльнісного підходу. Формування екологічних знань у курсах шкільної географії відбувається як під час урочної форми навчання, так і в позаурочний час. Особливо ефективними є краєзнавчі екскурсії та впровадження проектного навчання на основі краєзнавчого матеріалу [10]. Поглиблення екологічних знань відбувається в процесі участі школярів у різноманітних заходах екологічного спрямування, зокрема, екологічних акціях, польових дослідженнях, предметних тижнях із географії та біології, озелененні території ЗЗСО.

В Україні діє Закон «Про освіту» [13], що передбачає формування

11 компетенцій із-поміж яких й екологічну компетенцію учнів, а також Державний стандарт базової і повної загальної освіти (Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11. 2011р. №462). Важливість екологічної складової у сучасній освіті підкреслено в Концепції Нової української школи (2016р.).

Формування екологічної компетентності учнів на уроках географії розглянуто в роботах Т. Назаренко (2017), І. Добинди та А. Денчиля (2022), роль шкільних курсів географії у формуванні екологічної культури та світогляду висвітлено в працях О. Корнуса, А. Корнуса, В. Мовчана (2016), О. Непші й С. Гришко (2020), та ін. Однак, не вистачає досліджень стосовно представлення екологічної складової в оновлених навчальних програмах із географії для ЗЗСО та можливостей її розширення, а також фактично поза увагою залишилися питання готовності майбутніх учителів географії до формування екологічної культури та свідомості учнів засобами географії.

Згідно із Законом України «Про освіту» 2017р. № 2145-VIII у статті 12 виокремлюють екологічну компетентність. Вона полягає у формуванні наукового світогляду, здатності та готовності застосовувати відповідний комплекс наукових знань і навичок для пояснення світу природи, набуття досвіду дослідження навколишнього середовища й формулювання достовірних висновків на основі отриманої інформації, розуміння змін, зумовлених людською діяльністю та відповідальності за наслідки такої діяльності. Як бачимо, ця компетентність охоплює освоєння екологічної складової географічних знань і пов'язана з дослідженням навколишнього середовища, тому варто проаналізувати наявність екологічної складової в межах навчальних та модельних навчальних програм курсу «Географія 6-9 класи» для закладів загальної середньої освіти.

На основі аналізу навчальних програм шкільних курсів географії у ЗЗСО встановлено, що перші відомості про взаємодію природи та людини учні отримують під час вивчення природознавства, а пізніше – на уроках із «Загальної географії» у 6 класі [8]. В процесі вивчення складових географічної оболонки важливо звертати увагу на раціональне використання природних ресурсів і вплив техногенної діяльності на сучасний стан складових географічної оболонки. Варто зробити акцент на проблемах видобутку корисних копалин як у світі, так і в межах локальної території (на основі краєзнавчого матеріалу) відповідно до місцезнаходження закладу освіти. Під час вивчення теми «Атмосфера» посилити екологічну складову доречно питаннями про забруднення атмосферного повітря та прояви його наслідків на території області чи конкретного населеного пункту. Варто звернути

увагу школярів на негативні наслідки спалювання опалого листя чи стерні на присадибних ділянках. На протидію негативним тенденціям необхідно підкреслити важливість озеленення міст і висадження дерев, наприклад, на території школи. Екологічна складова також присутня в темах «Гідросфера» та «Біосфера». Під час опанування цих тем варто використати проєктну роботу на основі краєзнавчого матеріалу із врахуванням сучасних змін. Доречним є проведення навчальної екскурсії.

Під час опанування курсу «Географія материків та океанів» у 7 класі відбувається впровадження екологічної складової у межах вивчення тем «Рельєф Землі», «Атмосфера і клімат Землі». У процесі дослідження окремих материків розглядають питання зміни природи материка внаслідок діяльності людини, особливо в результаті господарського освоєння території. На основі знань, здобутих у попередньому класі, учні вже встановлюють причинно-наслідкові зв'язки на регіональному та планетарному рівні. Екологічна складова найбільш об'ємна в такій підтемі до кожного розділу як «Вплив людини на природу материків та океанів», що спрямована на визначення основних напрямів використання природних комплексів материка й передбачає оцінку екологічного стану природних зон материка чи окремих регіонів, розглядаються наслідки втручання людиною в природні комплекси окремих країн. Екологічна складова також присутня в розділах, що присвячені розгляду найвідоміших об'єктів, віднесених до Світової природної спадщини ЮНЕСКО в окремих державах, значенні міжнародної співпраці у сфері природоохоронної діяльності. Впродовж засвоєння знань у 7 класі фактично в учнів формується цілісна картина світу та розуміння екологічної відповідальності кожного в процесі збереження довкілля як на локальному, так і на національному й міжнародному рівнях.

У 8 класі вивчають «Україна у світі: природа, населення». Екологічна складова присутня в темі «Рельєф, тектонічна та геологічна будова, мінеральні ресурси», де передбачено розгляд проблем раціонального використання мінеральних ресурсів. Під час вивчення теми варто запропонувати учням підготувати проєкт стосовно дослідження проблем регіону в результаті розвитку гірничо-видобувної промисловості, активно використовуючи краєзнавчі матеріали місцевих бібліотек, архівів та ін.

Під час вивчення теми «Клімат і кліматичні ресурси» варто акцентувати уваги на впливі погодно-кліматичних умов на здоров'я населення. Екологічна складова в межах теми дозволяє сформулювати розуміння того, що здоров'я є найвищою цінністю кожної людини й

суспільною цінністю. Варто використати навчальні екскурсії та залучити учнів до проведення польових досліджень під час опанування тем «Води суходолу і водні ресурси», «Ґрунти та ґрунтові ресурси», «Рослинність» для формування безпечної поведінки в навколишньому середовищі та в екстремальних умовах. Об'ємна екологічна складова міститься у темі «Червона та Зелена книги України», «Рослинні ресурси, їх охорона і відтворення», «Природокористування». Ознайомлення з ґрунтами й рослинністю своєї місцевості, визначення наслідків впливу господарської діяльності на їх стан, скорочення біологічного різноманіття видів рослин, визначення джерел забруднення ґрунтів і вивчення заходів щодо їх відновлення сприятиме формуванню стійких екологічних знань та усвідомленню необхідності раціонального використання ресурсів, а також важливості дотримання основних правил екологічної поведінки кожним громадянином України.

Тема «Природокористування» містить екологічну складову у вигляді питань стосовно використання природно-ресурсного потенціалу України, основних видів забруднення довкілля та впливу екологічної ситуації на життєдіяльність і здоров'я населення, основних заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, зокрема природоохоронної діяльності. У темі «Населення України та світу» потужним екологічним змістом наповнена інформація щодо тривалості життя населення й основних чинників, що на неї впливають.

