

**Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Національна академія наук України  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

---

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

---

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND  
NATURAL RESOURCES**

**Збірник наукових праць**

Випуск 1 (29), січень-березень 2019 р.

Заснований у 2008 р.  
Виходить 4 рази на рік

---

**Academic journal**

Issue 1 (29), January-March 2019

Founded in 2008  
The journal is published 4 volume a year

**КИЇВ 2019**

---

**KYIV 2019**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головні редактори: **О.С. Волошкіна**, д-р техн. наук, проф.  
**О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

### Члени редколегії:

<b>Биченок М.М.</b> , д-р техн. наук	<b>Олійник О.Я.</b> , д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
<b>Бойко І.П.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Павлишин В.І.</b> , д-р геол.-мін. наук, проф.
<b>Довгий С.О.</b> , д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАНУ	<b>Приймак О.В.</b> , д-р техн. наук, проф.
<b>Калюх Ю.І.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Рудько Г.І.</b> , д-р техн. наук, д-р геол.-мін. наук, д-р геогр. наук, проф.
<b>Качинський А.Б.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Стрижак О.Є.</b> , д-р техн. наук
<b>Коржнєв М.М.</b> , д-р геол.-мін. наук, проф.	<b>Триснюк В.М.</b> , д-р техн. наук
<b>Кочетов Г.М.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Яковлев Є.О.</b> , д-р техн. наук
<b>Кривомаз Т.І.</b> , д-р техн. наук, проф.	

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

<b>М.-Й. Валері</b> , професор, Польща	<b>А. Мішо</b> , дослідник, Франція
<b>Н. Касаглі</b> , професор, Італія	<b>Я. Пекутін</b> , професор, Польща
<b>Н. Маргвєлашвілі</b> , PhD, Австралія	<b>Пінг Лу</b> , професор, Китай
<b>Д. Мінтер</b> , професор, Великобританія	<b>Г. Собчук</b> , професор, Польща

---

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
(протокол № 21 від 29.03.2019 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604)

## ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Основи природокористування
- Інформаційні ресурси та системи
- Дискусійні повідомлення

---

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ**  
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
Телефони: (044) 245-87-97  
(044) 524-22-62  
E-mail: itelua@kv.ukrtel.net

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті  
<http://www.es-journal.in.ua> українською  
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

## CONTENTS

### ENVIRONMENTAL SAFETY

<b>Kryvomaz T.I., Scudu I., Leonard D., Minter D.</b> Green building BREEAM in Ukraine .....	5
<b>Stefanyshyn D.V., Korbutiak V.M., Stefanyshyna-Gavryliuk Y.D.</b> Situational predictive modelling of the flood hazard in the Dniester river valley near the town of Halych .....	16
<b>Kulikova D.V., Yurchenko A.A.</b> Ensuring the conditions of ecological safety of the surface water of Ukraine by calculating the values of their assimilative capacity.....	28

### NATURAL RESOURCES

<b>Pohrebennyk V.D., Dzhumelia E.A.</b> Environmental hazards of the mining and chemical enterprises territory.....	40
<b>Morozova T.V., Lukianova V.V., Anpilova Y.S.</b> Conceptualization of latent ecosystem services.....	54
<b>Kyriienko P.G., Kyriienko V.V., Chumachenko A.V.</b> Portable device for water purification.....	65

### INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

<b>Honchar A.V., Popova M.A., Stryzhak O.Ye.</b> Ontology of tour of the virtual museum 3D panorama.....	71
<b>Sirenko A.P.</b> To the analysis of methods of calculation of stability of use and their classification.....	79
<b>Voskoboinick V.A., Voskoboinyk O.A., Cherniy D.I.</b> The modeling of different scale hydrologic processes in aquatories.....	87
<b>INFORMATION FOR AUTHORS.....</b>	99

## ЗМІСТ

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

<b>Кривомаз Т.І., Скуду А., Ленед Д., Мінтер Д.</b> Зелене будівництво BREEAM в Україні .....	5
<b>Стефанишин Д.В., Корбутяк В.М., Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д.</b> Ситуаційно-прогностичне моделювання небезпеки повеней в долині річки Дністер біля міста Галич.....	16
<b>Кулікова Д.В., Юрченко А.А.</b> Забезпечення умов екологічної безпеки поверхневих водоем України шляхом розрахунку величин їх асиміляційної ємності.....	28

### ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<b>Погребенник В.Д., Джумеля Е.А.</b> Екологічна безпека території гірничо-хімічних підприємств.....	40
<b>Морозова Т.В., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С.</b> Концептуалізація латентних екосистемних послуг.....	54
<b>Кирієнко П.Г., Кирієнко В.В., Чумаченко А.В.</b> Переносний пристрій для очищення води.....	65

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

<b>Гончар А.В., Попова М.А., Стрижак О.Є.</b> Онтологія екскурсії 3D панорамою віртуального музею.....	71
<b>Сіренко А.П.</b> До аналізу методів розрахунку стійкості схилів та їх класифікації.....	79
<b>Воскобійник В.А., Воскобойник О.А., Черній Д.І.</b> Моделювання різномасштабних гідрологічних процесів в акваторії.....	87
<b>ДО ВІДОМА АВТОРІВ.....</b>	99

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 504.064.2

**Tetyana I. Kryvomaz**<sup>1</sup>, Dr, professor of Department of Labour and Environment Protection  
ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 *e-mail: ecol@i.ua*

**Irene Scudu**<sup>2</sup>, Chief Technical Advisor  
*e-mail: irene.scudu@bregroup.com*

**David Leonard**<sup>2</sup>, Head of BREEAM's new construction team  
*e-mail: david.leonard@bre.co.uk*

**David Minter**<sup>3</sup>, Dr, Leading Researcher  
*e-mail: d.minter@cabi.org*

<sup>1</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Building Research Establishment Group, London, Great Britain

<sup>3</sup>Centre for Agriculture and Bioscience International, London, Great Britain

## GREEN BUILDING BREEAM IN UKRAINE

**Abstract.** *It is recognised that world construction is responsible for substantial amounts of harmful emissions, so the need to save energy and mitigate environmental problems fostered the concept of a green building. This is structures that are sited, designed, built, renovated and operated to energy efficient guidelines, and that they will have a positive environmental, economic and social impact over their life cycle. The study begins with a review of the main stages through which this technology developed in the Great Britain. Notable successes achieved through green building in the UK are then highlighted. There is excellent potential to implement Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) in Ukraine because, although the building sector is very active, the technology in current use is not up to international environmental standards. At the same time Ukraine is actively subscribing to international conventions which reduce environmental pollution, and seeks to improve national standards in accordance with international requirements. Examples of BREEAM certified green building are already present in Ukraine, and the general economic and political situation seems ready to welcome implementation of green building throughout the country.*

**Key words:** *green building; certifications rating system; environmental safety*

## Introduction

The building developments have very significant environmental impacts. The building industry is responsible for approximately 40% of global energy use and 33% of energy-related greenhouse gas (GHG) emissions [15]. Life Cycle

Assessments (LCA) of residential buildings and have found that their energy consumption is dominated by the operational phase, which includes all the energy consumed after the construction until the demolition or recycling. Furthermore, the United Nation Energy Programme suggests that 60% of the energy of the operational phase is used for space heating [2]. Only in UK the built environment accounts for 45% of total UK carbon emissions, including 27% from domestic buildings and 18% from non-domestic [12]. Conversely, it is also the sector with the largest potential to reduce these parameters using currently available technologies. From total 12% of water use in the world building industry [15], 72% of domestic emissions arise from space heating and the provision of hot water counted in UK [12]. Total harmful effects to environment made by 40% of waste [2], wherein 32% of landfill waste comes from the construction and demolition of buildings, 13% of products delivered to construction sites are sent directly to landfill without being used [12].

According to a United Nations Environment Programme (UNEP) strategy to build, policymakers should treat resource efficiency as equal in importance to climate policy if they want to move towards a sustainable future [2]. In the next 30 years, 2.4 billion people are likely to move to urban areas, bringing the proportion of the global population living in cities by 2050 to 66%. The annual amount of natural resources used by urban areas could grow from 40 billion tonnes of raw materials in 2010 to 90 billion tonnes by 2050, an increase of 125%, if changes are not made to how cities are built and designed. Historically, existing cities have been spreading at a rate of two per cent a year, increasing global urban land use from just below one million square kilometres to 2.5 million in 2050, and putting agricultural land and food supplies at risk. The increase in urban population will require the building of new cities and the expansion of existing ones. Building and operating these new cities, and supporting the urban lifestyles of those who live in them, requires billions of tonnes of raw materials, such as fossil fuels, sand, gravel, iron ore, wood and food. The report, the 25th from the International Resource Panel, an eminent group of experts set up by UN Environment in 2007 to examine natural resource use. Unless the world's urban areas make optimal use of their resources, cities will soon demand far more resources than our planet can sustainably provide. As urban areas around the world continue to grow, cities are placing an increasingly heavy burden on our environment, so resource experts call for new strategy to build better cities [13].

The concept of a green building was developed in the 1970s in response to the energy crisis and people's growing concerns about the environment [5]. Green buildings are structures that are sited, designed, built, renovated and operated to energy efficient guidelines, and that they will have a positive environmental, economic and social impact over their life cycle. The need to save energy and mitigate environmental problems fostered a wave of green building innovation that has continued to this day.

## **Purpose of Research**

The objective of this study is to identify best practice in green building based on the UK's experience, and to promote its application in Ukraine. This involves four tasks:

- reviewing the main stages through which this technology developed in the UK;
- highlighting notable successes achieved through green building in the UK;

- appreciating the flow of international collaboration between the UK's Building Research Establishment and other countries to promote education in green building and its scientific application;
- understanding the benefits and prospects that can be obtained with implementing green building in Ukraine based on best UK experience.

## **Result of Research**

In the UK, the harmful impact of the building industry was recognized many years ago. To address the problem, in 1921, the Building Research Establishment (BRE) was set up for making a positive difference in the built environment. BRE is a world leading, multi-disciplinary, building science centre with a mission to improve buildings and infrastructure, through research and knowledge generation. They use cutting edge research to develop a range of products, services, standards and qualifications that are used around the world to bring about positive change in the built environment. Its work played a key role in developing the concept of green building [5].

Four main areas need to be considered in green building: materials, energy, water and health. Materials for green buildings have to be obtained from natural, renewable sources that have been managed and harvested in a sustainable way. Or they are obtained locally to reduce the embedded energy costs of transportation. Or materials salvaged from reclaimed materials at nearby sites. Materials are assessed using green specifications that look at their Life Cycle Analysis (LCA) in terms of their embodied energy, durability, recycled content, waste minimisation, and their ability to be reused or recycled. Passive solar design will dramatically reduce the heating and cooling costs of a building, as will high levels of insulation and energy-efficient windows. Natural daylight design reduces a building's electricity needs, and improves people's health and productivity. Green buildings also incorporate energy-efficient lighting, low energy appliances, and renewable energy technologies such as wind turbines and solar panels. Minimising water use is achieved by installing greywater and rainwater catchment systems that recycle water for irrigation or toilet flushing; water-efficient appliances, such as low flow showerheads, self-closing or spray taps; low-flush toilets, or waterless composting toilets. Installing point of use hot water systems and lagging pipes saves on water heating. Using non-toxic materials and products will improve indoor air quality, and reduce the rate of asthma, allergy and sick building syndrome. These materials are emission-free, have low or no VOC content, and are moisture resistant to deter moulds, spores and other microbes. Indoor air quality is also addressed through ventilation systems and materials that control humidity and allow a building to breathe. In addition to addressing the above areas, a green building should provide cost savings to the builder and occupants, and meet the broader needs of the community, by using local labour, providing affordable housing, and ensuring the building is sited appropriately for community needs. Green building requires a holistic approach that considers each component of a building in relation to the context of the whole building whilst considering the impact on the wider environment and community around it. This is a highly complex approach that requires builders, architects and designers to think creatively, using systems integration throughout their work [16].

Life cycle costing (LCC) in accordance with BS ISO 15686 provides a methodology for the systematic economic evaluation of combined capital, operating

and end-of-life costs of construction project alternatives, to ensure long-term value for project funds. Assessments involve identifying activities during the life cycle, when the activity occurs and associated cost or benefit information for the activity. Life cycle assessment (LCA) in accordance with ISO 14040 defines a methodology for compiling and evaluating the environmental impacts of a product system throughout its life cycle. The standard is not specific to the construction industry, but the principals can be applied for products, building systems and complete buildings, capturing environmental impacts associated with manufacturing, use and disposal [17].

The World Green Building Council report on 'Health, Wellbeing and Productivity in Offices' cites factors such as indoor air quality, thermal comfort and lighting as having a significant financial implication for employers through their impact on staff productivity and absenteeism. The 2013 report by the World Green Building Council making the 'Business case for green building', suggests that certified green buildings have sale prices increased by up to approximately 30% compared to conventional code-compliant buildings. This is a good perspective for developers. The owner's perspective according to the same report, BREEAM certification can increase rental rates for buildings by up to 24.9% compared to conventional, code-compliant buildings. The 2014 DLA Piper report suggests that 38% of the survey participants identified value preservation or increase as the prime benefit of sustainable real estate, followed by reputation (18%) and reduction of energy costs (15%). Operating costs: reducing lifecycle costs. 'Staff costs, including salaries and benefits, typically account for about 90% of a business' operating costs. It follows that the productivity of staff, or anything that impacts their ability to be productive, should be a major concern for any organization [18].

BRE has been owned by the BRE Trust – the largest UK charity dedicated specifically to research and education in the built environment. BRE has been raising the standards of the built environment since 1921, and in the last few years has grown significantly, both through the achievements of people and the acquisition of businesses with beliefs and goals aligned with theirs. Created in 1997 to oversee BRE, the BRE Trust uses profits from the BRE Group to fund new research and education programmes that help meet the main goal of 'building a better world together'. Multi-disciplinary teams include leading experts – working in world-class facilities – in virtually every element of the built environment. They operate internationally, with offices, representatives and partners around the globe, and at Head Office and major facilities in the UK. They generate new knowledge through independent research. This is used to create the products, standards and qualifications that help to ensure buildings, homes and communities are safe, efficient, productive, sustainable and enjoyable places to be. The UK's Building Research Establishment works in 80 countries, and provides more than 16,000 certified products and services [5].

In the past 20 years, BRE Trust has built up strong links with over 50 Universities in the UK with the merging with Construction Excellence. BRE Trust has extended the University Partnerships even further and currently has nearly 100 links. BRE Trust's internationalization strategy focuses on a wide range of activities which encompass joint research, sponsorship for research students, travel grants and awards. The findings of this research have been disseminated in over 3,000 peer-reviewed papers, conference proceedings and books, and more than 2,000 students have graduated from BSc and MSc courses supported by the BRE Trust. The level of underpinning fundamental research completed continues to grow, with 128 PhD



students being funded by the Trust since 2001. This adds to the overall total of more than 300 PhDs now completed or active across the BRE Trust University Partners. More than 35,000 people trained by BRE Academy [5].

The Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM) sets best practice standards for the environmental performance of buildings through design, specification, construction and operation. Launched in 1990, BREEAM is the world's first and foremost sustainability standard and rating system for the built environment. BREEAM inspires developers and creators to excel, innovate and make effective use of resources. On a global level, over 560,000 BREEAM certificates have been issued and more than two million registered buildings for assessment. Green specifications provide a good set of guidelines for the building industry, but these are still in the process of being formalised into UK regulation and many are open to interpretation. BREEAM has an 80% market share across Europe for sustainable building certification and they work in 81 countries around the world [4].

The BREEAM AG programme has been designed to teach students about BREEAM, provide them with a professional qualification that will set them apart from their peers and, at the same time, meet the university's curriculum sustainability objectives and complement existing academic programmes, for both undergraduates and postgraduates. BREEAM AG allows universities to connect with the leading industry-used sustainability assessment for both the UK and international markets [4].

BREEAM assessments are carried out by trained assessors based on a scoring system with nine categories: Energy, Land use and ecology, Water, Health and wellbeing, Pollution, Transport, Materials, Waste, Management. Each of the categories is scored and then multiplied by a weighting. There are minimum thresholds that must be achieved, and additions can be made for specific innovative solutions under the category of Innovations. The resulting overall score is translated into one of the BREEAM ratings; unclassified, pass, good, very good, excellent or outstanding. Two stages of assessment and certification are carried out: 1) a design stage assessment resulting in an interim certificate being issued; 2) a post-construction assessment resulting in a final certificate being issued and a rating awarded. It is also possible to carry out a pre-assessment, which can help designers understand aspects of their proposals that need to be improved to achieve the desired rating. For existing building in-use, there is the BREEAM In-Use scheme which allows an action plan to be produced to improve the management and performance both of the building in use and of client activities within the completed building. UK regulations now demand that green specifications are met in all new building design and development, as part of their wider sustainable development strategy, and this means that green buildings are emerging throughout the country [4].

For tenants some of the most important benefits associated with achieving specific BREEAM standards are relatively intangible and difficult to quantify, such as those associated with improved acoustic performance or daylighting. However, an increasing body of evidence points to the relationship between building design, occupant wellbeing and financial outcomes. Whilst BREEAM dominates the UK market, alternative methods of environmental assessment include; Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) in the USA, Greenstar in Australia, HQE in France and CASBEE in Japan. The research paper on 'Benchmarking energy use of building environmental assessment schemes' analyses the characteristics of different certification schemes and shows that BREEAM takes into consideration

operation and performance data; this is a characteristic that differentiates BREEAM from its competitors [11]. Moreover, BREEAM is the only one that addresses management with regards to functionality and controllability of building systems. 43% of the BSRIA Value of BREEAM survey respondents identified operational cost savings among the benefits of BREEAM. In particular, this report emphasises how BREEAM encourages the use of intelligent controls and smart metering, which can facilitate maintenance and performance and thus reduce associated costs [12]. BREEAM is the world's first and most widely accepted green building certification system.

## **Discussion**

Resource Requirements of Future Urbanization calls for a new strategy to meet the needs of 21st-century urbanization. The report Sustainable Urban Infrastructure Transitions was produced by UN Environment says that collaborative governance, at all levels, and long-range planning will be needed to transform the cities. Strategies suggested include to achieve a transition to low-carbon, resource-efficient, socially just cities, the report recommends the monitoring the flow of resources entering and leaving the cities to understand the local situation and to help develop resource-efficient strategies.

According to “Development Strategy of the City of Kyiv until 2025”, Kyiv planning to have compact growth, to avoid urban sprawl and so economize on the square kilometres of asphalt, the concrete, liveable neighbourhoods where design encourages people to walk or cycle. Better connections by efficient and affordable public transport. The electricity and the water wasted in spread-out cities, so resource-efficient urban components, such as car sharing, electric vehicles and charging point networks, efficient energy, efficient waste and water systems, smart grids, cycle paths, energy-efficient buildings, new heating, cooling and lighting technology, etc [7]. Strategies suggested include infrastructure for cross-sector efficiency, such as using waste heat from industry in district energy systems and industrial waste materials in construction, such as fly-ash bricks. It examines establishing a new model for city governance and politics that supports imaginative business propositions and experimentation [13]. According to the main objective of the Strategy, long-term development of the city of Kiev perfectly correlates with the basic principles of green construction [7, 13].

The collaborative governance, at all levels, and long-range planning will be needed to transform the region's cities of all Ukraine. Undertaking national urbanization planning to balance economic growth across a range of city sizes. Promoting compact, mixed-use, accessible and inclusive cities through regional and city planning to reduce land-use planning, streamline infrastructure provisions and promote sustainable mobility. Promoting resource efficiency at the systems level across the city through innovative and profitable exchanges of “waste” energy and materials. Developing cities through land-use planning that rehabilitating existing buildings in resource-efficient buildings, promoting resource-efficient, resilient buildings and electricity grids [13].

Corporate image and compliance with CSR requirements Developer, Owner, and Tenant: The Innovate UK Technology Strategy Board report, suggests that BREEAM gives clients ‘a way to differentiate themselves in a competitive market with a highly visible, authoritative and internationally recognised quality mark’.

More specifically, the survey conducted by BSRIA on the Value of BREEAM, suggests that, from a 'social perspective', industry recognition is the most significant benefit, followed by advantages in public relations and Corporate Social Responsibility (CSR). In fact, approximately 40% of the developers surveyed considered CSR one of the main reasons to pursue a BREEAM certification.

Project owners and planners need to understand how communication influences green implementation. Green planning is critically important during the design phases of construction projects but continually gets less attention during construction. Successful implementation of sustainability goals not only provides economic benefits from fully exploiting life-cycle costs, but also holds the promise of providing a healthier working environment [10].

Ukraine is actively subscribing to international conventions which reduce environmental pollution, and seeks to improve national standards in accordance with international requirements. Objective of the reform initiative is to increase institutional capacities of market surveillance system with advanced tools, new methodologies, and creation of a product safety ecosystem by engaging other stakeholders – business and consumers in making the market clean, safe, and complied with the international standards. There are already examples of BREEAM certified green building in Ukraine. The business center Astarta in Kyiv and Optima Plaza business park in Lviv had compliance with the requirements of the certification system BREEAM. In June 2017 works for the complex "Park Lake City" near Kyiv started, which include residential buildings, shopping center, kindergarten and elementary school. There are also some others green building projects designed according to BREEAM requirements, but they haven't been widely announced yet. Although the analysis results show that early and continuous communication of sustainability design goals with field supervision personnel has a significant impact on whether those goals are realized [10]. The findings of this study support the growing importance of green building as a component of the whole construction market and provide a benchmark against which to measure future changes in the industry over time [6].

In an age threatened by climate change, energy shortages and ever-increasing health problems it makes sense to build homes that are durable, save energy, reduce waste and pollution, and promote health and wellbeing. A green building is more than a model for sustainable living; it can build hope for the future. Although in Ukraine its very new and power known direction, green building is a very perspective and a rapidly growing field. There is excellent potential to implement BREEAM in Ukraine because, although the building sector is very active, the technology in current use is not up to international environmental standards. The general economic and political situation in Ukraine seems ready to welcome implementation of green building throughout the country. Green building is an essential component of sustainable development and should especially pay attention to group into five themes: green building management in general, the benefits and barriers to green building development, green building performance, stakeholder behavior with regard to green buildings, and green building strategies. Future directions for research relating to green building are suggested for the areas stakeholder management, policies and incentives, communication platform development, and retrofitting of existing buildings [9].

Green building development will be an important area in Ukraine, and more comprehensive studies on green building can help to promote further progress in this

field. Therefore the Center for Green Building Development was created in Kiev National University of Construction and Architecture on a base of Innovative Education Institute. The program of this Center is structured to provide the progressive sustainability building design to construction and operations industry. It will improve in collaboration with state agencies and industry stakeholders and could serve as a model for localized green building programs. The benefits of green buildings can be grouped within three categories: environmental, economic and social.

One of the most important types of benefit green buildings offer is to our climate and the natural environment. Green buildings can not only reduce or eliminate negative impacts on the environment, by using less water, energy or natural resources, but in many cases they can have a positive impact on the environment by generating their own energy or increasing biodiversity. The building sector has the largest potential for significantly reducing greenhouse gas emissions compared to other major emitting sectors [15]. The building sector has the potential to make energy savings of 50% or more in 2050, in support of limiting global temperature rises to 2°C above pre-industrial levels [2]. Global energy efficiency measures could save an estimated €280 to €410 billion in savings on energy spending [14].

Green buildings offer a number of economic or financial benefits, which are relevant to a range of different people or groups of people. These include cost savings on utility bills for tenants or households through energy and water efficiency; lower construction costs and higher property value for building developers; increased occupancy rates or operating costs for building owners; and job creation [17]. Building owners report that green buildings – whether new or renovated – command a 7% increase in asset value over traditional buildings [16]. Green building benefits go beyond economics and the environment, and have been shown to bring positive social impacts too. Many of these benefits are around the health and wellbeing of people who work in green offices or live in green homes. Workers in green, well-ventilated offices record a 101% increase in cognitive scores and brain function [8]. Employees in offices with windows slept an average of 46 minutes more per night [1]. Research suggests that better indoor air quality, such as low concentrations of CO<sub>2</sub> and pollutants, and high ventilation rates, can lead to improvements in performance of up to 8% [3].

The world over, evidence is growing that green buildings bring multiple benefits. They provide some of the most effective means to achieving a range of global goals, such as addressing climate change, creating sustainable and thriving communities, and driving economic growth.

## **Conclusion**

The construction industry has a huge negative impact on the environment. Green building offers a way to reduce that at all stages of the industry's cycle from site preparation, through selection and preparation of source materials, transport, construction, and use, to renovation and eventual demolition. In short, green building is the best and most advanced technology available if construction is to become sustainable. Green building is an essential component of sustainable development, but previous studies have offered little in the perspective of green building development in Ukraine. This research presents the current trends in this topic.

In the UK, the harmful impact of the building industry was recognized many years ago. To address the problem, in 1921, the Building Research Establishment was set

up. Its work played a key role in developing the concept of green building. It also established BREEAM, the world's first and most widely accepted green building certification system. The UK's Building Research Establishment works in 80 countries, and provides more than 16,000 certified products and services. More than 35,000 people have been trained through its Academy. Notable recent achievements of the Establishment include over 560,000 buildings with certified BREEAM assessment ratings, and more than two million registered for assessment. BREEAM has an 80% market share across Europe for sustainable building certification. The UK's Building Research Establishment collaborates internationally in the fields of education and science to conduct research which generates the knowledge, skills and tools needed to create a better built environment for all. The findings of this research have been disseminated in over 3,000 peer-reviewed papers, conference proceedings and books, and more than 2,000 students have graduated from BSc and MSc courses supported by the Building Research Establishment Trust.

The percentage of firms expecting to have more than 60% of their projects certified green is anticipated to more than double from 18% currently to 37% by 2020, which recognition by owners of the benefits of green is critical to sustaining green market growth globally. The anticipated growth is largely driven by countries that still are developing green markets such as Ukraine. Green building is an essential component of sustainable development and should especially pay attention to group into five themes: green building management in general, the benefits and barriers to green building development, green building performance, stakeholder behavior with regard to green buildings, and green building strategies. Future directions for research relating to green building are suggested for the areas stakeholder management, policies and incentives, communication platform development, and retrofitting of existing buildings.

There is excellent potential to implement BREEAM in Ukraine because, although the building sector is very active, the technology in current use is not up to international environmental standards. Ukraine is actively subscribing to international conventions which reduce environmental pollution, and seeks to improve national standards in accordance with international requirements. There are already examples of BREEAM certificated green building in Ukraine, and the general economic and political situation seems ready to welcome implementation of green building throughout the country. Green building development will be an important area in Ukraine, and more comprehensive studies on green building can help to promote further progress in this field.

## REFERENCES

1. Abdul, Y., and Quartermaine, R. (2014). Delivering sustainable buildings: savings and payback. London: BRE, Sweett Group. IHS BRE Press.
2. Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A., Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. The Weight of Cities summary report (2018). Available online: <http://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>.
3. Bienert, S. (2014). Extreme weather events and property values: Assessing new investment frameworks for the decades ahead. London: Urban Land Institute.
4. Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Available online: <https://www.breem.com/>

5. Building Research Establishment Trust. Available online: <https://bregroup.com/bretrust>.
6. De Luca, P., Carbon, I., and Nagy, J. B. (2017). Green building materials: a review of state of the art studies of innovative materials. *Journal of Green Building*. 12 (4): 141-161.
7. Development Strategy of the City of Kyiv until 2025 [Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року затверджено рішенням Київської міської ради №824/7060 від 15 грудня 2011 р., нова редакція 2016 р.]
8. Fekry, A. A., El Zafarany, A. M., Shamseldin, A. K. M. (2014). Develop an environmental assessment technique for human comfort requirements in buildings. *HBRC Journal*. 10(1): 1-9.
9. Huo, X. and Yu, A. T.W. (2017). Analytical review of green building development studies. *Journal of Green Building*. 12(2): 130-148.
10. Kim, J.J., Goodwin, C.W., and Kim, S. (2017). Communication turns green construction planning into reality. 12 (1): 168-186.
11. Lee, W. L. (2012). Benchmarking energy use of building environmental assessment schemes. *Energy and Buildings*. 45: 326-334.
12. Soulti, E., and Leonard, D. (2016). The value of BREEAM A review of latest thinking in the commercial building sector. London: BRE Global Ltd.
13. The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. Swilling, M., Hajer, M. (2018). International Resource Panel. Available online: <http://www.resourcepanel.org>.
14. Thompson, M., Cooper, I., Gething, B. (2015). The business case for adapting buildings to climate change: Niche or mainstream? Innovate UK Technology Strategy Board.
15. United Nations Environment Programme 2009 Annual Report (2009). 94 p. Available online: <http://www.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-constructionprogramme>.
16. World Green Building Trends 2016 report. Available online: <https://www.construction.com/toolkit/reports/world-greenbuilding>
17. World Green Building Trends 2018 SmartMarket Report. Available online: <https://www.worldgbc.org/news-media/world-green-building-trends-2018-smartmarket-report-publication>
18. World Green Building. Available online: <http://www.worldgbc.org>

*The article was received 10.01.2019 and was accepted after revision 30.01.2019*

**Т.І. Кривомаз, А. Скуду, Д. Ленед, Д. Мінгер**  
**ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО BREEAM В УКРАЇНІ**

**Анотація.** Загально визнано, що будівельна галузь відповідає за значні обсяги шкідливих викидів, тому потреба в економії енергії та необхідність вирішення проблем довкілля сприяли розвитку концепції зеленого будівництва. Це будівництво та експлуатація енергоефективних споруд з підвищеним комфортом та мінімальним впливом на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу з урахуванням економічних та соціальних аспектів. Розглянуто основні етапи розвитку цієї технології у Великобританії та відмічено значні успіхи, досягнуті завдяки зеленому будівництву. В Україні існує чудовий потенціал для впровадження методу екологічної оцінки будівельних проєктів (BREEAM), оскільки, незважаючи на значну активність будівельного сектору, технології, що використовуються в даний час, не відповідають міжнародним екологічним стандартам. Водночас Україна бере активну участь у міжнародних конвенціях, спрямованих на зменшення забруднення навколишнього середовища, у зв'язку з чим проводиться адаптація національних стандартів у відповідності до міжнародних вимог. В Україні вже сертифіковано ряд діючих проєктів та будівель за стандартами зеленого будівництва BREEAM, а загальна економічна і політична ситуація сприяє розвитку та впровадженню зеленого будівництва по всій країні.