Розділ «Природа та населення свого адміністративного регіону» власне дозволяє закріпити екологічні знання в процесі практичного вирішення проблемних питань щодо особливостей природокористування регіону, або ж конкретно свого населеного пункту, стану довкілля в цілому чи окремих його складових. Програмний матеріал курсу географії у 8 класі є одним із найбільш сприятливих для впровадження діяльнісного та дослідницького методів, що забезпечать опанування екологічної складової географічних знань як під час уроків так і в позаурочний час.

У 9 класі курс географії «Україна і світове господарство» подібно до попереднього курсу має потужну екологічну складову, фактично у межах усіх п'ятьох розділів, що поступово розкривають особливості розвитку галузей промисловості та їх вплив на стан довкілля, здоров'я населення та його життєдіяльність. Виключну екологічну спрямованість має розділ «Глобальні проблеми людства», що розкриває екологічні проблеми в розрізі окремих країн та регіонів, ознайомлює учнів зі стратегією сталого розвитку й передбачає дослідження глобальних проблем у межах регіону проживання учнів.

Відповідно до навчальної програми Географія 10-11 клас.

Рівень стандарту [7]. Курс географії в 10 класі «Географія: регіони та країни» у розділі «Україна в міжнародному просторі» передбачено ознайомлення із участю України в процесах європейської економічної інтеграції та реалізації стратегії сталого розвитку. Курс географії в 11 класі «Географічний простір Землі» вивчають протягом 35 годин (1 год. на тиждень), що недостатньо для повноцінного змістовного наповнення не лише екологічною складовою, а й географічною. Курс передбачає узагальнення раніше засвоєних знань про основні закономірності будови й розвитку географічної оболонки та особливості природокористування і його наслідки в розрізі окремих регіонів з метою забезпечення сталого розвитку.

Отже, як бачимо у межах шкільних курсів географії у 6-9 класах ЗЗСО екологічна складова достатньо сильно представлена. У межах профільної освіти 10-11 класів курси географії мають відчутний дефіцит екологічної складової та в цілому недостатній, на нашу думку, обсяг навчальних годин.

Наступним етапом нашого дослідження було проведення аналізу наявності екологічної складової у межах модельних навчальних програм курсу «Географія 6-9 класи» для закладів загальної середньої освіти, що були рекомендовані МОН України у 2021 та 2022 роках [5, 6]. На сьогодні використовують дві модельні навчальні програми «Географія 6-9 класи», що входять до природничої галузі. Розпочнемо аналіз із модельної програми, розробленої колективом авторів Запотоцький С.П., Карпюк Г.І., Гладковський Р.В., Довгань А.І., Совенко В.В., Даценко Л.М., Назаренко Т.Г., Гільберг Т.Г., Савчук І.Г., Нікитчук А.В., Яценко В.С., Довгань Г.Д., Грома В.Д., Горовий О.В. У 6 класі курс «Географія» охоплює два розділи. Другий розділ спрямований на засвоєння знань про оболонки Землі. Екологічна складова присутня у всіх темах розділу, однак найбільше представлена у темах «Атмосфера», «Гідросфера», «Біосфера та ґрунти», «Природні комплекси» та «Антропосфера».

У 7 класі курс «Географія» охоплює чотири розділи. Екологічна складова представлена у розділах 2-4 «Головні закономірності формування природи материків та океанів», «Природа материків», «Природа океанів». Важливо сформулювати розуміння взаємовпливу між людиною та навколишнім середовищем, негативними наслідками освоєння території окремих материків і використанням акваторії Світового океану.

У 8 класі курс «Географія» сформований із 4 розділів, екологічна складова представлена у розділах «Природа України» та «Природокористування». Найбільше можливостей для реалізації

завдань екологічної освіти й формування стійких знань щодо впливу людської діяльності на окремі регіони України та країни в цілому передбачено в розділі «Природокористування». Під час вивчення теми «Природні ресурси як чинник суспільного розвитку» варто використати краєзнавчий матеріал і більше уваги надати дослідженням наслідків використання ресурсів на локальній території.

У 9 класі «Географія» охоплює теми «Просторова організація виробництва первинного сектору економіки» та «Просторова організація вторинного сектору економіки», що дозволяють впровадити екологічну складову шляхом формування екологічних знань щодо впливу окремих підприємств первинного та вторинного секторів на стан довкілля регіону та окремих населених пунктів. Крім того, екологічна складова присутня в розділі «Регіони і країни», що дозволяє поглибити вже раніше отримані знання, деталізуючи їх на регіональному рівні, зокрема під час вивчення тем «Америка», «Азія», «Африка» та «Європа».

Подібна структура шкільних курсів передбачена в модельній навчальній програмі «Географія 6-9 класи» для закладів загальної середньої освіти (автори Кобернік С.Г, Коваленко Р.Р, Гільберг Т.Г., Дашенко Л.М) щоправда є невеликі відмінності в назві курсів. У 6 класі в курсі «Планета Земля» екологічний компонент представлений у розділі 3 «Оболонки Землі».

У 7 класі вивчають курс «Материків та океанів», що передбачає реалізацію екологічної складової під час опанування тем «Закономірності формування природи материків» та «Закономірності формування природи океанів».

У 8 класі викладають курс «Україна у світі: природа, населення». Найбільший потенціал для реалізації екологічної складової знань мають розділи «Географічний простір України» та «Природа та населення краю». Саме під час вивчення вказаних тем варто використати позаурочні форми навчання такі, як спостереження за природою під час природничих екскурсій і виконання групових проєктів стосовно стану довкілля або ж окремих його компонентів на території окремого адміністративного району чи населеного пункту.

У 9 класі курс «Україна у світовій економіці» передбачено п'ять розділів. На відміну від попередньої програми, додано розділ «Глобальні проблеми людства», що безпосередньо формує екологічну складову географічних знань учнів. Крім того, тут також вивчають сектори економіки України, де є можливість для реалізації екологічних знань та умінь.

Отже, як видно зі здійсненого дослідження, шкільні курси

географії, особливо у 8 та 9 класах ЗЗСО, містять досить вагому екологічну складову й потребують високої педагогічної компетентності вчителя організувати активну пізнавальну та дослідницьку діяльність учнів, щоб забезпечити стійке засвоєння екологічних знань, вміння встановлювати причинно-наслідкові зв'язки екологічних проблем і сформувати екологічну свідомість учнів, що дозволить усвідомити особисту відповідальність та вміння проектувати й прогнозувати екологічні наслідки власної поведінки та наслідки людської діяльності в регіональному та національному контекстах. Зрозуміло, що особистісна зацікавленість у саморозвитку вчителя та його професійні навички безпосередньо впливають на усвідомлення важливості екологічних знань та екологічної компетентності майбутніх поколінь. Саме тому, досліджуючи екологічну складову географічних курсів, важливо проаналізувати фахову підготовку майбутніх учителів географії. В межах даного дослідження ми зосередилися на аналізі освітньо-професійних програм спеціальності 014.07 Середня освіта (Географія) освітніх рівнів бакалавр та магістр, що забезпечують підготовку майбутніх вчителів географії ЗЗСО на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