**Ключові слова:** зелене будівництво; сертифікаційна рейтингова система; екологічна безпека

**Кривомаз Тетяна Іванівна**

доктор технічних наук, кандидат біологічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури

**Адреса робоча:** 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

**e-mail:** *ecol@i.ua*

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702

**Айрін Скуду**

головний технічний консультант BREEAM Науково-дослідного центру будівництва

**Адреса робоча:** Велика Британія, Лондон, Хартфордшир, Ватфорд, BRE Group

**e-mail:** *irene.scudu@bregroup.com*

**Девід Ленед**

керівник команди нового будівництва BREEAM Науково-дослідного центру будівництва

**Адреса робоча:** Велика Британія, Лондон, Хартфордшир, Ватфорд, BRE Group

**e-mail:** *david.leonard@bre.co.uk*

**Девід Мінтер**

доктор, провідний науковий співробітник Міжнародного центру сільського господарства та біологічних наук

**Адреса робоча:** Велика Британія, Лондон, Уоллінгфорд, CAB International

**e-mail:** *d.minter@cabi.org*

UDC 504.05 ; 004.942 ; 627.512 ; 556.013

**Dmytro V. Stefanyshyn**<sup>1</sup>, Doctor of Science (Eng.), Lead researcher of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NASU, Professor of Department of Hydrotechnical Construction and hydraulic of National University of Water and Environmental Engineering (NUWEE)  
ORCID ID: 0000-0002-7620-1613 *e-mail*: *d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua*

**Vasyl M. Korbutiak**<sup>1</sup>, PhD in Technical Sciences, associate professor of Department of Land Management, Cadastre, Land Monitoring and Geoinformatics  
ORCID ID: 0000-0002-8273-2306

**Yulija D. Stefanyshyna-Gavryliuk**<sup>2</sup>, Master in Ecology and Environmental Protection, Manager of PP “AM Lingvista”  
ORCID ID: 0000-0002-4121-5484

<sup>1</sup>National University of Water and Environmental Engineering (NUWEE), Rivne, Ukraine

<sup>2</sup>PP “AM Lingvista”, Rivne, Ukraine

## **SITUATIONAL PREDICTIVE MODELLING OF THE FLOOD HAZARD IN THE DNIESTER RIVER VALLEY NEAR THE TOWN OF HALYCH**

***Abstract.** There has been presented a method of situational predictive modelling of the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych based of hydrological observations data obtained at the Halych water level gauge. Some features in the behaviour of the equation of relationship between levels and water discharges for the Halych water level gauge were revealed, in particular, regularities fostering reliable forecasting the flood hazard by means of statistical data and ambiguities interfering similar predicting. The possibility of effective situational predicting of the flood hazard according to current data of hydrological observations to minimize probable harm and losses was shown.*

***Keywords:** ambiguity; data; the Dniester River; flood hazard; hydrological observations; situational model; situational predictive modelling*

### **Introduction**

Floods on rivers are being considered among the most dangerous natural disasters causing different losses including human fatalities [1]. By the number of human victims, they yield only to catastrophic earthquakes. In the 20th century [2], floods of different genesis were responsible for about 6.8 million deaths. Majority of these victims were concerned to floods on rivers.

At present, annual economic worldwide losses from floods have already reached hundreds of millions of dollars [3] and have tendency to grow in the future. This is happening despite the growing human capabilities to withstand the environment. The valleys of rivers and riparian zones have traditionally been considered by human as an important environment resource to use in the economic activity. These areas were, are and will stay the centres of urbanization and mass settlement of people. This is explained not only by the increase of the general deficit of land resources in the world, in particular, because of the decrease of soil fertility on a considerable part of the globe, or the increase of erosion processes of different etymology, etc. [4]. In



addition to significant water and land resources, these territories have got hydroelectric resources, fishery, forest, recreational, cultural-historical and aesthetic resources, etc. But, undoubtedly, the most valuable natural element of contiguous riparian territories is the unique combination of water and land resources. Therefore, regardless the essential risk of harm, deaths and losses due to floods on rivers increasing by years, humans keep on using contiguous riparian territories for their life activity [5].

One of the most known contiguous riparian zone among such areas on Ukrainian territory is the Upper Dniester Basin [6–8], and, in particular, the Dniester floodplain near the town of Halych.

This territory belongs to the Carpathian Mountainous Part of the Dniester Basin. It largely occupies the upper right-bank area of the river catchment, featuring a well-developed and dense hydrographic network (comprising the Strviash, Vereschysia, Striy, Svicha, Limnytsia, Lukva and many other tributaries) that provides a major proportion of flow to the Dniester. Despite the fact that the Carpathian Mountains (including foothills) occupy less than 9% of the Basin area, and the upper (Carpathian) Dniester tributaries drain only about 17% of the river catchment, over 50% of the Dniester flow is collected in this part [7].

The town of Halych is placed in the lake-shaped extended valley of the Dniester River where upstream and downstream the mouths of those tributaries are located. During floods on the Dniester River, there, probably, the largest mass of water accumulates, sometimes with rising water levels up to 10–12 meters, causing catastrophic consequences (Fig. 1, 2).



Fig. 1 – The Dniester River during the flood on July 26–28, 2008, in the upstream stretches of the river near the town of Halych (<http://valentyn.io.ua/album163445>)



Fig. 2 – The flooding the town of Halych during the flood on July 26–28, 2008, on the Dniester River (<http://pravda.if.ua/news-4004.html>)

Generally, the modeling of the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych is a challenging problem bearing important meaning not only to local population (See Fig. 2). A number of critical infrastructure objects are located at this area, such as bridges of nation-wide importance, etc., as well as Burshtynska thermal power station (See Fig. 1, in the right upper corner).

## **1. Common remarks concerning to situational and predictive modelling**

### **1.1. Situational modelling**

Situational modelling is usually undertaken to understanding and restoration of certain situations (the coincidence of the conditions and circumstances of the functionality) relating to behaviour of complex systems [9–13].

Situational modelling has become especially popular in economics, medicine, military affairs, forensics, politics, and other similar spheres, as well as in artificial intelligence, where the development of a logical approach to modelling the behaviour of complex systems and processes gave impetus to the creation of situational calculus theory [9–11].

The basic idea of situational modelling is that a complete description of the infinite set of all possible situations of the functioning of a real system is replaced by a certain finite set of generalized situations that reproduce to a certain degree the system's possible states [9–13]. The evolution of the dynamic system is modelled in the context of its “movement” along a series of situations that are the result of various actions. These different model situations (by R. Reiter [10]) do not determine literally appropriate states of the system; they show only the history of certain events as completed sequences of actions in certain periods of time.

Since situations cannot be described totally, and it is possible to speak only about some of their aspects, the non monotonic output rule is used to describe the evolution of the system. In modelling, it is assumed (by J. McCarthy [11]) that on the basis of past facts, by which past situations are described, and on using some general rules or assumptions, according to which execution of actions and occurrence of events within situations take place, it is possible to predict some similar situations that will appear in the future.

In this study, the definitions “a situational model”, “situational modelling” are related to a predictive model or predictive modelling adapted to some separate situation, which unfolds in time, in order to simplify modelling based on monitoring data and increase its adequacy and accuracy [12, 13]. On predictive modelling, the circumstances of this adaptation are named like a predictive background and it is admitted that situational models constructed with using corresponding time series can reflect various phase states of a dynamic system at different time intervals.

### **1.2. Predictive modelling**

Predictive modelling uses statistics to predict outcomes [14–17]. So, for example, a popular and well-known predictive mathematical model in hydrology based on statistics (on hydrological observations data) is the probability distribution function [18–21]. This model can be used to determine flood parameters and its occurrence probability if corresponding time series of hydrological observations data are

uninterrupted and stationary, that is, they form representative sequences of independent and identically distributed random variables.

The other popular predictive models based on monitoring data and used for predicting natural and technogenous phenomena and processes are the regression ones [14]. Now, there are many modern regression models are highly adaptable; they are capable of modeling complex relationships [14, 15]. Regarding hydrological phenomena, the typical regression model there is an equation of relation between water discharges and water levels.

The use of regression models enables to simplify significantly problems of modeling and predicting based on experimental data, giving the possibility making decisions in various challenging situations avoiding the use more complex phenomenological models, for instance, such like equations of the mathematical physics, etc. However, classic regression models built with using time series can be the most successful in case of data interpretation and interpolation, but not to predict outcomes. In predicting they can get lost their accuracy and attractiveness. This is especially true of multiple regression models. Often, complex regression models very easily overemphasize patterns that are not reproducible and demonstrate instability of extrapolation in prediction zone. So a researcher cannot know about the fatal prediction faults until the next set of samples appears.

Nevertheless, admittedly, the regression models are the most convenient models to solve practical prediction problems in various fields. They can be formalized and adapted relatively easy, especially for short time series meeting certain established homogeneity criteria [16, 17]. Also they may be modified in appropriate way depending on peculiarities of prediction tasks [12, 13].

### **1.3. Some additional remarks concerning predictive modelling**

Practice shows, the construction of adequate regression models for predictive purposes can be a challenging problem, even in simple cases [12–14]. Often, better interpretation models may have a tendency to overpredict (or underpredict) low values and underpredict (or overpredict) high ones [14].

Perhaps, the problem is that regression models are traditionally built as models that should suit the best way all collected data (following the principle of optimization). So, the increase of the number of observation data may complicate execution of important limit restrictions of regression modelling [12, 13].

That is, if we make structure of regression model more difficult in any way, for example, by taking into account additional factors, parameters, and nonlinear effects, etc., the quality of regression models as interpretative models for observed data can be improved. But their quality as predictive models may be deteriorated. If there is more than one predictor, a researcher will have to further understand characteristics of different predictors and the relationships among them. Between-predictor correlations may be a serious problem. It is well known, the simplest way to solve the multicollinearity problem is to remove the predictors that have the most correlated relationships. Usually, if predictors are highly intercorrelated, this implies that they are measuring the same underlying information. Removing some of them might lead to a more parsimonious and interpretable model without compromising the performance of the model [12–17].

There are also other potential advantages of removing predictors prior to modelling. First, fewer predictors will decrease computational time and complexity.

Second, some models can be improved significantly in model performance and/or their stability will increase without the problematic variables. But all these simplifications should be justified in terms of predicting. It should also be mentioned that the main idea of regression modelling, as it is well known, is that regression occurs when a dependent, endogenous variable depends not only on some independent, exogenous, explanatory variables (predictors), as well on some uncontrolled, unknown factors.

## 2. Input data and the main objective of the researches

As input data on the modelling, available to us time series of hydrological observations data for water discharges and water levels maxima of the Dniester River, the Halych water level gauge, were used. Those were incomplete time series, with data from 1895 to 1998 (See Fig. 3, 4). Further, all numerical calculations and simulations were carried out according to the data given in Fig. 3, 4. In general, that was a retrospective simulation in condition of incompleteness of data and their ambiguity, that a bit complicated our task.

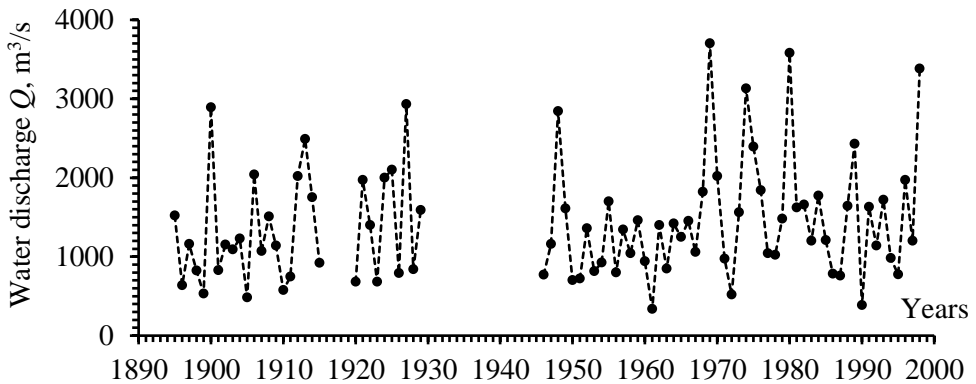


Fig. 3 – The time series of water discharges maxima (the Dniester River, the Halych water level gauge)

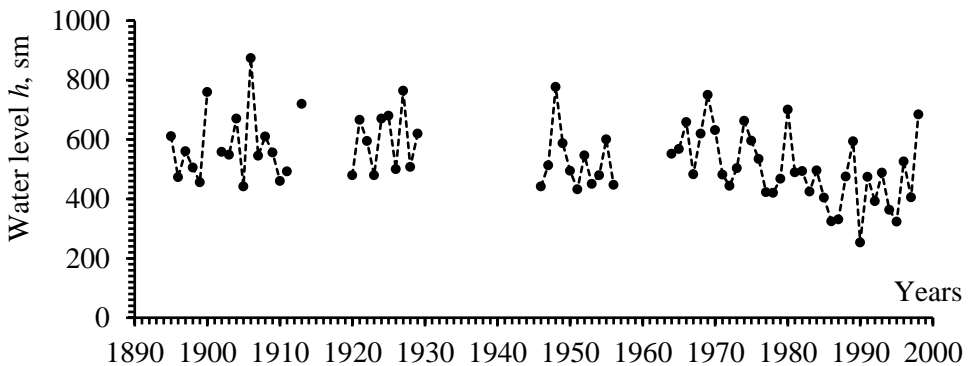


Fig. 4 – The time series of water levels maxima (the Dniester River, the Halych water level gauge)

The main objective of these researches was the available data analysis with developing and presentation a practice way to predict the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych on base of hydrological observations data, in particular, taking into account their incompleteness and ambiguity.

### 3. Preliminary researches to predicting the flood hazard

The best indicator for quantifying the flood hazard in-situ is the forecasted water level in the river. Depending on the expected level of water in the river during future flood, areas to be flooded may be identified and mapped as easy as possible.

The challenge is that forecasting the water levels in rivers is a difficult task even in the case of representative series of observations data. Typically, the time series generated by observations of water levels in the rivers are non-stationary ones (See, above, Fig. 4). In addition to the fact that water levels in rivers depend on water discharges, they may depend on the hydromorphology of a river bed and its floodplain, and other factors that may be not only stochastic, but and unpredictable ones, both natural and anthropogenic. For example, in some parts of rivers, the essential local elevations of water levels may occur due to compressions of their channels downstream due to ice gorges, rubbish of logging etc.

At the same time, if time series of maximum water discharges are stationary or quasi-stationary, the model of independent and identically distributed random variable may be used to predict them. For most rivers that have not undergone significant anthropogenic loads and in the presence of data of continuous hydrological observations within time intervals of at least 30–40 years, this assumption can be quite admitted [18–20].

This model allows relatively simply predicting water discharges with low annual probability of exceedance  $P$ , %, namely the discharges causing high water levels. In Fig. 5 there are three alternative probability distributions that can be used to forecast water discharges on the Dniester River, the Halych water level gauge, of various probabilities: the model 1 is the type I Gumbel distribution; the models 2 and 3 are the three-parameter gamma distribution (the Krytsky-Menkel model), with  $C_V = 0,5$  and  $C_S = 2C_V$ , and with  $C_V = 0,6$  and  $C_S = 2C_V$ , respectively, where  $C_V$  is the coefficient of variation,  $C_S$  is the coefficient of asymmetry.