У процесі аналізу освітньо-професійної програми «Географія» рівня бакалавр редакції 2024 року [12] встановлено, що екологічна складова представлена в різному ступені в межах значної частини обов'язкових та вибірових компонент, однак найбільш об'ємний зміст екологічної складової містять такі обов'язкові дисципліни як «Основи біології та екології», «Навчальна практика з основ польових географо-краєзнавчих досліджень». Дещо фрагментарно екологічні теми включені до обов'язкових освітніх компонент, що забезпечують саме фахову географічну підготовку: «Основи метеорології», «Фізична географія України», «Соціально-економічна географія України», «Географія материків та океанів», «Географія країни та регіони», «Дослідження рельєфу та геологічної будови», «Основи гідрології та океанології», «Географічні дослідження ґрунтового-рослинного покриву». Щодо наповненості вибірових компонент темами екологічного характеру, варто вказати, що на сьогодні відбувається підготовка за такими вибіровими блоками професійного спрямування як «Організація туристично-краєзнавчої діяльності в ЗЗСО» та «Організація освітньої діяльності в закладах освіти». В межах вибірового блоку «Організація туристично-краєзнавчої діяльності в ЗЗСО» екологічна складова найкраще представлена у вибірових компонентах «Заповідна справа», «Географія природної спадщини»,

«Основи медичної географії», «Основи ландшафтознавства», «Глобальні проблеми людства».

У вибіркового блоці «Організація освітньої діяльності в закладах освіти» екологічна складова міститься у темах вибірових компонент таких як: «Природничі екскурсії з основами організації шкільних подорожей», «Природничі і культурна спадщина», «Медична географія з основами соціальної екології», «Організація природоохоронної діяльності», «Екологічні проблеми людства».

Проаналізувавши освітньо-наукову програму «Географія» рівня вищої освіти магістр, спеціальності 014 Середня освіта [11], було визначено, що екологічна складова присутня в наступних обов'язкових компонентах програми: «Сучасна географічна картина світу. Україна у сучасному світі», «Geographical Foundations of Sustainable Development. Sustainable geographical education/ Географічні основи сталого розвитку. Сталий розвиток географічної освіти». Щодо вибірових блоків освітньо-наукової програми варто відмітити, що екологічна складова присутня досить фрагментарно в межах таких вибірових компонент, як «Організація шкільної географічно-краєзнавчої науково-дослідної роботи» та «Методика проведення шкільних географічних екскурсій». Отже, можна відмітити досить високий рівень наповненості екологічної складової географічних дисциплін, які забезпечують фахову підготовку майбутніх учителів географії ЗЗСО першого освітнього рівня бакалавр. Значно меншою мірою екологічна складова представлена в обов'язкових та вибірових компонентах освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня, що зумовлено насамперед меншою тривалістю підготовки. Важливою умовою формування професійної компетенції майбутніх учителів географії та особливої її складової – екологічної компетенції – є забезпечення вмотивованого використання завдань екологічного спрямування не лише під час опанування фахових природничих дисциплін, але й вміння розробляти різноманітні завдання екологічного характеру й дослідницькі проекти природничої та соціально-економічної складової природних комплексів для потенційних учнів. Такі навички можливо розвивати в першу чергу під час проходження педагогічних практик, зокрема «Педагогічна практика з організації роботи вчителя», «Педагогічна практика з основ навчання географії» та «Педагогічна практика з організації позашкільної роботи» на освітньому рівні бакалавр та «Педагогічна практика» й «Асистентська практики» на освітньому рівні магістра.

Географічна освіта в Україні сьогодні стикається з рядом викликів, зокрема:

- вдосконаленням змісту географічної освіти та розширенням екологічної складової;
- необхідністю підвищення рівня екологічної культури та свідомості громадян;
- недостатньою інтеграцією екологічної складової у шкільну та вищу географічну освіту;
- недостатнім впровадженням інноваційних методів викладання географії та експериментальних досліджень;
- відсутністю стимулів для професійного розвитку та неформального навчання;
- нестачею освітніх ініціатив із трансформації екологічного мислення та формування екологічної компетентності в контексті подолання екологічних наслідків війни;
- недостатнім висвітленням проблем післявоєнного відновлення територій та вирішення питань забруднення довкілля;
- обмеженістю впровадження екскурсійних методів дослідження довкілля для учнівської молоді на значній частині території України, що пов'язано з безпековою ситуацією в державі та воєнними діями.

Важливими рішеннями на шляху модернізації географічної освіти й екологічної складової зокрема є :

- оновлення навчальних програм для ЗЗСО та освітніх програм підготовки майбутніх учителів географії (інтегрувати екологічні знання до всіх дисциплін природничого циклу);
- популяризація свідомого природокористування та екологічного способу життя;
- розроблення та впровадження екологічних ініціатив, залучення учнів й студентів до екологічних заходів та акцій;
- більш масштабне провадження дослідницької діяльності та реалізація екологічних проєктів під час опанування шкільних курсів географії.

Сьогодні, як ніколи, географічна освіта учнівської та студентської молоді потребує наповнення екологічною складовою всіх природничих курсів з метою забезпечення основних вимог Державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти та пріоритетних завдань фахової підготовки майбутніх учителів географії. Загальна цінність географічної освіти полягає у безперервності формування світоглядного розуміння природи Землі та ощадливого ставлення до неї, а також формуванні загальнолюдських якостей.

Використані інформаційні джерела:

1. Барановський В., Шищенко П. Екологічна географія – новий науковий напрям сучасної географії. *Теоретичні та методичні засади екологічної географії. Наукові записки.* 2004. № 2. С. 3–9.

2.Добинда І., Денчиля А. Екологічна компетенція як обов'язкова складова географічної освіти та приклади її застосування у Хустському районі Закарпатської області. *Науковий вісник Чернівецького університету : Географія*. 2022. №82. С. 37–42 <https://doi.org/10.31861/geo.2020.826.37-42>

3.Екологічна компетентність учителя Нової української школи. Навчально–методичний посібник в таблицях і схемах / упоряд. О. В. Коваль, І. О. Погасій. Чернігів : НУЧК імені Т.Г. Шевченка, 2019. 40 с.

4.Корнус О. Г. Корнус А. О., Мовчан В. В. Роль шкільної географії у формуванні екологічної свідомості учнів *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія Екологія*. 2016. Вип. 1. С. 99–110.

5.Модельна навчальна програма Географія 6-9 класи (Кобернік С. Г., Коваленко Р. Р, Гільберг Т. Г., Даценко Л. М.). Рекомендовано МОН України від 09.02.2022 №143 URL <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/Navchalni.prohramy/2021/14.07/Model.navych.prohr.5-9.klas.NUSH-poetap.z.2022/Prirod.osv.galuz/Neohrafiya/Neohrafiya.6-9%20kl.Kobernik.ta.in.06.05.22.pdf> (дата звернення 19.02.2025)

6. Модельна навчальна програма Географії 6-9 класи (Запотоцький С. П., Карпюк Г. І., Гладковський Р. В., Довгань А. І., Совенко В. В., Даценко Л. М., Назаренко Т. Г., Гільберг Т. Г., Савчук І. Г., Нікітчук А. В., Яценко В. С., Довгань Г. Д., Грома В. Д., Горовий О. В). Рекомендовано МОН України від 11.04.2022 №324 URL <https://imzo.gov.ua/model-ni-navchalni-prohramy/pryrodnycha-osvitnia-haluz/> (дата звернення 19.02.2025)

7.Навчальна програма для закладів загальної середньої освіти. Географія 10-11 класи (Рівень стандарту). Рекомендовано МОН України від 03.08.2022 р. № 698.

URL <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2022/08/15/navchalna.programa-2022.geography-10-11-standart.pdf> (дата звернення 19.02.2025)

8. Навчальна програма для закладів загальної середньої освіти. Географія 6-9 класи. Рекомендовано МОН України від 03.08.2022 №698

URL <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/programy-5-9-klas/2022/08/15/navchalna.programa-2022.geography-6-9.pdf> (дата звернення 19.02.2025)

9.Назаренко Т. Г. Формування в учнів екологічної компетентності на уроках географії. *Український педагогічний журнал*. 2017. Вип. 1. С. 59–65.

10.Олішевська Ю.А. Шкільне географічне краєзнавство : навч. посіб. Київ : Видавець Кравченко Я. О., 2020. 175 с.

11. Освітньо-наукова програма Географія. Другий рівень вищої освіти URL [onp-geografiya.014-osvita magistr red-2023-1-1.pdf](https://onp-geografiya.014-osvita.magistr.red-2023-1-1.pdf)

12. Освітньо-професійна програма Географія. Перший рівень вищої освіти. URL https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/11/bachelor_education_geo_2024_with_addition_so_geografiya.pdf (дата звернення: 19.02.2025).

13. Про освіту : Закон України від 05.09.2017 №2145-VIII URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 19.02.20)

ПАРКОВІ КУЛЬТУРФІТОЦЕНОЗИ ПОЛТАВЩИНИ ТА ЇХ ЗБЕРЕЖЕННЯ

Федько Р. М., кандидат біологічних наук,
завідувач відділу екології і фармакогнозії

*Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і
природокористування НААН, Березоточа, Полтавська область,
Україна*

PARK CULTURAL PHYTOCENOSSES OF THE POLTAVA REGION AND THEIR PRESERVATION

Fedko R. M., candidate of Biological Sciences, Head of the
Department of Ecology and Pharmacognosy

*Research Station of the Medicinal Plants of the Institute of
Agroecology and Nature Management of the National Academy of Sciences,
p. Berezotocha, Lubensky district, Poltava region, Ukraine.*

Анотація. На формування парків Полтавщини впливали найрізноманітніші фактори - природні, економічні, соціальні, політичні або військові. Провідну роль в історії їх створення та утримання відігравали конкретні особи – землевласники, архітектори, фахівці або любителі природи. На сьогодні дендрофлора паркових культурфітоценозів Полтавщини відрізняється своєю видовою й внутрішньовидовою різноманітністю, декоративністю та віковою особливістю. Більшість екзотичних і рідкісних видів залишають за собою історичну і наукову цінність для садово-паркового будівництва. У старовинних парках окремі екземпляри інтродукованих та акліматизованих видів досягли значного віку, мають добрий розвиток, цвітуть і плодоносять. Сучасне паркове будівництво регіону використовує рослини-аборигени, декоративні інтродуценти, їх види і форми, стійкі до умов зміни клімату. Парки Полтавщини, як і більшість парків України, мають свою тривалу та пізнавальну історію. Розбудова парків на Полтавщині розпочалася з XVIII ст., що співпадало з розвитком ботанічних і агрономічних досліджень, садівництва у регіоні. В цей час створюються приватні і казенні плодові сади, міські та примаєткові парки. Основу створення парків становили дубові або ясеневі праліси, які доповнювались новими декоративними і садовими видами і формами, що носило більш стихійний характер. Фаховий підхід до паркобудівництва, акліматизація рослин, промислове садівництво, поява перших відомостей про дендрофлору парків Полтавщини прослідковується з другої половини XIX – по початок XX століть. Із другої половини XX століття розпочинається новий період паркобудівництва

на Полтавщині – відновлення парків, зруйнованих і втрачених під час Другої світової війни, створення нових осередків різноманітної культивованої дендрофлори в населених пунктах, формування міських парків. Проводиться розбудова заповідних територій регіону, найціннішим паркам присвоюється статус об'єктів природно-заповідного фонду України. Сади й парки набувають нових функцій і становлять наукову, історико-культурну, освітньо-виховну, соціально-екологічну цінність, що на початку ХХІ ст. характеризується зацікавленістю навчальних закладів у використанні парків у освітньо-виховній роботі. Це свідчить про подальші широкі можливості в паркобудівництві, зеленому будівництві й лісовому господарстві.

Ключові слова: дендрофлора, культурфитоценози, заповідні території, цінність, біорізноманіття.

Abstract. The formation of the parks of Poltava region was influenced by a variety of factors – natural, economic, social, political or military. The leading role in the history of their creation and maintenance was played by specific individuals - landowners, architects, specialists or nature lovers. Today, the dendroflora of park cultures and phytocenoses of Poltava region is distinguished by its species and intraspecific diversity, decorativeness and age-related features. Most exotic and rare species retain historical and scientific value for landscape design. In ancient parks, individual specimens of introduced and acclimatized species have reached considerable age, are well developed, bloom and bear fruit. Modern park construction in the region uses native plants, decorative introduced plants, their species and forms that are resistant to climate change. The parks of Poltava region, like most parks in Ukraine, have their own long and informative history. The development of parks in Poltava region began in the 18th century, which coincided with the development of botanical and agronomic research, and horticulture in the region. The professional approach to park construction, plant acclimatization, industrial gardening, and the appearance of the first information about the dendroflora of parks in the Poltava region can be traced from the second half of the 19th to the beginning of the 20th centuries. From the second half of the 20th century, a new period of park construction in the Poltava region began - the restoration of parks destroyed and lost during World War II, the creation of new centers of diverse cultivated dendroflora in settlements, the formation of city parks. The development of protected areas of the region is underway, the most valuable parks are assigned the status of objects of the natural reserve fund of Ukraine. Gardens and parks are acquiring new functions and are of scientific, historical and cultural, educational and educational, social and ecological value, which at the beginning of the 21st century is characterized by the interest of educational institutions in using parks in educational work. This indicates further broad opportunities in park construction, green construction and forestry.