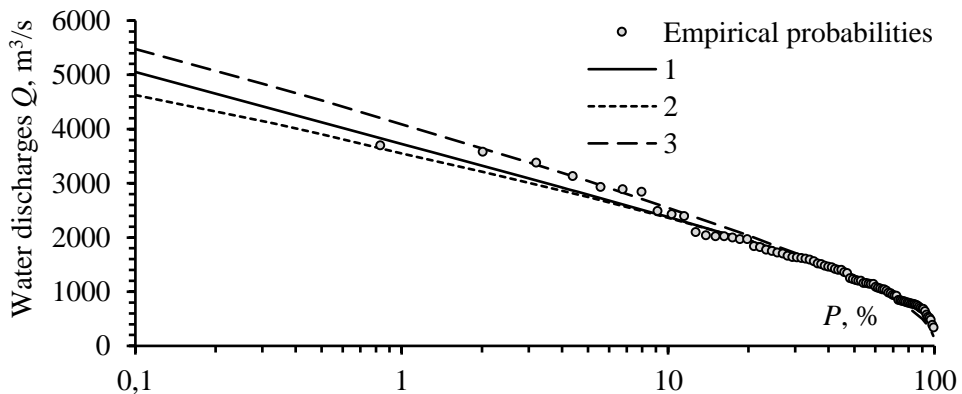


Fig. 5 – Examples of water discharges maxima probability distributions (were built according to data given in Fig. 3)

It should be noted, the model presented as a function of probability distribution can be used to determine the discharge with the appropriate probability of occurrence, or the probability of the corresponding water discharge. In the next step, an equation of relationship between levels and water discharges may be used to predict corresponding water levels to map zones of flooding.

The equation of relationship between levels and water discharges  $h = f(Q)$ , where  $h$  is the predicted water level and  $Q$  is the expected water discharge given probability of exceedance  $P$ , %, is a well-known and quite often used hydrological and hydraulic model (Fig. 6). This is a convenient model to use in practice, but it should be borne in mind the equation of relationship between levels and water discharges can highly change over time (Fig. 7), and, accordingly, the model should constantly adjust to new data.

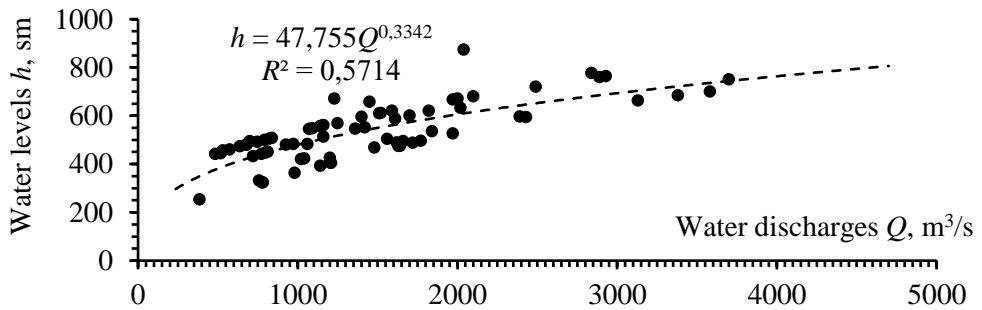


Fig. 6 – A generalised equation of relationship between levels and water discharges (was built according to data given in Fig. 3, 4)

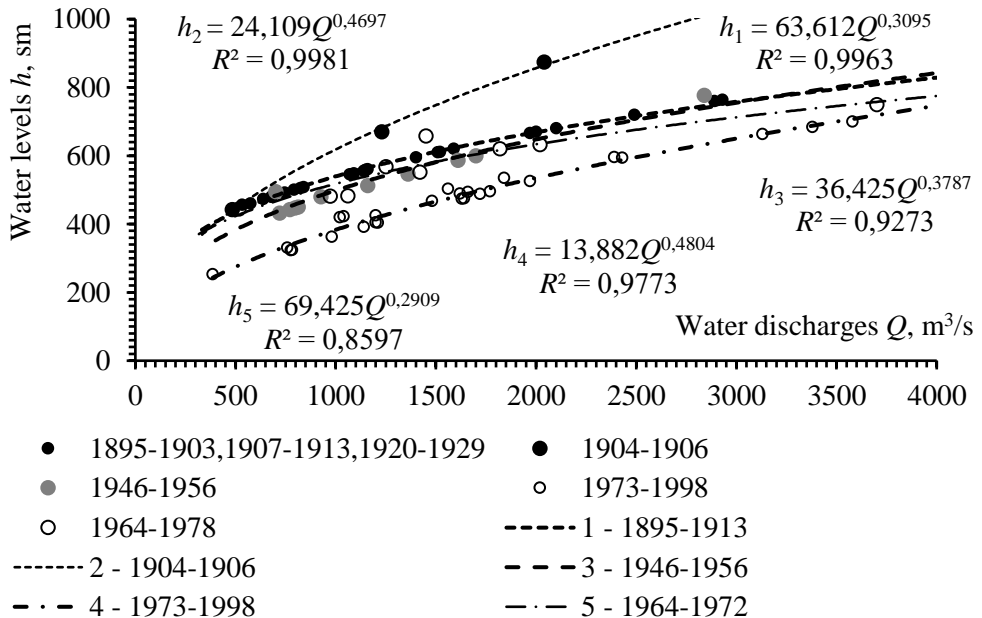


Fig. 7 – A set of equations of relationship between levels and water discharges (the Dniester River, the Halych water level gauge)

In how much, depending on different situations described by appropriate equations of relationship between levels and water discharges, the flooded plots may vary, even if practically the same values of water discharges happen, shown is in Fig. 8. So, in 1906, when the water discharge maximum was 2040 m<sup>3</sup>/s, the water level reached 874 sm.; in 1970, when the water discharge maximum was 2020 m<sup>3</sup>/s, the water level was 632 sm.

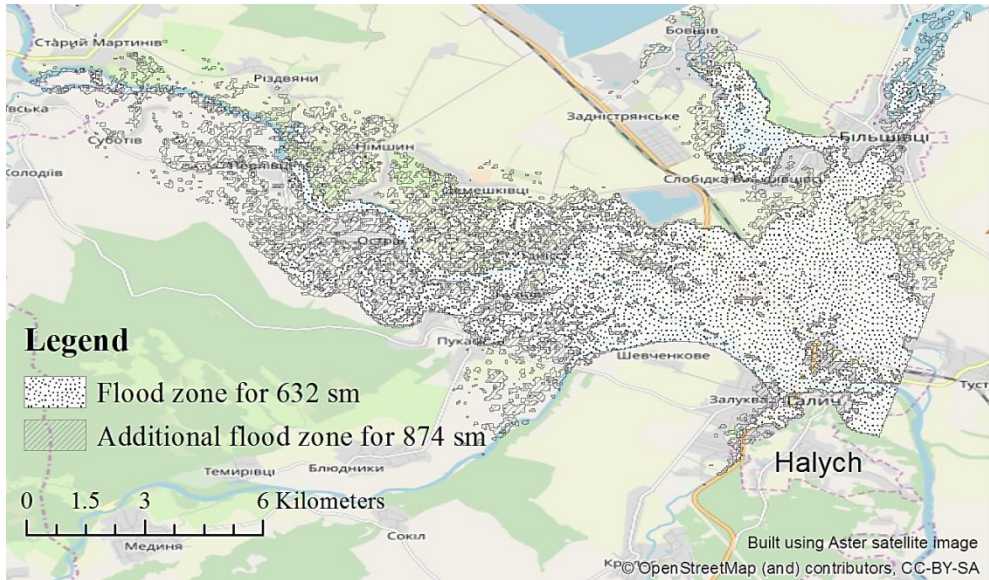


Fig. 8 – Flooded plots modelling in the Dniester River valley near the town of Halych (according to data the Halych water level gauge)

This adjusting to new data (See Fig. 7), which allows us to provide the required quality and accuracy of the equation of relationship between levels and water discharges, may be called the situational modelling of the flood hazard in-situ. In this case, an appropriate situational model is not only a quite simple single-factor regression model presenting dependence of a dependent variable  $h$  on one independent predictor  $Q$ . Essentially, this is an empirical model  $h = aQ^b$  that may be used as a formula to predicting flood hazards for the next floods if the predictive background expected unchangeable and the water discharge of the corresponding probability of exceedance  $P$ , %, has been known (See, Fig. 5).

#### 4. Some advanced results and conclusions concerning situational modelling of the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych

The basic assumption in situational modelling is the assumption that a predictive background will be unchangeable in time [12, 13]. In fact, constancy of a predictive background determines the only specific situation for which the relevant situational model can be considered adequate.

In general, a predictive background can be considered as a set of external and (or) internal conditions including unknown predictors that can be essential for the choice of the structure of the relevant situational model or values of its coefficients. Obviously, these conditions can be constantly changing in time. Changes can be both

regular and irregular, both stochastic (probabilistic) and unpredictable, uncertain or ambiguous. Some of these changes are actually impossible to predict and estimate. If regular changes can be taken into account when introducing some additional variables into the model, it is practically impossible, for example, to do this for irregular changes. In this case, the comparing this situation with the famous “black swan” by Nassim Taleb [22] comes to mind.

It is reasonable to assume that the smaller duration of the model situation in time is, the more likely the constancy of the relevant predictive background we can expect. It is only important that the appropriate time series representativeness was ensured within the selected time interval [13, 23, 24].

In Fig. 9, 10, shown are sets of such retrospective situational models built according to data given in Fig. 3, 4.

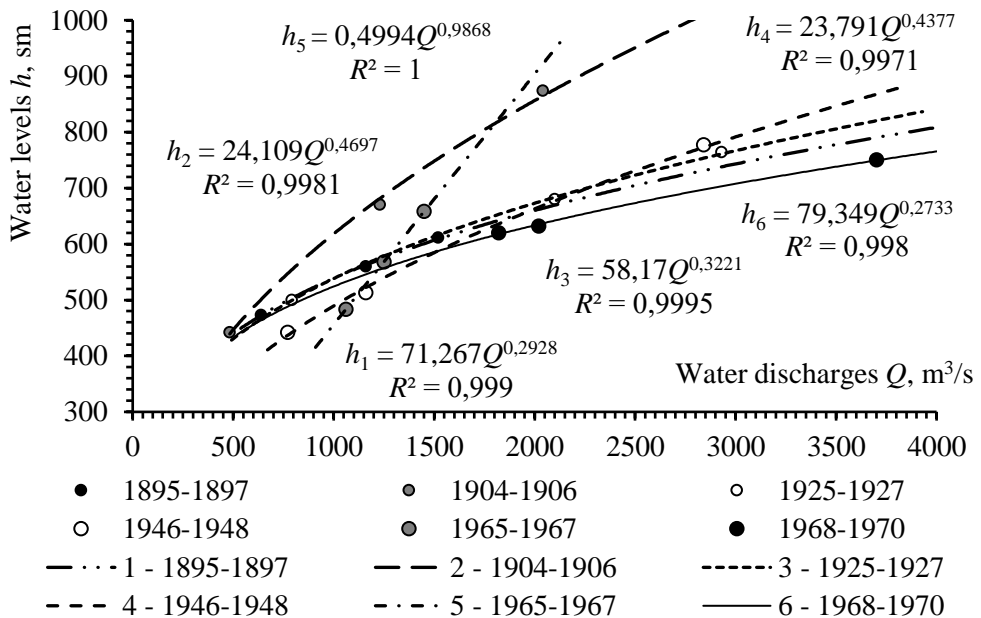


Fig. 9 – A set of retrospective situational models to predict the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych (models were built according to data from 1895 to 1970, See Fig. 3, 4)

As for the duration of predictive backgrounds to provide reliable situational modelling, as an important result of our research got was the following. It was revealed that for the Dniester River, at Halych water level gauge, the limit duration of the unchangeable predictive background to build the still dependable situational predictive model to forecast of the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych is within three years. And a fairly reliable model  $h = aQ^b$ , which can be used as an appropriate situational model to predict the flood hazard in-situ, can be obtained in case of three corresponding values of water levels and water discharges exceeding 500–1000 m³/s (See Fig. 9, 10).



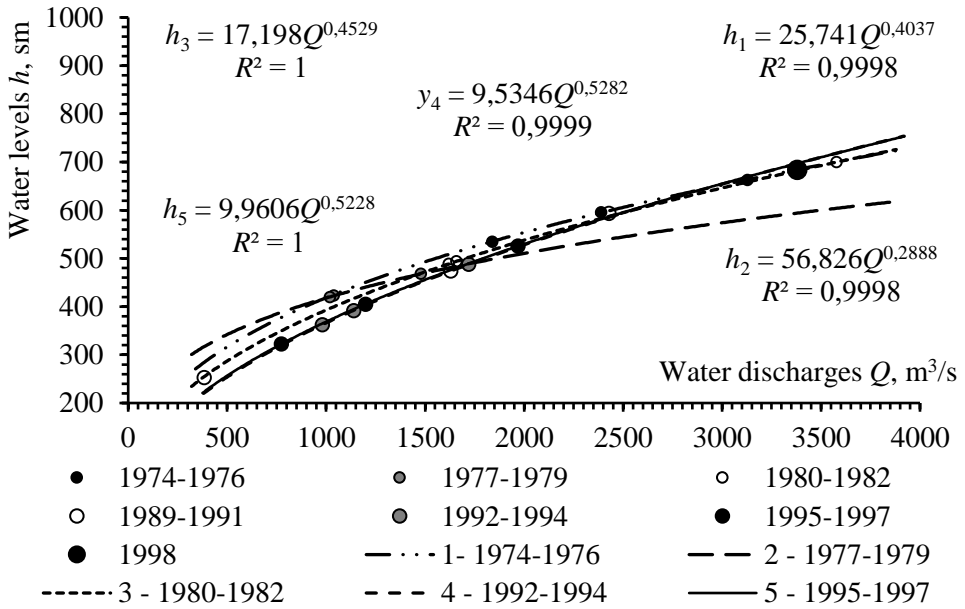


Fig. 10 – A set of retrospective situational models to predict the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych (models were built according to data from 1974 to 1997, See Fig. 3, 4)

In Fig. 10, as an example, shown is the point corresponding to the 1998 data. This point already has a deviation from the nearest situational model 5. Although the difference between the predicted value of water level according to model 5 and the observed value of the water level is only 13 cm, it can be essential when the situational predicting is carried out taking into account the characteristics of the river valley transverse profile in a particular plot. In addition, among situational models in Fig. 9, 10 there are three models that can be called “black swans” (See the models 2 and 5 in Fig. 9 and the model 2 in Fig. 10). The existence of these models convinces us that the predictive background for situational modelling the flood hazard in the Dniester River valley near the town of Halych should be limited to three years to avoid gross mistakes.