Keywords: dendroflora, cultural phytocenoses, protected areas, value, biodiversity

Характерними показниками сучасного стану дендрофлори паркових культурфітоценозів Полтавщини є видова й внутрішньовидова різноманітність, співвідношення аборигенних та інтродукованих видів, декоративність та вікові особливості насаджень. Більшість екзотичних і рідкісних видів, що мають наукову цінність для садово-паркового будівництва, мають не достатнє поширення і представлені поодинокими екземплярами. У парковому будівництві, за умов зміни клімату, використовуються не лише рослини-аборигени, але й інтродуценти – декоративні та стійкі до міських умов види. Значна кількість інтродукованих та акліматизованих видів досягла відповідного віку, добре розвивається, цвіте й плодоносить, що свідчить про подальші можливості їх широкої культури як у паркобудівництві, так і в зеленому будівництві та лісовому господарстві.

Із метою збереження і вивчення у спеціально створених умовах різноманітних видів дерев і кущів та їх композицій, подальшої розбудови заповідних територій парковим насадженням присвоюється статус об'єктів природно-заповідного фонду України загальнодержавного та місцевого значення.

Формування парків Полтавщини має тривалу історію, на яку впливали найрізноманітніші фактори, як природні, економічні, соціальні, так і політичні чи військові. Провідну роль в історії створення парків відігравали конкретні особи – землевласники, архітектори, фахівці або любителі природи [1, 2].

Початок розбудови парків на Полтавщині співпадає з розвитком ботанічних, агрономічних досліджень і садівництва у регіоні, коли створювалися приватні і казенні плодові сади, міські та примаєткові парки, це XVIII – початок XIX століття. На базі дубових або ясеневих пралісів проводилось доповнення насаджень новими декоративними й садовими видами та формами, яке носило стихійний характер. У цей період було створено Березоворудський, Хомутецький парки, парки Стефановича та Калачевського, один із кращих ландшафтних парків України того часу – Міський парк міста Кременчука Полтавський міський сад у Полтаві (сучасний Полтавський міський парк культури та відпочинку «Перемога»).

Створення кількох великих декоративних садів і парків, дослідних лісництв і садівництв, які займались акліматизацією рослин, характеризує другу половину XIX – початок XX століття. В цей період створено у місті Полтаві Олександрівський сад (сучасний Корпусний сад), парк Петровського, який перейменовано на Шевченківський. Кінець XIX століття – це промислове садівництво в Кременчуці, розвиток Карлівського та Розсошанського лісництв,

створення цінної приватної дендрологічної колекції в селі Устимівка. На початку XX століття проводяться активні роботи щодо озеленення бульварів, вулиць, скверів міст Полтави та Кременчука, де найцінніші паркові зразки того часу збереглися й дотепер. У цей період з'являються перші відомості І. Ф. Павловського про дендрофлору парків Полтавщини та історичні нариси формування перших ботанічних садів Полтави, опис М. Астряба про історію створення Лубенського ботанічного саду [1]. Ботанічні дослідження сприяли укладанню першого списку флори Полтавської губернії впродовж 1927, 1928 років С. О. Іллічевським, який надавав значну увагу вивченню нових для Полтавщини акліматизованих рослин деревних і кущових порід [3, 4]. Наприкінці 1920-х та впродовж 1930-х років з'являються відомості про стан насаджень Устимівського дендропарку [5]. Наприкінці 1930-х років відомий дендролог О. Л. Липа розпочинає дослідження видового складу культивованої дендрофлори України включно і паркових насаджень Полтавщини [6].

Відновлення існуючих парків і скверів, які були зруйновані під час Другої світової війни й втратили значну частину цінних видів, зокрема інтродуцентів-екзотів характеризує початок другої половини XX століття. Разом із тим, у цей період цілеспрямовано й планово створювалися нові осередки різноманітної культивованої дендрофлори в населених пунктах, формувалися міські парки культури й відпочинку населення з багатим асортиментом декоративних видів. У населених пунктах за ініціативи місцевих жителів, вчителів, агрономів створювалися паркові насадження (у селах Бесідівщина, Крива Руда, Куликове та ряду інших).

Із початку 1960-х років найцінніші парки Полтавщини отримують статус територій, що охороняються в природно-заповідній мережі області, зокрема парки – пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного й місцевого значення, дендропарки, ботанічні пам'ятки природи тощо. Розпочаті роботи, спрямовані на поліпшення благоустрою населених пунктів шляхом озеленення всіх територій із використанням різноманітних стилів садово-паркової архітектури та випробовуванням нових видів і форм рослин. Наприкінці 70-х років XX століття розпочинаються фундаментальні комплексні дослідження культивованої дендрофлори України, спрямовані на виявлення й вивчення досвіду осередків інтродукції деревних рослин. Роботи здійснювалися шляхом проведення експедицій та із залученням місцевих фахівців. Вивчали видовий склад дендрофлори, структуру й стан насаджень парків Полтавщини. Сади і парки набувають нових функцій і становлять наукову, історичну і культурну цінність.

Кінець XX – початок XXI століття характеризується зацікавленістю навчальних закладів у використанні парків у освітньо-виховній роботі. На базі парків проводяться навчальні екскурсії для студентів вузів, школярів, учителів, учасників природоохоронних конференцій. Вивчення досвіду інтродукції в парках знаходить практичне використання для пошуку покращення шляхів реконструкції та впровадження нових технологій озеленення скверів, бульварів, вулиць міст, окремих закладів, приватних осель. Проводяться обстеження стану парків Полтавщини, які охороняються в природно-заповідній мережі області, де визначається наукова, історико-культурна, освітньо-виховна, соціально-екологічна цінність паркових насаджень. За результатами комплексних експедицій інвентаризації біорізноманіття природно-заповідних територій загальнодержавного значення складаються наукові характеристики парків – пам'яток садово-паркового мистецтва. За результатами проведених досліджень опубліковується ряд наукових робіт, статей, монографій.

Так, за результатами досліджень О. М. Байрак, В. М. Самородова, Т. В. Панасенко у 2007 році та літературними даними встановлено, що дендрофлора парків Полтавщини нараховує: 492 види, 127 форм, 30 гібридів, один різновид, які належать до 144 родів, 60 родин, двох відділів – відділу покритонасінних (*Magnoliophyta*) 84,2 % від загальної кількості видів, форм і гібридів і голонасінних (*Pinophyta*) – 15,8 % відповідно [1].

Станом на 2024 рік природно-заповідний фонд (ПЗФ) Полтавської області нараховує 400 територій та об'єктів загальною площею 144 180,4 га, що складає 5,01% від загальної площі області. З них 30 мають статус загальнодержавного значення: два національні природні парки, 20 заказників, одна ботанічна пам'ятка природи, один ботанічний сад, два дендрологічних парки, чотири парки – пам'ятки садово-паркового мистецтва. Кількість територій та об'єктів ПЗФ місцевого значення становить 370, з яких: п'ять – регіональні ландшафтні парки, 165 – заказники (58 ландшафтних, три лісових, 39 ботанічних, сім загальнозоологічних, два орнітологічних, чотири ентомологічних та 52 гідрологічних), 138 – пам'ятки природи (13 комплексних, 111 ботанічних, дві зоологічних, три гідрологічних, дев'ять геологічних), 48 заповідних урочищ, один дендрологічний парк та 13 парків – пам'яток садово-паркового мистецтва.