## REFERENCES

1. Abbott, P. L. (1996). *Natural Disasters*. Wm. C. Brown Publishing Co.
2. Doocy, S., Daniels, A., Murray, S., & Kirsch, T. D. (2013). The Human Impact of Floods: A Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review. *PLoS Currents*. doi:10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a
3. Dobrovičová, S., Dobrovič, R., & Dobrovič, J. (2015). The Economic impact of floods and their importance in different Regions of the World with Emphasis on Europe. In *Business Economics and Management 2015 Conference, BEM2015* (pp. 649-655).
4. Kundzewicz, Z. W., Ulbrich, U. et al. (2005). Summer Floods in Central Europe – Climate Change Track? *Natural Hazards*, 36(1-2), 165-189.
5. Rufat, S., Tate, E., Burton, Ch. G., & Maroof, A. Say. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (14), 470-486.

6. Shulyarenko, A., Yatsyuk, M., & Shularenko, I. (n.d.). Causes and peculiarities of recent floods on the Dniester River (J. Marsalek, Ed.). In *Flood Issues in Contemporary Water Management* (Vol. 71, NATO Science Series 2. Environmental Security, pp. 95-100).
7. OSCE/UNECE Project. (2005). *Transboundary diagnostic study for the Dniester River basin*. Retrieved from <https://www.osce.org/ukraine/104057?download=true>.
8. Pylypovych, O., & Kovslchuk, I. (2017). *Geoecology of the Upper Dniester river-basin system*. Lviv, Kyiv: LNU of Ivan Franko (in Ukrainian).
9. Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). New Jersey: Pearson Education: Upper Saddle River.
10. Reiter, R. (2001). *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*. MIT Press.
11. McCarthy, J. (1963). *Situations, actions, and causal laws. Memo 2: Stanford University Artificial Intelligence Project*. Retrieved from <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/785031.pdf>.
12. Stefanyshyn, D. V. (2013). A method of forecasting of indexes of dynamic system that evolves slowly, based on time series analysis. In *4th Int. Conf. on Inductive Modelling* (pp. 221-224). Kyiv, Ukraine.
13. Stefanyshyn, D. V. (2017). Improving diagnostic models for forecasting the behavior of dams equipped with automated monitoring systems. *Mathematical modeling in economy*, (3-4), 50-61.
14. Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied Predictive Modeling*. New York: Springer Science+Business Media.
15. Geisser, S. (2016). *Predictive Inference: An Introduction*. New York: Chapman & Hall.
16. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (1991). *Time series: Theory and methods* (2nd ed.). Springer.
17. Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
18. Viessman, W. (Ed.). (1975). *Introduction to hydrology* (1st ed.). New York, London: Intext educational publishers.
19. *Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security* (1st ed., Vol. IV: Earth and Environmental Sciences, Nato Science Series). (2007). Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-5741-0>
20. Koutsoyiannis, D. (2008). *Probability and statistics for geophysical processes*. Athens: National Technical University of Athens. Retrieved from <https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1322/>.
21. Stefanyshyn, D. V. (2018). On the use of the type I Gumbel distribution to assess risks given floods. *Mathematical modeling in economy*, (1), 74-83.
22. Taleb, N. N. (2010). *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable* (2nd enlarged ed.). New York: Random House.
23. Kirshners, A., & Borisov, A. A. (2012). Comparative Analysis of Short Time Series Processing Methods. *Information Technology and Management Science*, (15), 65-69.
24. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klimenkov, O. (2018). TXT-tool 2.380-1.1: Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. In *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools* (pp. 491-508).

*The article was received 22.01.2019 and was accepted after revision 06.02.2019*

**Д.В. Стефанишин, В.М. Корбутяк, Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк**  
**СИТУАЦІЙНО-ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПОВЕНЕЙ**  
**В ДОЛІНІ РІЧКИ ДНІСТЕР БІЛЯ МІСТА ГАЛИЧ**

**Анотація.** Представлено метод ситуаційно-прогностичного моделювання безпеки повеней в долині річки Дністер біля міста Галич на підставі даних гідрологічних спостережень, отриманих на гідрологічному посту «Галич». Виявлено деякі характерні особливості в поведінці рівняння зв'язку між рівнями і витратами

води для водомірного поста «Галич», зокрема закономірності, що сприяють надійному прогнозуванню небезпеки повеней за допомогою статистичних даних, і неоднозначності, що ускладнюють подібне прогнозування. Показана можливість ефективного прогнозування небезпеки повеней в розглянутому районі за поточними даними гідрологічних спостережень для мінімізації можливих збитків і втрат.

**Ключові слова:** неоднозначність; дані; річка Дністер; небезпека повеней; гідрологічні спостереження; ситуаційна модель; ситуаційно-прогностичне моделювання

**Стефанишин Дмитро Володимирович**

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП)

**Адреса робоча:** 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11

**e-mail:** *d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua*

ORCID ID: 0000-0002-7620-1613

**Корбутяк Василь Михайлович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП)

**Адреса робоча:** 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID ID: 0000-0002-8273-2306

**Стефанишина-Гаврилюк Юлія Дмитрівна**

магістр з екології та охорони навколишнього середовища, менеджер ПП «АМ Лінгвіста»

**Адреса робоча:** 33028 Україна, м. Рівне, вулиця Княгині Ольги, 5, офіс 314

ORCID ID: 0000-0002-4121-5484

УДК 504.4.062.2

**Daria V. Kulikova**, PhD, Associate professor of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection  
ORCID ID: 0000-0003-0874-0188 *e-mail*: kisaalisa@i.ua

**Anneta A. Yurchenko**, PhD, Associate professor of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection  
ORCID ID: 0000-0002-6074-0145 *e-mail*: anneta2904@ukr.net

National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, Ukraine

## ENSURING THE CONDITIONS OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE SURFACE WATER OF UKRAINE BY CALCULATING THE VALUES OF THEIR ASSIMILATIVE CAPACITY

**Abstract.** *The values of discharge of circulating (waste) waters of different quality categories in surface water objects by regions of Ukraine are analyzed. For maintaining the natural equilibrium of aquatic ecosystems the indicators of actual and limit necessary of the multiplicity of dilution of circulating (waste) waters of different quality categories by local river runoff are calculated and analyzed. The values of the limit assimilative capacity of surface water objects, which can accept a certain amount of circulating (waste) waters without violating their ecological stability, is determined. The characteristics of the level of assimilative capacity utilization of local river runoff resources of different degrees of water availability are calculated and given. It has been established that in the years with average water availability the level of use of the assimilative capacity of local river runoff resources of the Nikolaev, Kharkiv and Kherson regions is characterized as “moderate”, and Odessa – as “high”. In the years with a very low river water content, the level of use of the assimilative capacity of surface water bodies in Kiev, Kirovograd, Luhansk, Lviv, Sumy and Cherkasy regions is rated as “moderate”, Mykolaiv and Kharkiv – as “high”, Kherson and Odessa – as “very high”. Regardless of the level of provision with local river runoff, the index of the use of the assimilative capacity of water resources in Zaporizhia, Donetsk, and Dnipropetrovsk regions exceeds the threshold value ( $I_{AC} = 1$ ) by 10.35–99 times.*  
**Key words:** *assimilative capacity; environmental safety; self-cleaning; wastewater; surface water; multiplicity of wastewater dilution*

**Д.В. Кулікова, А.А. Юрченко**

Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, м. Дніпро, Україна

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ УКРАЇНИ ШЛЯХОМ РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИН ЇХ АСИМІЛЯЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ

**Анотація.** *Проаналізовано величини скиду зворотних (стічних) вод різної категорії якості в поверхневі водні об'єкти за регіонами України. Розраховано та проаналізовано показники фактичної та гранично необхідної для підтримки природної рівноваги водних екосистем кратності розбавлення зворотних (стічних) вод різної категорії якості місцевим річковим стоком. Визначено значення граничної асиміляційної ємності поверхневих водних*

об'єктів, які можуть прийняти певну кількість зворотних (стічних) вод без порушення їхньої екологічної стійкості. Розраховано та надано характеристику рівня використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку різного ступеня водозабезпеченості. Встановлено, що в середній за водністю рік рівень використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку Миколаївської, Харківської та Херсонської областей характеризується як "помірний", Одеської – як "високий". В дуже маловодний рік рівень використання асиміляційної ємності поверхневих водних об'єктів Київської, Кіровоградської, Луганської, Львівської, Сумської та Черкаської областей оцінюється як "помірний", Миколаївської та Харківської – як "високий", Херсонської та Одеської – як "надзвичайно високий". Незалежно від рівня забезпеченості місцевим річковим стоком, індекс використання асиміляційної ємності водних ресурсів Запорізької, Донецької та Дніпропетровської областей перевищує граничне значення ( $I_{AE} = 1$ ) в 10,35–99 разів.

**Ключові слова:** асиміляційна ємність; екологічна безпека; самоочищення; стічні води; поверхневі водойми; кратність розбавлення стічних вод

## Вступ

Охорона навколишнього середовища та раціональне природокористування – одні з найбільш гострих і соціально значущих проблем сучасності.

На теперішній час природні екологічні системи відчувають постійно зростаючий антропогенний вплив, викликаний активною господарською діяльністю людини.

Водні ресурси є одним з основних елементів природного середовища та відіграють велику роль у розвитку людського суспільства. Вони нерівномірно розподілені по території країни, відрізняються значною тимчасовою мінливістю, відносно високим ступенем забруднення.

Масштаби водокористування та його впливу на природне середовище в останні десятиліття досягли таких розмірів, коли можливості використання водних ресурсів та вимоги до збереження водного середовища стали для більшості регіонів лімітуючим фактором соціально-економічного розвитку.

Проблема раціонального використання та охорони річок повинна вирішуватися комплексно, системно, з урахуванням взаємного впливу всіх факторів, процесів і компонентів географічної мережі, а також впливу господарської та інших видів діяльності з боку людини.

Одним із шляхів нормалізації екологічного стану водних екосистем є оцінка їх здатності до самоочищення шляхом розрахунку величин асиміляційної ємності для кожного водного об'єкта або частини його акваторії. Використання показників, що характеризують асиміляційну ємність ресурсів річкового стоку, дозволяє виявити порогові рівні антропогенної трансформації водних екосистем, розробити і впровадити природоохоронні заходи для поліпшення екологічного стану та забезпечення умов екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів.

## Мета роботи

Встановлення гранично допустимого рівня антропогенного навантаження на водні екосистеми шляхом розрахунку величин асиміляційної ємності ресурсів

місцевого річкового стоку для поліпшення екологічного стану та забезпечення умов екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів України.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Інтенсивна господарська діяльність в басейнах річок значно впливає на кількісні та якісні показники водних ресурсів та їх екологічний стан. Переважна більшість річок країни деградує, внаслідок надмірного антропогенного навантаження, що переважає над здатністю водних об'єктів до самоочищення і самовідновлення [1–5].

Малі та середні річки більш гостро, ніж великі, відчувають на собі антропогенний вплив, враховуючи їх невелику водність і гірше, як правило, очищення забруднених стічних вод. Їх русла приймають основне техногенне навантаження від підприємств-водокористувачів. Сьогодні господарська діяльність людини призвела до кризового стану малих і середніх річок. Для забезпечення екологічної безпеки поверхневих водойм необхідно, щоб темпи використання водних ресурсів, викликані природними процесами і антропогенним впливом, відповідали темпам відновлення водних екосистем в рамках збалансованого водокористування.

Результатом техногенного впливу на річки є втрата здатності водних екосистем до природного самоочищення і самовідновлення, тобто зниження їх асиміляційної ємності. Згідно з визначенням Ю.А. Ізраєля, асиміляційна ємність екосистеми – це показник максимальної динамічної місткості кількості забруднювачів, яка може бути за одиницю часу накопичена, зруйнована, трансформована і виведена за межі обсягу екосистеми без порушення її нормальної діяльності.

Питанням дослідження та використання показників асиміляційного потенціалу та асиміляційної ємності для екологічної оцінки стану водних екосистем присвячено роботи [6–11]. Аналіз літературних джерел свідчить, що існуючі методи оцінки відрізняються за цілями використання, принципами розробки, критеріями оцінювання, обсягом і характером наявної інформації, способом формалізації даних.

Необхідно відзначити, що на теперішній час загальноприйнятої єдиної методики оцінки асиміляційної ємності поверхневих водних об'єктів не існує. Тому необхідно застосовувати той метод, який краще за інші відповідає цілям і завданням дослідження, краще за інші забезпечений необхідною інформацією і надає найбільш адекватну оцінку.

Існує широке коло завдань, де такі оцінки можуть успішно використовуватися – при спостереженні за динамікою якості поверхневих вод, при оцінці ефективності роботи очисних споруд, при прогнозуванні якості водних екосистем і розробці водоохоронних заходів.

### **Матеріали і результати досліджень**

Для характеристики та оцінки впливу господарської діяльності на екологічний стан поверхневих водних об'єктів за регіонами України використовувалися дані Державного агентства водних ресурсів України [12]. Для визначення величин граничної асиміляційної ємності поверхневих водних об'єктів використовувалися середні багаторічні значення ресурсів місцевого річкового

стоку за регіонами України в роки з різним ступенем водозабезпеченості: середній за водністю (50%) та дуже маловодний (95%) [13].

Асиміляційна ємність поверхневих водних об'єктів оцінювалася за допомогою наступних груп показників:

1. Базові:

- величина загального скиду зворотних (стічних) вод в поверхневій водні об'єкти, млн м<sup>3</sup>;
- кількість зворотних (стічних) вод, що скидаються у водойми нормативно чистими (без очищення), млн м<sup>3</sup>;
- кількість стічних вод, що скидаються у водойми нормативно очищеними, млн м<sup>3</sup>;
- кількість стічних вод, що скидаються у водойми забрудненими та (або) недостатньо очищеними, млн м<sup>3</sup>;
- обсяг місцевого річкового стоку різного ступеня водозабезпеченості (в середній і дуже маловодний роки), млн м<sup>3</sup>.

2. Розрахункові:

- величина гранично необхідної кратності розбавлення зворотних (стічних) вод, що скидаються в поверхневій водойми, ум. од.;
- величина граничної асиміляційної ємності водного об'єкта, який приймає зворотні (стічні) води, млн м<sup>3</sup>;
- запас потенційно можливих для використання ресурсів місцевого річкового стоку, млн м<sup>3</sup>;
- індекс використання асиміляційної ємності водного об'єкта, ум. од.

Основним критерієм асиміляційного потенціалу водного об'єкта вважають кратність розбавлення стічних вод.

Показник необхідної кратності розбавлення об'єму зворотних (стічних) вод в об'ємі водного об'єкта є універсальною характеристикою. Він показує, у скільки разів збільшується обсяг води, яка приймає участь в розведенні стоку щодо первинного об'єму скинутих зворотних (стічних) вод.

Залежно від співвідношення витрат (об'єму) зворотних вод і витрат (об'єму) водного об'єкта, з урахуванням інтенсивності процесів розбавлення та самоочищення, що протікають в ньому, в кожному поверхневій водойму може бути скинута різна кількість стічних вод за певний період часу. При цьому граничний об'єм зворотних (стічних) вод, який можна скинути у водойму, не порушуючи санітарних вимог, обумовлений певною залежністю щодо норм якості води.

Природна здатність водойм і водотоків до самоочищення дуже незначна. Самоочищення настає тільки в тому випадку, якщо води, що скидаються, пройшли повне очищення, а у водному об'єкті вони були розбавлені водою у співвідношенні 1:12-15. Якщо ж у водойми і водотоки стічні води надходять у великому обсязі, а тим більше неочищеними (або недостатньо очищеними), поступово втрачається стійка природна рівновага водних екосистем, порушується їх нормальне функціонування, що робить ці річки непридатними для використання.

За рекомендацією [14], кратність розбавлення умовно чистої води повинна становити 1:3, господарсько-побутових очищених – 1:5, неочищених – 1:20, промислових очищених – 1:15, неочищених – 1:50, для стоків з урбанізованих територій – 1:3, із сільськогосподарських полів – 1:1. Ці значення кратності

розбавлення зворотних (стічних) вод були прийняті в якості базових для розрахунків.

В даний час водні ресурси України інтенсивно використовуються для різних потреб, і вже практично не залишилося річок з природним гідрологічним режимом, не порушеним впливом господарської діяльності.

Більшість річок відчувають вплив у вигляді скиду забруднених та (або) недостатньо очищених стічних вод промисловими, сільськогосподарськими та комунальними підприємствами безпосередньо у водні об'єкти.

Найважливішим чинником, що впливає на кількісні та якісні показники водних ресурсів, є скид стічних вод в поверхневі водойми.

Дані про величини скиду зворотних (стічних) вод різної категорії якості в поверхневі водні об'єкти за регіонами України у 2017 році наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Величини скиду зворотних (стічних) вод різної категорії якості в поверхневі водні об'єкти та показники водозабезпеченості регіонів України

Регіон	Скид зворотних (стічних) вод, млн м <sup>3</sup>				Забезпеченість місцевим річковим стоком, $V_{PC}$ , млн м <sup>3</sup> :	
	забруднені, $V_Z$	недостатньо очищені, $V_{НО}$	нормативно очищені, $V_O$	нормативно чисті без очищення, $V_{НЧБО}$	в середній за водністю рік (50%)	в дуже маловодний рік (95%)
Вінницька	0	1	27	35	2470	1160
Волинська	0	0	21	6	2180	940
Дніпропетровська	99	131	98	289	870	140
Донецька	0	200	95	445	1020	240
Житомирська	0	2	32	28	3150	1050
Закарпатська	0	4	29	3	7920	4470
Запорізька	0	64	45	847	620	130
Івано-Франківська	0	1	51	8	4590	2170
Київська	0	2	41	226	2040	760
Кіровоградська	0	1	15	20	950	270
Луганська	1	17	2	7	1460	450
Львівська	1	70	82	14	4920	2660
Миколаївська	0	22	1	37	570	160
Одеська	29	4	84	42	350	76
Полтавська	0	2	43	3	1940	760
Рівненська	0	4	24	20	2330	1270
Сумська	0	23	2	22	2450	1150
Тернопільська	1	2	17	9	1810	1050
Харківська	5	5	198	60	1660	710
Херсонська	1	0	22	38	140	20
Хмельницька	0	1	30	3	2140	1060
Черкаська	1	3	41	60	1010	410
Чернівецька	1	1	16	19	1230	490
Чернігівська	0	14	7	51	3450	1950
Україна в цілому	158	839	1023	2550	52400	29700

В середньому, в структурі відведення зворотних (стічних) вод у водні об'єкти за регіонами України переважають нормативно чисті води (без очищення), на частку яких припадає 55,8% від загальної кількості скиду. Значна частина нормативно чистих вод надходять в поверхневі водойми Запорізької та Київської (84%), Чернігівської (70,8%), Херсонської (62,3%),



Миколаївської (61,7%), Донецької (60,1%), Черкаської (57,1%), Вінницької та Кіровоградської (55,6%), Чернівецької (51,4%) областей.

Частка нормативно очищених стічних вод, що скидаються в поверхневі водойми за регіонами України, становить 22,4% від величини загального скиду, забруднених (включаючи й недостатньо очищених) – 21,9%. Відсоток стічних вод, що скидаються у водні об'єкти після очищення, залишається досить низьким, що вказує на відсутність зацікавленості підприємств-водокористувачів у впровадженні природоохоронних заходів, в тому числі й встановленні очисних споруд.

Більша частина забруднених та (або) недостатньо очищених стічних вод надходять в поверхневі водойми Луганської (66,7%), Сумської (48,9%), Львівської (42,5%), Дніпропетровської (37,3%), Миколаївської (36,7%), Донецької (27%), Одеської (20,7%) та Чернігівської (19,4%) областей.

Значна кількість нормативно очищених стічних вод надходить у водні об'єкти Полтавської (89,6%), Хмельницької (88,2%), Івано-Франківської (85%), Закарпатської (80,6%), Волинської (77,8%), Харківської (73,9%), Тернопільської (58,6%), Одеської (52,8%), Житомирської (51,6%), Рівненської (50%), Львівської (49,1%), Чернівецької (43,2%), Вінницької (42,9%), Кіровоградської (41,7%) та Черкаської (39,1%) областей.

Урахування можливості водного об'єкта до розбавлення, яке ґрунтується на гідрологічних даних та його здатності до самоочищення, дозволяє встановити режим скиду стічних вод у водойму та оцінити допустиму кількість стоків, тобто критичне екологічне навантаження. При цьому враховується природний стік як водного об'єкта, так і стічних вод.

Фактична кратність розбавлення зворотних (стічних) вод ( $K_{\phi}$ ), що скидаються у поверхневі водні об'єкти, визначається за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{V_{PC}}{V_{скид}}, \text{ ум. од.} \quad (1)$$

де  $V_{PC}$  – показники забезпеченості регіонів України місцевим річковим стоком в різні за водністю роки, млн  $\text{м}^3$ , значення яких наведено в табл. 1;  $V_{скид}$  – загальний скид зворотних (стічних) вод у поверхневі водойми за регіонами України, млн  $\text{м}^3$ , що визначається за формулою:

$$V_{скид} = V_3 + V_{НО} + V_O + V_{НЧБО}, \text{ млн } \text{м}^3. \quad (2)$$

Розраховані значення коефіцієнта  $K_{\phi}$  при різному рівні забезпеченості місцевим річковим стоком за регіонами України представлені в табл. 2.

Розрахунок величин фактичної кратності розбавлення показав, що, при наявному обсягу скиду зворотних (стічних) вод різної категорії якості, поверхневі водойми Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Київської, Кіровоградської, Миколаївської, Одеської, Харківської, Херсонської та Черкаської областей не мають достатніх ресурсів для розведення і процесів самоочищення стоків. Найгірша ситуація складається в дуже маловодні роки. При 95-відсотковому рівні забезпеченості місцевим річковим стоком водних об'єктів Запорізької, Дніпропетровської, Донецької, Херсонської та Одеської

областей показник фактичної кратності розбавлення складає 1:0,14-0,48, тобто процес розведення не здійснюється.

Таким чином, внаслідок надмірного антропогенного навантаження, водні ресурси даних областей повністю втратили свою здатність до самоочищення, оскільки стресовий стан поверхневі водойми починають відчувати, якщо кратність розбавлення зворотних (стічних) вод чистою річковою водою стає нижче 1:10.

Раніше, коли антропогенне навантаження на водні об'єкти було незначним, вважалося, що для підтримки нормальної здатності водойм до самоочищення кратність розбавлення зворотних (стічних) вод повинна становити 1:10. Однак сьогодні деякі стічні води вимагають більшого розведення чистою річковою водою.

Найбільш досконалі очисні споруди забезпечують очищення стічних вод від органічних забруднень тільки на 85–90%, і лише в окремих випадках – на 95%. Тому навіть після очищення необхідно розбавляти очищені стоки чистою водою у співвідношенні 1:6-12, а часто й більше для збереження нормальної життєдіяльності водних екосистем.

При розрахунку гранично необхідної кратності розбавлення зворотних (стічних) вод ( $K_{ГН}$ ) різної категорії якості, що скидаються в поверхневі водні об'єкти за регіонами України, були прийняті наступні співвідношення: для нормативно чистих вод (без очищення) – 1:3, для нормативно очищених – 1:15, для забруднених (включаючи недостатньо очищені) – 1:50.

Величина гранично необхідної кратності розбавлення зворотних (стічних) вод різної категорії якості, що скидаються у поверхневі водойми, визначалася за формулою:

$$K_{ГН} = \frac{3 \cdot V_{НЧБО} + 15 \cdot V_O + 50 \cdot (V_3 + V_{НО})}{V_{скид}}, \text{ ум. од.} \quad (3)$$

Результати розрахунку гранично необхідної кратності розбавлення зворотних (стічних) вод, що скидаються у поверхневі водні об'єкти за регіонами України, наведені в табл. 2.

Розраховані величини гранично необхідної кратності розбавлення стічних вод дозволяють визначити наскільки насправді відповідають один одному фактичні і теоретичні значення даного показника. В даний час фактична кратність розбавлення зворотних (стічних) вод, що скидаються в поверхневі водні об'єкти Вінницької, Волинської, Житомирської, Закарпатської, Івано-Франківської, Рівненської, Тернопільської, Хмельницької, Чернівецької та Чернігівської областей, навіть в дуже маловодний рік, перевищує гранично необхідні для забезпечення нормального функціонування водойм величини в 1,2–7 разів.

При скиді зворотних (стічних) вод у поверхневі водойми Полтавської області значення фактичної кратності розбавлення в дуже маловодний рік (95-відсотковий рівень забезпеченості місцевим річковим стоком) відповідає теоретично необхідній величині. В той же час в дуже маловодний рік значення коефіцієнта  $K_{\phi}$  для поверхневих водних об'єктів інших областей України значно нижче величин гранично необхідної кратності розбавлення зворотних (стічних) вод в 1,1–97,5 разів.

Таблиця 2 – Результати розрахунку показників, що характеризують асиміляційну ємність поверхневих водних об'єктів за регіонами України при різному рівні забезпеченості місцевим річковим стоком

Регіон	Кратність розбавлення зворотних (стічних) вод, ум. од.			Гранично асиміляційна ємність поверхневих водойм, млн м <sup>3</sup> , при рівні забезпеченості:		Потенційно можливі для використання ресурси місцевого річкового стоку, млн м <sup>3</sup> , при рівні забезпеченості:		Індекс використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку, ум. од., при рівні забезпеченості:	
	K <sub>Ф</sub> при рівні забезпеченості:		K <sub>ГН</sub>						
	50%	95%							
	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	
Вінницька	39,21	18,41	8,89	277,84	130,48	214,84	67,48	0,23	0,48
Волинська	80,74	34,82	12,33	176,81	76,24	149,81	49,24	0,15	0,35
Дніпропетровська	1,41	0,23	22,43	38,79	6,24	-578,21	-610,76	15,91	98,88
Донецька	1,38	0,32	17,24	59,17	13,92	-680,83	-726,08	12,51	53,16
Житомирська	50,81	16,94	10,71	294,12	98,04	232,12	36,04	0,21	0,63
Закарпатська	220	124,17	17,89	442,71	249,86	406,71	213,86	0,08	0,14
Запорізька	0,65	0,14	6,71	92,4	19,37	-863,6	-936,63	10,35	49,36
Івано-Франківська	76,5	36,17	13,98	328,33	155,22	268,33	95,22	0,18	0,39
Київська	7,58	2,83	5,18	393,82	146,72	124,82	-122,28	0,68	1,83
Кіровоградська	26,39	7,5	9,31	102,04	29,0	66,04	-7,0	0,35	1,24
Луганська	54,07	16,67	35,22	41,45	12,78	14,45	-14,22	0,65	2,11
Львівська	29,46	15,93	28,87	170,42	92,14	3,42	-74,86	0,98	1,81
Миколаївська	9,5	2,67	20,43	27,9	7,83	-32,1	-52,17	2,15	7,66
Одеська	2,2	0,48	19,09	18,33	3,98	-140,67	-155,02	8,67	39,95
Полтавська	40,42	15,83	15,71	123,49	48,38	75,49	0,38	0,39	0,99
Рівненська	48,54	26,46	12,92	180,34	98,3	132,34	50,3	0,27	0,49
Сумська	52,13	24,47	26,51	92,42	43,38	45,42	-3,62	0,51	1,08
Тернопільська	62,41	36,21	14,9	121,48	70,47	92,48	41,47	0,24	0,41
Харківська	6,19	2,65	13,62	121,88	52,13	-146,12	-215,87	2,2	5,14
Херсонська	2,3	0,33	8,1	17,28	2,47	-43,72	-58,53	3,53	24,7
Хмельницька	62,94	31,18	14,97	142,95	70,81	108,95	36,81	0,24	0,48
Черкаська	9,62	3,91	9,48	106,54	43,25	1,54	-61,75	0,99	2,43
Чернівецька	33,24	13,24	10,73	114,63	45,67	77,63	8,67	0,32	0,81
Чернігівська	47,92	27,08	13,31	259,2	146,51	187,2	74,51	0,28	0,49
Україна в цілому	11,5	6,5	15,94	3287,33	1863,24	-1282,67	-2706,76	1,39	2,45

В цілому, за регіонами України, незалежно від рівня забезпеченості місцевим річковим стоком, фактична кратність розбавлення зворотних (стічних) вод нижча за гранично необхідну в 1,4 раза в середній за водністю рік і в 2,5 рази – в дуже маловодний.

Визначивши значення гранично необхідної кратності розбавлення  $K_{ГН}$ , знаходимо величину граничної асиміляційної ємності водного об'єкта, яка виражається як максимальна кількість зворотних (стічних) вод, яка може бути скинута в поверхневу водойму без порушення її екологічної стійкості. Значення граничної асиміляційної ємності водних об'єктів визначається як відношення величин річкового стоку різного рівня водозабезпеченості до розрахованої раніше гранично необхідної кратності розбавлення стічних вод:

$$AE_{ГР} = \frac{V_{PC}}{K_{ГН}}, \text{ млн м}^3. \quad (4)$$

Отримані результати розрахунку наведені в табл. 2.

У результаті розрахунку встановлено граничні величини асиміляційної ємності водних об'єктів за регіонами України, що відповідають теоретичному об'єму зворотних (стічних) вод, які можуть бути скинуті в поверхневі водойми без шкоди для їхніх екосистем.

Знаючи величини граничної асиміляційної ємності поверхневих водних об'єктів за регіонами України та кількість вже експлуатованих водних ресурсів, яка виражається фактичними обсягами скиду зворотних (стічних) вод різної категорії якості, можна розрахувати значення запасу потенційно можливих для використання ресурсів місцевого річкового стоку, які визначаються за формулою:

$$V_{ЗПМР} = AE_{ГР} - V_{скид}, \text{ млн м}^3. \quad (5)$$

Результати розрахунку запасу потенційно можливих для використання ресурсів місцевого річкового стоку різного ступеня забезпеченості за регіонами України наведені в табл. 2.

Встановлено, що в дуже маловодний рік (95-відсотковий рівень водозабезпеченості) запас потенційно можливих для використання ресурсів місцевого річкового стоку в Дніпропетровській, Донецькій, Запорізькій, Київській, Кіровоградській, Луганській, Львівській, Миколаївській, Одеській, Сумській, Харківській, Херсонській та Черкаській областях повністю освоєно. Це означає, що кількість зворотних (стічних) вод різної категорії якості, що надходять у водні об'єкти цих областей України, перевищує максимально можливий обсяг стоків, які можуть бути скинуті у водойми без порушення їхньої екологічної стійкості.

Найбільш забезпечені запасом потенційно можливих для використання ресурсів місцевого річкового стоку західні області України.