Проведені дослідження надали можливість обґрунтувати зміни в статуті охорони деяких парків та запропонувати до ПЗФ включити нові парки, серед яких два старовинних парки. Це – парк Калачевського і парк Стефановича.

Парк Калачевського розташований у селі Рокитне Кременчуцького району. Загальна його площа – близько 12 га. Поблизу парку протікає річка Кагамлик. Статусу охорони не має. Паркові насадження створені на початку XIX ст. на власній садибі за ініціативою українського композитора М. М. Калачевського. Різноманітні деревні композиції гармонійно доповнювали ставки, скульптури, фонтани, відкриті галявини. На той час паркові насадження були створені без належної системи та врахування принципів садово-паркового будівництва. В кінці 90-х років XX ст. за ініціативою місцевих жителів парк поповнився красивоквітучими декоративними кущами, хвойними рослинами. Сучасний видовий склад дендрофлори парку нараховує 32 види дерев і кущів, які належать до 24 родів 19 родин. Серед них – чотири види голонасінної флори. Основу парку складають такі види: *Acer platanoides* L., *A. campestre* L., *Quercus robur* L. та ін. Спостерігається ландшафтна та таксономічна деградація, загушення насаджень парку, забур'янення території та антропогенне навантаження. На території парку необхідно провести санітарно-ландшафтні рубки, на передньому плані висадити декоративні види дерев і кущів у вигляді солітерів.

Парк Калачевського вважається важливим рекреаційним об'єкт сільської місцевості, має цінне культурно-історичне, просвітницьке й наукове значення, на його території зростає віковий екземпляр сосни кримської.

Із метою збереження його історичного спадку та для відновлення різноманіття дендрофлори парку доцільно надати статус ботанічної пам'ятки природи місцевого значення.

Парк Стефановича розташований у селі Стефанівщина Миргородського (колишнього Великобагачанського) району на площі біля 14 га. Парк створений на початку XIX століття на садибі та під керівництвом барона Д. Я. Стефановича. Маєток до наших часів не зберігся, але наукову й історичну цінність парку складають вікові дерева *Quercus robur*, *Tilia cordata* Miil., *Aesculus hippocastanum* L., *Pinus nigra* J. F. Amold., вік яких сягає понад 150 років. Уперше флористичні дослідження на території парку Стефановича були проведені у 2005 році науковцями кафедри екології та охорони довкілля Полтавського державного педагогічного університету імені В. Г. Короленка Н. О. Стецюк та Т. В. Панасенко. Видовий склад дендрофлори парку Стефановича на той час нараховував 22 види дерев і кущів, які належать до 17 родів і 13 родин. Основу деревостану складають покритонасінні деревні рослини, серед яких переважають види природної флори широколистяних лісів: *Quercus robur*, *Acer*

platanoides L., *A. campestre* L., *Fraxinus excelsior* L. та інші. Парк Д. Я. Стефановича має важливе історико-пізнавальне та культурно-виховне значення, тому рекомендується його заповідувати з наданням статусу ботанічної пам'ятки природи місцевого значення.

Перспективним для охорони також є парк Полтавського державного аграрного університету, що у місті Полтаві по вулиці Сковороди. Площа парку становить 4,5 га. Створення парку розпочалося навесні 1945 року з насадження алеї дерев *Populus pyramidalis* L. Rozier) (*P. nigra* var. *pyramidalis* Spach.). Поступово, з відбудовою навчальних корпусів, закладалися алеї, висаджувалися дерева, деякі з них символізували певні події. З міркувань колишнього ректора Полтавської державної академії М. І. Добровольського, висаджена на початку 1960-х дендрофлора парку сприяла навчальному процесу з багатьох природничих дисциплін, крім функціональності, мала нести естетичний вплив. Понад 15 років під його керівництвом проходило насичення парку різноманітними деревами і кущами.

Сучасний склад дендрофлори паркового насадження нараховує 105 видів і форм, серед яких покритонасінних 73 види і форми із 58 родів та 32 види і форми 13 родів голонасінних. За показниками культурно-історичної, наукової, навчально-виховної, просвітницької, естетичної й рекреаційної цінності та відповідно до утримання в належному стані є підстави рекомендувати заповідувати парк Полтавського державного аграрного університету в статусі парк – пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення.

Полтавщина характеризується високим потенціалом рекреаційно-оздоровчих ресурсів. Санаторії та оздоровчі заклади у багатьох районах регіону досліджень розбудовані в зелених зонах річкових басейнів, де природні листяні ліси або штучні соснові насадження підвищують санітарно-гігієнічні показники ландшафту. Серед таких вказуємо й парк санаторію ім. М. Гоголя у місті Миргороді загальною площею 18,0 га, що знаходиться у підпорядкуванні Південної залізниці Міністерства транспорту України.

Парк закладено у 1981 р. разом із відкриттям санаторію. Було висаджено біля 1000 дерев і кущів 60 видів і форм, які отримано в основному з розсадників Південної залізниці. Рельєф парку, в основному, рівнинний, із південного сходу має схил до річки Хорол. При формуванні паркових насаджень у регулярному стилі, територія санаторію була розділена на ділянки, які з'єднані системою доріжок і алей. Перші посадки проводились у партерній частині санаторію, де знаходяться лікувальний, адміністративний та житлові корпуси. Дерев та кущі висаджувалися як окремими групами, так і солітерами. На

вільних від дерев ділянках розташовано клумби з декоративними трав'янистими рослинами, майданчики для відпочинку, газони, створено відкриті і закриті галявини, малі архітектурні споруди та композиції із стрижених форм деревних видів у вигляді живоплотів, бордюр, вертикального озеленення.

Шляхом маршрутних обстежень, проведенням детальної інвентаризації методом суцільного перерахунку деревно-кущових видів і таксаційної оцінки дендрофлори, визначення структури та віку деревостану встановлено, що сучасний видовий склад дерев і кущів паркового насадження нараховує 76 видів та форм, серед яких переважна більшість належить до відділу *Magnoliophyta* – 57 видів, до відділу *Pinophyta* – 19 видів і форм.

Високими декоративними й лікувально-профілактичними властивостями характеризуються групові і солітерні насадження *Juniperus communis* L. і *J. virginiana* L. В основі планування насаджень парку переважає принцип створення деревних груп, які складаються з одного або декількох видів. Серед листяних порід найбільша частка належить представникам родин *Aceraceae*, *Tiliaceae*, *Hippocastanaceae*. Алеїні насадження, в основному, представлені такими видами: *Thuja occidentalis* L. 'Columna', *Juniperus communis*, *Tilia cordata*, *Acer saccharinum* L. Особливу увагу привертають поодинокі висаджені хвойні види *Picea pungens* Engelm. 'Glauca', 'Argentea' *Thuja occidentalis* L. 'Aureo-spicata', 'Wareana', *Juniperus pseudosabina* F. et M. різних форм, *Juniperus squamata* Lamb., реліктові дерева *Ginkgo biloba* L. і гарноквітучі листяні кущі *Forsythia intermedia* Zab., *Spiraea bumalda* Burv., *Weigela florida* (Bge.) A. DC.