У середній за водністю рік (50-відсотковий рівень водозабезпеченості) незначний запас потенційно можливих для використання водних ресурсів мають Київська, Кіровоградська, Луганська, Львівська, Сумська та Черкаська області.

Індекс використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку різного ступеня забезпеченості визначався зі співвідношення:

$$I_{AE} = \frac{V_{скид}}{AE_{ГР}}, \text{ ум. од.} \quad (6)$$

Результати розрахунку індексу використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку різного ступеня забезпеченості за регіонами України наведені в табл. 2.

Рівень використання асиміляційної ємності ресурсів річкового стоку за отриманими значеннями індексу  $I_{AE}$  оцінювався відповідно до запропонованої класифікації, наведеної в табл. 3.

Таблиця 3 – Оціночна шкала рівня використання асиміляційної ємності ресурсів річкового стоку

Діапазони значень індексу $I_{AE}$	$\leq 1$	1–5	5–10	$> 10$
Характеристика рівня використання асиміляційної ємності ресурсів річкового стоку	допустимий	помірний	високий	надзвичайно високий

За результатами проведених розрахунків встановлено, що рівень використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку Вінницької, Волинської, Житомирської, Закарпатської, Івано-Франківської, Полтавської, Рівненської, Тернопільської, Хмельницької, Чернівецької та Чернігівської областей, незалежно від ступеня водозабезпеченості, оцінюється як “допустимий”. В середній за водністю рік рівень використання асиміляційної ємності водних ресурсів Київської, Кіровоградської, Луганської, Львівської, Сумської та Черкаської областей оцінюється як “допустимий”, а в дуже маловодний рік – як “помірний”.

При 50-відсотковому ступені забезпеченості місцевим річковим стоком індекс  $I_{AE}$  поверхневих водних об’єктів інших областей України перевищує граничне значення ( $I_{AE} = 1$ ). При цьому рівень використання асиміляційної ємності ресурсів місцевого стоку Миколаївської, Харківської та Херсонської областей характеризується як “помірний”, Одеської – як “високий”. При 95-відсотковому ступені забезпеченості місцевим річковим стоком рівень використання асиміляційної ємності поверхневих водних об’єктів Миколаївської та Харківської областей оцінюється як “високий”, а Херсонської та Одеської – як “надзвичайно високий”. Слід зазначити, що незалежно від рівня забезпеченості місцевим річковим стоком, індекс використання асиміляційної ємності  $I_{AE}$  водних ресурсів Запорізької, Донецької та Дніпропетровської областей перевищує граничне значення в 10,35–99 разів.

## Висновки

1. Втрата здатності поверхневих водойм до самоочищення, внаслідок тривалого і надмірного надходження забруднених та (або) недостатньо очищених стічних вод, неминуче призведе до забруднення водних екосистем. Використання такої води населенням для господарсько-питних або культурно-побутових цілей може призвести до негативних наслідків для здоров'я людини.

2. Вперше на основі аналітичних досліджень визначено значення граничної асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку в регіонах України, використання яких дає змогу визначити порогові рівні перетворення водних екосистем без порушення їхнього нормального функціонування.

3. Гранична асиміляційна ємність поверхневих водних об’єктів в більшості випадків є перевищеною. Це означає, що кількість зворотних (стічних) вод різної категорії якості, що надходять у водні об’єкти, перевищує максимально можливий обсяг стоків, які можуть бути скинуті у водойми без порушення їхньої екологічної стійкості. Тому одним з головних завдань сталого водокористування є приведення темпів скиду забруднених стічних вод до розрахованої величини граничної асиміляційної ємності водних екосистем, цінність якої буде підвищуватися в міру перевищення стійких меж антропогенного навантаження.

4. Результати досліджень можуть бути використані у практиці збереження водних ресурсів для розробки та впровадження природоохоронних заходів, спрямованих на дотримання нормативних показників якості навколишнього середовища, збереження та раціонального використання водних екосистем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комплексна оцінка екологічного стану басейну Дніпра / В.Д. Романенко та ін.; К.: ІГБ НАН України, 2000. 102 с.
2. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський та ін.; К.: Ніка-Центр, 2009. 184 с.
3. Крайнюков О.М. Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2015. №3-4. С. 71-77.
4. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський та ін.; К.: Ніка-Центр, 2013. 180 с.
5. Лозовіцький П.С., Лозовіцький А.П. Хімічний склад води річок Українського Полісся і екологічна оцінка їх якості. Водне господарство України. 2007. №5. С. 45-54.
6. Удод В.М., Вільдман І.А. Наукове обґрунтування використання показників асиміляційного потенціалу та асиміляційної ємності для екологічної оцінки стану гідроекосистем річок. Екологічна безпека. 2014. Вип. 1/2014 (17). С. 50-53.
7. Цепенда М.М. Господарська освоєність асиміляційного потенціалу річок басейну Середнього Дністра. Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. 2012. №18. С. 28-35.
8. Cairns, Jr. J. (1999). Assimilative Capacity – the Key to Sustainable Use of the Planet. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 6 (4), 259-263. Doi: 10.1023/A:1009902127556.
9. Chiejine, C.M., Igboanugo, A.C., Ezemonye, L.I.N. (2016). Diverse Approaches to Modelling the Assimilative Capacity of a Polluted Water Body. *Nigerian Journal of Technology*, 35 (1), 196-209. Doi: 10.4314/njt.v35i1.27.
10. Glasoe, S., Steiner, F., Budd, W., Young, G. (1990). Assimilative Capacity and Water Resource Management: Four Examples from the United States. *Landscape and Urban Planning*, 19 (1), 17-46. Doi: 10.1016/0169-2046(90)90033-X.
11. Hernandez, E., Uddameri, V. (2013). An Assessment of Optimal Waste Load Allocation and Assimilation Characteristics in the Arroyo Colorado River Watershed, TX along the US-Mexico border. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15, 617-631. Doi: 10.1007/s10098-012-0546-6.
12. Статистичний збірник «Довкілля України за 2017 рік» / ред. О.М. Прокопенко. К.: Державна служба статистики України, 2018. 225 с.
13. Вишневецький В.І. Гідрологічні характеристики річок України / В.І. Вишневецький, О.О. Косовець. К.: Ніка-Центр, 2003. 324 с.
14. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.

Стаття надійшла до редакції 01.02.2019 і прийнята до друку після рецензування 19.02.2019

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Romanenko, V. D. (2000). *Kompleksna ocinka ekologichnogo stanu basejnu Dnipra*. Kyiv: IGB NAN Ukrayini (in Ukrainian).
2. Hilchevskij, V. K. (2009). *Vodni resursi ta yakist richkovih vod basejnu Pivdenного Bugu*. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).

3. Krajnyukov, O. M. (2015). Suchasnij ekologichnij stan vodnih ob'ektiv basejnu richki Siverskij Donec. *Lyudina ta dovkillya. Problemi neoekologiyi*, (3-4), 71-77 (in Ukrainian).
4. Hilchevskij, V. K. (2013). *Gidrohimichnij rezhim ta yakist poverhnevih vod basejnu Dnistra na teritoriyi Ukraini*. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).
5. Lozovickij, P. S., & Lozovickij, A. P. (2007). Himichnij sklad vodi richok Ukrayinskogo Polissya i ekologichna ocinka yih yakosti. *Vodne gospodarstvo Ukraini*, (5), 45-54 (in Ukrainian).
6. Udod, V. M., & Vildman, I. A. (2014). Naukove obruntuvannya vikoristannya pokaznikov asimilyacijnogo potencialu ta asimilyacijnoyi yemnosti dlya ekologichnoyi ocinki stanu gidroekosistem richok. *Ekologichna bezpeka*, 1(17), 50-53 (in Ukrainian).
7. Cependa, M. M. (2012). Gospodarska osvoyenist asimilyacijnogo potencialu richok basejnu Serehnogo Dnistra. *Naukovij visnik Volinskogo nacionalnogo universitetu imeni Lesi Ukrainki. Geografichni nauki*, (18), 28-35 (in Ukrainian).
8. Cairns, Jr. J. (1999). Assimilative Capacity – the Key to Sustainable Use of the Planet. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 6(4), 259-263. doi: 10.1023/A:1009902127556.
9. Chiejine, C., Igboanugo, A., & Ezemonye, L. (2015). Diverse approaches to modelling the assimilative capacity of a polluted water body. *Nigerian Journal Of Technology*, 35(1), 196. doi: 10.4314/njt.v35i1.27
10. Glasoe, S., Steiner, F., Budd, W., & Young, G. (1990). Assimilative Capacity and Water Resource Management: Four Examples from the United States. *Landscape and Urban Planning*, 19(1), 17-46. doi: 10.1016/0169-2046(90)90033-X.
11. Hernandez, E., & Uddameri, V. (2013). An Assessment of Optimal Waste Load Allocation and Assimilation Characteristics in the Arroyo Colorado River Watershed, TX along the US-Mexico border. *Clean Technologies and Environmental Policy*, (15), 617-631. doi: 10.1007/s10098-012-0546-6.
12. Prokopenko, O. M. (Ed.). (2018). *Statistichnij zbirnik «Dovkillya Ukraini za 2017 rik»*. Kyiv: Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini (in Ukrainian).
13. Vishnevskij, V. I., & Kosovec, O. O. (2003). *Hydrological characteristics of the rivers of Ukraine*. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).
14. Koronkevich, N. I. (1990). *The water balance of the Russian Plain and its anthropogenic changes*. Moscow: Nauka (in Russian).

*The article was received 01.02.2019 and was accepted after revision 19.02.2019*

### **Кулікова Дар'я Володимирівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”

**Адреса робоча:** 49005 Україна, м. Дніпро, проспект Дмитра Яворницького, 19

**тел.** 097 571 4553 **e-mail:** kisaalisa@i.ua

**ORCID ID:** 0000-0003-0874-0188

### **Юрченко Анна Анатоліївна**

доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”

**Адреса робоча:** 49005 Україна, м. Дніпро, проспект Дмитра Яворницького, 19

**тел.** 067 637 5302 **e-mail:** anneta2904@ukr.net

**ORCID ID:** 0000-0002-6074-0145

## ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

UDK 55; 504; 574

**Volodymyr D. Pohrebennyk**, Professor, D.S., Professor at the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity of Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development

ORCID ID: 0000-0002-1491-2356 *e-mail*: [vpohreb@gmail.com](mailto:vpohreb@gmail.com)

**Elvira A. Dzhumelia**, Postgraduate Student at the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity of Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development

ORCID ID: 0000-0003-3146-8725 *e-mail*: [elviradzhumelia@gmail.com](mailto:elviradzhumelia@gmail.com)

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

### ENVIRONMENTAL HAZARDS OF THE MINING AND CHEMICAL ENTERPRISES TERRITORY

**Abstract.** *The ecological situation in most mining regions in Ukraine is critical, and the closure of unprofitable mining enterprises, mines and cuts creates environmental problems associated with significant changes in the geological and hydrological environment.*

*The purpose of the work is to assess the environmental hazard of the territory of the Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka".*

*The research was carried out on the territory of Rozdil SMCE "Sirka". Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" is in the West of Ukraine (Lviv region) of the Dniester River basin. According to the State Register of Potentially Hazardous Objects (PHO) of Ukraine, Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" belongs to the monitoring facilities of PHO.*

*The X-Ray Diffraction (XRD) method was used experimentally to determine the qualitative and quantitative composition of heavy metals and other inorganic elements in samples, soil pollution with heavy metals. The main threats were identified which should be considered at the stage of liquidation of the mining and chemical enterprise. The main reason for pollution of the water objects of the enterprise territory and the Dniester River is the non-performance of the project on maintenance of ecological balance, monitoring, reclamation of the territory of the land due to lack of financing for the implementation of projects. In this regard, sources of pollution (phosphogypsum, oil tars, lump sulfur, flotation tails, solid waste) constantly affect the environment and over the years the situation is still dangerous. On the example of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" the main problems of the monitoring system of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation are demonstrated. The influence of*



*the mining and chemical enterprise on the state of pollution of the environment: soil, water environment, and waste management status were also assessed.*

*Also, according to the obtained data, in the man-made reservoirs of the enterprise (Lake Hlyboke, Lake Serednie, Lake Chyste, channels), which flow into the Dniester River, an excess of the MPC is seen in many hydrochemical parameters: pH, sulfates, phosphates, ammonium nitrogen, etc.*

**Keywords:** *mining and chemical enterprise; heavy metals; reclamation; environmental hazard; water pollution; soil pollution*

## Introduction

Ukraine belongs to the leading mineral-raw countries of the world with a wide range of minerals. Ukraine – 0.4% of the Earth's surface and 0.8% of the world's population – has about 5% of the world's mineral resources.

The main ecological problems of mining operations for Lviv enterprises are rather specific: the environment is not influenced by the activity of enterprises, but the consequences of their activities in the past, the main issue today is the elimination of these consequences. The main factors of negative influence are the extremely high concentrations of mining enterprises, the important level of production of most deposits, the insufficient amount of financing for work aimed at reducing the environmental impact caused by the exploitation of deposits.

The closure of mining enterprises leads to unforeseen deterioration of the environmental situation, and the scale of this problem causes catastrophic consequences. The neglect during the closure of the mining and chemical enterprises with the requirements of technological and environmental safety leads to significant changes in the quality of underground and surface waters, soil contamination, flooding and waterlogging of the territories, pollution of rivers, sediments of the earth's surface, etc. The problems of waste management of mining enterprises are acute, an imbalance between spent and re-cultivated land in mining enterprises is maintained, and as a result, the risk of physical destruction and chemical pollution of industrial facilities, residential buildings, and communications in the surrounding areas.

Mining complexes as an essential part of economic transformations take in the change of balance of matter, structure and energy of the planetary spheres, exclusively active participation. The main task of environmental safety in the industry soon is to prevent the increase of pollution and depletion of natural objects [1].

**The purpose** of the work is to assess the environmental hazard of the territory of the Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka".

Today, environmental safety issues have covered all countries and continents, touched on the interests, and needs of every inhabitant on the planet, acquired a global, global character.

This condition is due to a few circumstances, of which the following should be highlighted:

- the ratio of the scale of manifestation and the degree of environmental impact of the processes and industries that are created by the hand and will of man, with the natural processes that occur in nature;

- in the pollution of the environment a significant share falls on the mineral and industrial complex [1–6].

A comparison of the influence of several types of mineral raw materials on the natural environment of Ukraine shows in table 1.

Table 1 – Comparative characteristics of the influence on the natural environment the development of various types of mineral raw materials of Ukraine [7]

Mining region	Disturbed surface area, km <sup>2</sup>	The volume of mine water flow per day, 10 <sup>1</sup> m <sup>3</sup>	Dangerous geological processes development	Volume of accumulated waste, mln. m <sup>3</sup>	Nature contamination of soils
Donbas (coal)	15000	2.5	Subsidence, flooding, landslides, karst, erosion	1050.0	Complex (heavy metals, petroleum products, chemical compounds)
Lviv-Volynsky (coal)	150	0.06	Subsidence, flooding, karst	0.05	Complex (heavy metals, chemical compounds)
Dniprovskiyi (brown coal)	20	0.24	landslides, flooding	Insignificant	Complex (heavy metals, petroleum products)
Dniprovsko-Donetska Depression (oil and natural gas)	Insignificant	–	Insignificant, local	Non-available	Complex local (petroleum products)
Kryvbas (iron)	170	0.13	Subsidence, flooding, landslides, karst	1.6	Complex (heavy metals, petroleum products, chemical compounds)
Pre-carpathians (sulfur)	150	0.13	Subsidence, flooding, landslides, karst, suffusion	Over 50.0	High contamination (chemical compounds, sulfur, salts)

Deforestation and vegetation violations take place in open areas, during storing on the surface of overburden and dumps of mineral raw materials, during road laying and construction of facilities for the maintenance of mining enterprises.