На деяких ділянках парку застосовується топіарне мистецтво як для листяних, так і для хвойних видів. Уздовж доріжок розміщуються стрижені живоплоти з фітонцидною дією (*Thuja occidentalis* L.) і вільно ростучі (*Thuja occidentalis* L. 'Columna'). Завданням таких ділянок є як створення незабутніх місць відпочинку, ознайомлення відпочиваючих із різними елементами садово-паркового мистецтва, так і для потреб оздоровлення, відновлення фізичного й психоемоційного стану. Наукову цінність парку визначає участь як листяних, так і шпилькових рослин, вік яких складає більше 30 років.

Із метою подальшого розвитку парку санаторію ім. М. Гоголя запропоновано шляхи збереження та розбудови паркових насаджень. Під час виконання дендрологічно-таксаційних обстежень насаджень парку санаторію ім. М. Гоголя нами була надана висока загальна оцінка цінності зелених насаджень парку, і запропоновано оголосити насадження парку як об'єкта заповідання, зокрема в статусі парку –

пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення.

Кременчук – велике індустріальне місто, яке визначається також своїми зеленими зонами, скверами та парками, серед яких Міський парк культури «Придніпровський», Парк «Студентський», Міський сад (парк Залізничників із 1924 по 1997) – найстаріший парк міста Кременчук, один із найстаріших парків України, заснований у 1787 році за ініціативою Григорія Потьомкіна за проєктом англійця Вільяма Гульда, Парк «Слави», Парк Війнів- інтернаціоналістів та інші. Наразі готуються документи щодо внесення Парку Миру до переліку пам'яток історії та архітектури Кременчука.

Парк Миру закладено 1983 року на честь 40-річниці визволення Кременчука від німецько-фашистських загарбників 1943 року. На території колишнього парку Миру під час німецької окупації було створено Єврейське гетто, в роки німецької окупації було розстріляно понад 20 тисяч мирних жителів. На центральних алеях висаджені дерева війнами-визволителями: *Picea pungens* Engelm., *Aesculus hippocastanum*, *Pinus sylvestris* L., представники (види, сорти, гібриди, форми) родів *Crataegus*, *Spirea*, *Salix*, *Betula*, *Populus*, *Acer*, *Sorbus*, *Morus*, *Robinia*, *Juniperus* та деяких інших.

19 червня 2008 року було відкрито Меморіальний комплекс військовим з'єднанням і частинам, що відзначилися в боях за Кременчук. 28 вересня 2008 року до дня міста було відкрито Музей військової техніки. Парк є місцем проведення різноманітних фестивалів та відзначання святкових подій.

Розширення та створення нових об'єктів природно-заповідного фонду України є одним із шляхів збереження генофонду рідкісних і зникаючих рослин природної дендрофлори, збагачення рослинних ресурсів, підвищення екологічної культури широких верств населення.

Завдячуючи кропіткій роботі дендрологів – як науковців, так і практиків – на початку 2000-х років відбулося створення ряду нових парків: «Вересневий» у місті Полтава, «Зоряний» на території адміністративно-наукового центру регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський» на півдні колишнього Кобеляцького районів,, дендропарку «Ивушка» оздоровчого комплексу «Нафтохімік» Кременчуцького району. Новостворені парки відіграють вагомую рекреаційну, наукову, природоохоронну роль та є перспективними дендрологічними об'єктами в напрямі інтродукції цінних видів, оздоровчо- та еколого-просвітницької діяльності.

Ефективне використання потенційних можливостей деревних видів у паркових культурфітоценозах залежить від стійкості й життєздатності як самого виду, так і деревних угруповань, у якому він

знаходиться, чи до якого цей вид планується долучити. Останнім часом популярними стали заходи зі створення та благоустрою зелених насаджень населених пунктів з метою збереження природних комплексів, особливо тих, які мають екологічну, історичну та естетичну цінність завдяки сприятливому поєднанню природних і культурних ландшафтів. При створенні нових скверів, парків, садів, бульварів, при озелененні вулиць значна увага надається декоративності дерев і чагарників. Використовуються не лише рослини-аборигени, але й інтродуценти, які мають декоративні властивості та є стійкими до міських умов. Саме створення паркових культурфітоценозів із використання декоративної і лікарської дендрофлори є одним із основних засобів зміни природних умов цілих районів та ефективного поліпшення умов життя міських жителів.

На сьогодні виникла перспектива щодо створення дендропарку на околицях Нових Санжар, поруч із пам'яткою природи «Вовчі гори», територія якої засаджена *Syringa vulgaris* L., деревами *Sorbus aucuparia* L., *Acer platanoides* L., *Betula pendula* Ehrh. з популяцією *Stipa capillata* L., що занесена до Червоної книги України. Пам'ятка природи входить до складу природо-заповідного фонду України, де встановлюється особливий режим охорони. На вільній земельній ділянці поруч, площею 1,60 га, планується створення сучасного дендрологічного парку. Передбачається створити дендропарк, в якому буде створено колекції декоративних дерев, кущів із різних регіонів та країн. Першочергово планується висадити близько 30 дерев та 130 кущів, облаштувати зону відпочинку дерев'яними лавочками, бесідками та ліхтарями на орієнтовній площі 0,5 га. Така екозона стане новою родзинкою Новосанжарського краю. На запланованій площі передбачено висадження велико-розмірних сортових дерев із закритою кореневою системою та кущів. Для ознайомлення з деревами та кущами на території майбутнього парку знаходитимуться інформаційні таблички та стенди. Даний простір буде слугувати зоною відпочинку для внутрішньо переміщених осіб, молоді, дітей та гостей селища. За задумкою авторів, у подальшому площу дендропарку планується розширити та доповнити різноманітними трав'янистими рослинами, кущами, деревами, скориставшись консультацією досвідчених ландшафтних дизайнерів [7].

За проектом у місті Полтаві, на межі колишньої садиби видатного хірурга XIX століття Миколи Скліфосовського в мікрорайоні Яківці планується виокремити зелену зону й створити новий парк «Відрада» – як пам'ять про визнаного хірурга. За проектом рішення Полтавської міської ради, приблизно два гектари парку будуть розташовані уздовж вулиці Єднання. Метою ініціаторів створення парку є також збереження

зеленої зони від можливої забудови, окреслення меж і передачі на баланс державному підприємству «Декоративних культур» та збереження дерев вікової давнини. Нині за територією доглядають місцеві жителі, зокрема, прибирають чагарники та косять траву. Перспективи створення парку «Відрада» будуть повторно розглядатися у 2025 році на засіданнях комісії з питань містобудування та архітектури, потім – на сесії Полтавської міської ради [8].

Новим свідком озеленення сільських територій у 2025 році є створення парку у центрі села Бобрівник Тарасівського старостинського округу Зінківської міської територіальної громади. Закладання парку проводилось місцевими жителями, а посадковий матеріал, інвентар і техніка була забезпечена керівниками Гадяцького, Вельбівського та Зінківського лісництв.

Одним із останніх проєктів, реалізованих спільно із лісівниками, стало закладення парку Миру і Перемоги в Бобрівнику на честь земляків – військовослужбовців, волонтерів, медиків, які наближають нашу перемогу. Його площа становить близько 1 гектара. Роботи над формуванням парку проводитимуть і надалі. Поруч із молодими деревцями планується встановити лавки та створити квітники для приємного відпочинку й комфорту в майбутньому парку [9].

Таким чином, паркові насадження Полтавщини, як національне надбання держави, за різними критеріями мають історико-культурну, освітню, науково-дослідну, природоохоронну, рекреаційну цінність. Серед загальної кількості важливих дендрологічних об'єктів у структурі регіональної екомережі, більшість мають охоронний статус, але частина парків є перспективними для заповідання. Розроблення заходів та прийняття рішень щодо надання природоохоронного статусу таким об'єктам залишається актуальним питанням сьогодення.

Список інформаційних джерел:

1. Байрак О. М., Самородов В. М., Панасенко Т. М. Парки Полтавщини: історія створення, сучасний стан дендрофлори, шляхи збереження і розвитку. Полтава : Верстка, 2007. 276 с.

2. Заповідна краса Полтавщини / [Т. Л. Андрієнко, О. М. Байрак, М. І. Залудяк та ін.]. Полтава : ІВА «Астрєя», 1996. 184 с.

3. Іллічевський С. О. Акліматизовані деревні породи м. Полтави. *Тр. з с.-г. ботаніки*. Харків, 1927. Т. 1. Вип. 4/ С. 146–154.

4. Іллічевський С. О. Вплив суворої зими 1927/28 р. на акліматизовані деревні породи м. Полтави. *Вісн. природознавства*. 1928. № 5/6. С. 305.

Білик Е. В. Устимівський ботанічний садок. *Труди с.-г. ботаніки*. 1927. Т. 1. Вип. 4. С. 181–188.

5. Липа О.Л. Дендрофлора УРСР. Частина перша. Хвойні породи садів і парків УРСР (з таблицями для їх визначення). К. : Вид-во АН УРСР, 1939. 214 с.

6. <https://smartregion.pl.ua> > p...

7. Суспільне | Новини <https://suspilne.media> > 962...

8. [Np.pl.ua](https://np.pl.ua) <https://np.pl.ua> > 2025/04

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. УПРАВЛІННЯ ГЛОБАЛЬНОЮ ТА РЕГІОНАЛЬНОЮ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

Radomska M. M., Yaroshenko D. R., Osadchuk T. COMPARATIVE ANALYSIS OF PROGRESS TOWARDS SDGS FOR PERI-URBAN COMMUNITIES: SOCIAL AND ENVIRONMENTAL COMPONENT.....	6
Бурда А. Ю., Бунякіна Н. В., Смоляр Н. О., Дрючко О. Г. ҐРУНТОВІ ВОДИ КОЛОМАЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЯК ДЖЕРЕЛО ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	24
Магась Н. І., Соченінова І. О. ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА МИКОЛАЇВ.....	39
Новіцький Р. О., Кобяков Д. О. ТРАНСФОРМАЦІЯ БІОТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ГІДРОЕКОСИСТЕМИ ШОЛОХІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСТЬ) ВНАСЛІДОК РІЗНИХ ЧИННИКІВ.....	57
Сафранов Т. А., Дьяченко М. Ю. ОСОБЛИВОСТІ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ (КОРИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ) ПРИРОДНИХ СИСТЕМ ПІВНІЧНО- ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ.....	71
Степова О. В., Шара С. Ю. ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДНІПРА.....	84
Шарий Г. І., Козлов В. В. ЕКОЛОГІЯ ТА ОБОРОНА: ЕВОЛЮЦІЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПРИКОРДОННИМИ ТЕРИТОРІЯМИ ВІД АНТИЧНОСТІ ДО СУЧАСНОСТІ.....	100

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Ілляш О. Е., Бредун В. І., Серга Т. М. КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	113
--	-----

Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В. ОСНОВНІ КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД І УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ У НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ.....	135
---	-----

Тимошенко А. В., Кремньов В. О., Беляєв Г. В. Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С. ПРОБЛЕМА ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНОГО РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО СКЛАДУВАННЯ ВОЛОГОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВА ТА БІОДОБРИВ.....	146
---	-----

Усенко І. С., Усенко Д. В. КОМПЛЕКСНІ РЕСУРСООЩАДНІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ.....	157
---	-----

РОЗДІЛ III. КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ Й НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Голік Ю. С., Кутний Б. А., Серга Т. М. ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОСОРТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ЯК ЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕСУРСУ.....	170
---	-----

Кутний Б.А. ТЕПЛОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСОЦІАЦІЇ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.....	180
--	-----

РОЗДІЛ IV. БІОРІЗНОМАНІТТЯ, ЗАПОВІДНА СПРАВА, ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА

Бердін І. В., Скляр В. Г. МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК СКЛАДОВА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ ЛИСТОВОЇ ПОВЕРХНІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯШНИКА.....	194
Запотоцький С. П., Масляк П. О., Уліганець С. І., Шинкаренко У. Ю. ВІД КАТАСТРОФИ ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ: МОНІТОРИНГ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ У ЧОРНОБІЛЬСЬКОМУ РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНОМУ БІОСФЕРНОМУ ЗАПОВІДНИКУ.....	204
Красовський В. В., Шкура Т. В., Федько Р. М., Черняк Т. В., Єгоркіна С. О., Рудик А. В. МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СУБТРОПІЧНИХ ТА ПІВДЕННИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР ЗА УМОВ ХОРОЛЬСЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ.....	220
Олішевська Ю. А. ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ГЕОГРАФІЧНОЇ ОСВІТИ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ.....	234
Федько Р. М. ПАРКОВІ КУЛЬТУРФІТОЦЕНОЗИ ПОЛТАВЩИНИ ТА ЇХ ЗБЕРЕЖЕННЯ.....	247

Наукове видання

ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2025

Колективна монографія

Рекомендовано до друку вченою радою
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

Технічне редагування – Н.О. Смоляр

Підписано до друку 25.03.2025 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк.
14,3. Наклад 300 прим. Замовлення
2023-139

Видавництво ПП «Астрая»

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694
E-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599
від 19.09.2017 р.

Друк ФОП Гаража М. М.

36014, м. Полтава, пров. Ольги Кобилянської, 6, кв. 1
Тел.: +38 (095) 609-78-05
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР
23.12.2015 р. № 2 588 000 0000 037364