Changing of the earth's surface occurs when the minerals are discovered in the places where quarries are created, the shaft shafts are located, and during the underground extraction of minerals as a result of the surface subsidence. During the removal of rocks, the surface of the soil subsidences. The formed deposits are filled with water. Such a phenomenon is seen in the Precarpathians region during the development of potassium salts and the extraction of sulfur. The reservoirs that formed there reach a depth of 3 meters.

Mining developments violate soil hydrology, lead to an increase in the runoff of mines and mine waters that carry a significant amount of pollutants: chloride compounds, sulfuric acid, soluble iron salts, manganese, copper, zinc, nickel, and others. Heavy metals are especially dangerous for human health: Cd, Mo, Ni, Zn, Va, Be, as well as metal-poisons – Hg, As, Se, Pb.

The solution of the problems of technological and ecological safety needs:

- implementation of the restructuring of the man-made environment, technical re-equipment of the production complex based on the introduction of the latest scientific achievements, energy, and resource-saving technologies, non-waste and environmentally safe technological processes, the use of renewable energy sources, solving the problems of neutralization and use of all types of waste;

- establishment of effective environmental control over scientific research work on the creation of objects of artificial origin, their design, construction and functioning in order to manage man-made loads, rational use of natural resources and the placement of productive forces;

- realization the classification of regions of Ukraine according to levels of man-made and ecological loads, creation of maps of man-made and ecological loads;

- development of a methodology for determining the degree of environmental risk for the environment caused by man-made objects;

- conducting researches in order to create a system of models of monitoring of objects of observation in industry, energy, construction, transport and agriculture [2, 3].

Violation of soil hydrology leads to a decrease in the yield of cultivated areas next to the mines where mining is carried out. With the open-pit method of development around the quarries, the depression funnel grows, power is reduced by aqueous solutions of the soil layer with all its consequences [4, 5].

According to the State Register of Potentially Hazardous Objects (PHO) of Ukraine, Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" belongs to the monitoring facilities of PHO [6].

### **Analysis of recent research in the field of environmental safety and monitoring of the territory as a result of the activity of the mining and chemical enterprise**

The study and research of the affected areas because of extraction of minerals, the study of technogenic landscapes, the soil cover was carried out by many scientists, among whom: B.I. Volosetskyi, A.M. Haidin, I.I. Zozulia, O.H. Maryshevych, L.P. Markovych, L.V. Motorina, R.M. Panas, H.I. Rudko, L.Ye. Shkitsa, A. Gąsiewicz, M. Ossowska and others. The issue of studying and studying the land cadastre has been highlighted in studies and publications M.H. Lykhohrud, A.A. Liashchenko, A.H. Martyn, A.M. Mukhovykov, L.M. Perovych, O.S. Petrakovska, M.H. Stupen, R.B. Taratula, A.M. Tretiak, P.H. Cherniaha and other scientists. Problems with the improvement of the ecological state, streamlining of disturbed territories, development of scientifically substantiated recommendations and suggestions on effective use of disturbed lands are still unsolved. The solution of these problems depends essentially on monitoring the state of the environment in the area of activity of mining and chemical works, which will enable to create an objective and reliable model of the state of the environment and react in a timely manner to adverse changes.

## Problem Statement

Now, after the completion of the development of minerals, as a rule, there is a question of developing projects for the construction of disturbed territories. One of the essential elements of such projects is environmental monitoring, which involves identifying and assessing man-made processes and phenomena that can negatively affect the natural environment, lead to accidents and crises. In our opinion, this is a one-sided, only ecological approach, by which it is impossible to foresee or predict the creation of appropriate landscapes in disturbed territories. There is no ecological-landscape monitoring, which involves the formation of ecological and man-made landscapes on disturbed lands, taking into account the former natural landscapes and the present, created by human production activities in Ukraine.

The main sources of environmental hazard after the activity of the mining and chemical enterprise are industrial waste. During 2017, 2542.1 thousand tons of waste was created in the Lviv region (by 8.4% less than in 2016), including 2367.2 thousand tons from the economic activity of enterprises and organizations (93.1% of all and 7.0% less), 174.9 thousand tons in households (6.9% of all and 23.5% less).

The main part of the waste generated in the region in 2017 (99.9% of the total volume) belongs to hazard class IV waste. 2645 tons of waste of I-III class of danger were formed, including I class – 40 tons, II class – 503 tons, III – 2102 tons. In 2017, the total volume of waste utilization of all classes of hazard was 603.0 thousand tons, and compared with 2016 it increased by 24.9%, the volume of utilization of waste I-III classes of danger increased by 65.4%. The share of wastes that were disposed of amounted to 23.7% in the total volume formed in 2017. In 2017, there were 45 plants for utilization of waste with a total capacity of 236.3 thousand tons per year, for combustion for energy purposes were 76 units (161.6 thousand tons per year).

One third (37.0%) of the total volume of wastes generated in 2017 was mining waste and quarry development during the extraction and enrichment of ores and mineral raw materials, 20.4% were waste of medical, veterinary, or agricultural origin, pharmaceutical products, etc.

One of the most dangerous and most widespread environmental pollutants are heavy metals, the source of which may be industrial waste from the mining and chemical enterprise.

Even high-grade mineral ores consist almost entirely of non-metallic materials and often contain undesired toxic metals (such as cadmium, lead, and arsenic). The beneficiation process generates high-volume waste called ‘tailings’, the residue of an ore that remains after it has been milled and the desired metals have been extracted (e.g., with cyanide (gold) or sulfuric acid (copper)).

To reduce the harmful effects of heavy metals, appropriate rules for their content are introduced:

1. MPC of the gross content of heavy metals in the arable layer of soil and plant mass, mg/kg;
2. MPC of moving forms of heavy metals in soil, mg/kg;
3. Clarke of heavy metals in soil, mg/kg.

Pollution of soil by industrial facilities is a serious potential threat to human health, ecosystems and the economy as a whole. The consequences are not yet clearly identified due to the presence of a large number of dangerous compounds and their various contents in the soil.

The consequences can be as follows:

- the receipt of hazardous substances into the soil, surface and groundwater;
- the absorption of pollutants by plants;
- direct contact of people with contaminated soil;
- inhalation of dust particles or volatile substances;
- fire or discharge of gases in landfills of domestic and industrial waste;
- corrosion of pipes and other elements of underground communications;
- formation of harmful secondary waste;
- conflicts during land cultivation and use [8–13].

## Site information

The research was carried out on the territory of Rozdil SMCE “Sirka”. Rozdil State Mining and Chemical Enterprise “Sirka” is located in the West of Ukraine (Lviv region) of the Dniester River basin. The enterprise is located between latitudes 49°28'32.20"N and 49°25'53.18N, and longitudes 24° 6'21.46"E and 24° 5'12.22"E (Fig. 1). On the balance sheet of this enterprise are storage technological waters – man-made lakes Hlyboke, Serednie, Kysle, Chyste.

The total area of land use of the Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" as of 01.01.2015 is 1816.24 hectares (Fig. 1), in particular:

- in the Mykolaiv district – 967 hectares, including:
  - a) on the territory of Krupsk village council – 47.0 hectares;
  - b) on the territory of Berezyna village council – 545.0 hectares;
  - c) on the territory of the Rozdil Settlement Council – 245.4 hectares;
  - d) on the territory of Berezdivtsi village council – 130.0 hectares;
- in Zhydachiv district – 30.3 hectares;
- in Novyi Rozdil city – 818.5 hectares.

Due to the long-term activity (1956–1996) of the Rozdil SMCE "Sirka" on its territory different wastes were formed. They are the sources of environmental hazard:

- lump sulphur – 700 m<sup>3</sup>;
- sulphur ore tailings – 85 million t;
- sediment of recycled waters – 1.29 million m<sup>3</sup>;
- phosphogypsum – 3 million t;
- goudrons (imported from Hungary) – 17 thousand t;
- solid household waste – 560 thousand m<sup>3</sup>.

Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" used an open method of sulfur extraction. It should be noted that the open pit mining method has higher impact on the morphology and landscape compared to the underground one. The main activity of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise “Sirka” is the implementation of environmental works according to the project: “Liquidation of sulfur quarries and restoration of ecological balance and landscape around activity of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise “Sirka”.

## Methods of Analysis

Excessive amounts of heavy metals in soils is a very dangerous ecological factor, the effect of which is aggravated by the penetration of compounds of heavy metals into

groundwater, accumulation in plant organisms, negative impact on soil organisms and the cultivation of environmentally hazardous products.

In order to determine the qualitative and quantitative composition of metals and other inorganic elements in the samples, X-Ray Diffraction (XRD) technique was used. The concentration of elements in the sample was determined by X-ray spectrometry using an S2 PICOFOX Bruker X-ray spectrometer - detector type: silicon drift detector, high voltage generator: MNX 50P50 / XCC, X-ray source: metal ceramic air cooled MCB50-0.7G, X-ray optics: multilayer monochromator.

Direct sample preparation.

1. An aqueous solution of a concentrated gallium standard (100  $\mu$ l) in distilled water (10 ml) was prepared.

2. To 20 ml of a gallium standard water solution was added to 1 ml of the sample and mixed well in vortex (5 seconds).

3. Prepared samples were applied to quartz media and analyzed on an X-ray spectrometer. The analysis time was 1000 seconds. The determinations were carried out in Manuel off mode - work at maximum 50W lamp power, 50 keV energy.

4. Results are expressed in units of  $\mu$ l / l [14–17].

## Results of Research

The main threats to be considered at the stage of completion of the exploitation of the deposit are chemical pollution of soils, waters, geophysical disturbance of the stability of the territory [10]. There is the satellite image of the territory of the enterprise and the main sources of ecological danger (Fig. 1).

Heavy metals are present in the soil as natural impurities, and the reasons for increasing their concentrations are related to human activity. The results of measurements were obtained by the following parameters: Strontium, Manganese, Zinc, Lead, Arsenic.

Soil pollution is a result of economic activity in the past and now. Since the content of heavy metals within the limits of maximum permissible concentrations is important, the dynamics of changes in the content of heavy metals in soils is presented in Fig. 3–8. The content of Manganese in soil in 2016 almost reached the MPC (1500 mg/kg) near the dump of phosphogypsum at a distance of 20 m and a depth of 0.2 m.

The MPC of Strontium in soil is 1000 mg/kg. On the territory of the enterprise there are significant excess of MPC (up to 6 times). Over time, the content of Strontium in the soil does not decrease.

The dynamics of changes in the content of Lead in soils are showed in Fig. 3. MPC of Lead is 30 mg/kg. Excess was detected only in 2017 at a sampling point of 5 m from the dump of phosphogypsum at a depth of 0.40 m. On the surface of the soil there is a tendency to decrease the content of Lead, depending on the distance from the dump of phosphogypsum.



Fig. 1 – Satellite image of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise.  
Source: Google Map

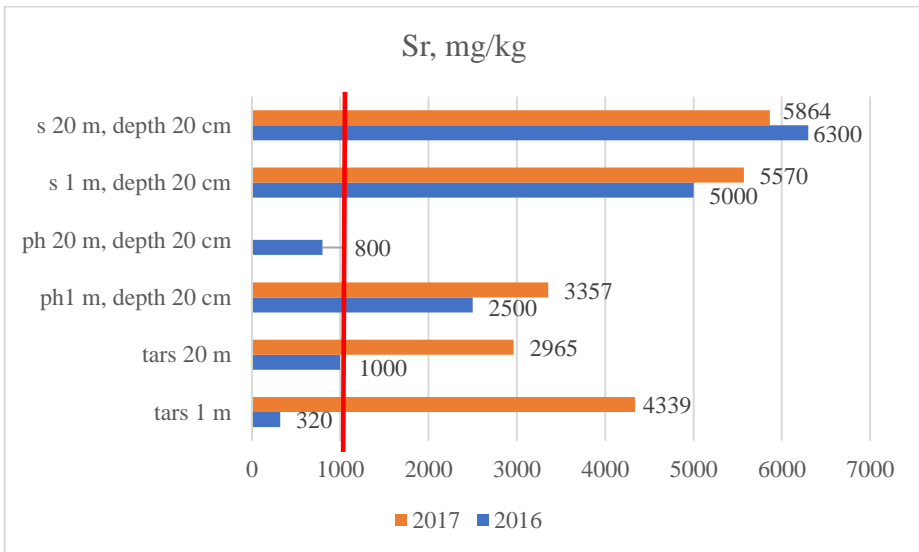


Fig. 2 – Dynamics of changes of Strontium content in soils, where *s* is soil near the tailing's storage, *ph* is soil near the dump of phosphogypsum, *tars* is a soil near the ground with tars

In 2016, Zinc was not detected in soil samples. Data for 2017 (for Zinc) shown in Fig. 4. MPC of Zinc is 300 mg/kg. Excess was not detected.

In 2016, arsenic was not detected in soil samples, but in 2017 it was (Fig. 5). MPC of Arsenic in soil is 2 mg/kg. There are MPC excess at 4 sampling points. There is an excess of MAC on Arsen 6 times at a distance of 20 m from the tailing's storage.

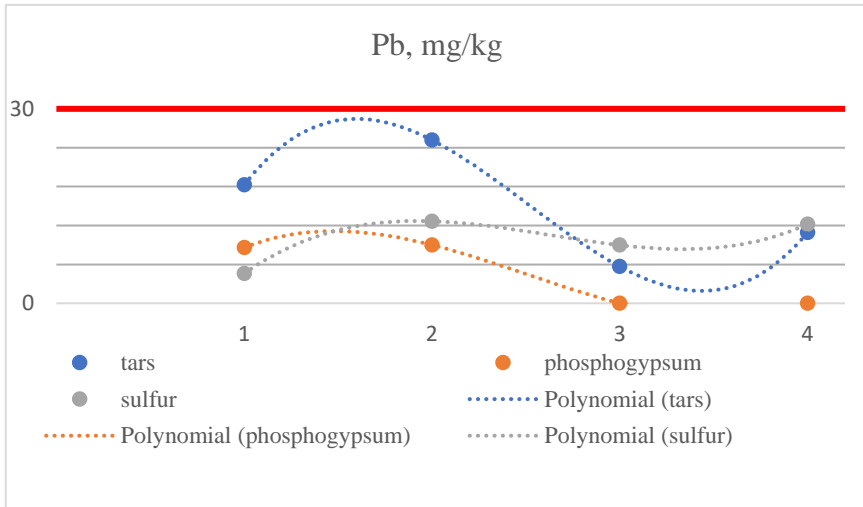


Fig. 3 – Dynamics of changes of lead content in soils, 2017, where sulfur – is soil near the tailing’s storage, phosphogypsum – is soil near the dump of phosphogypsum, tars – is a soil near the ground with tarts

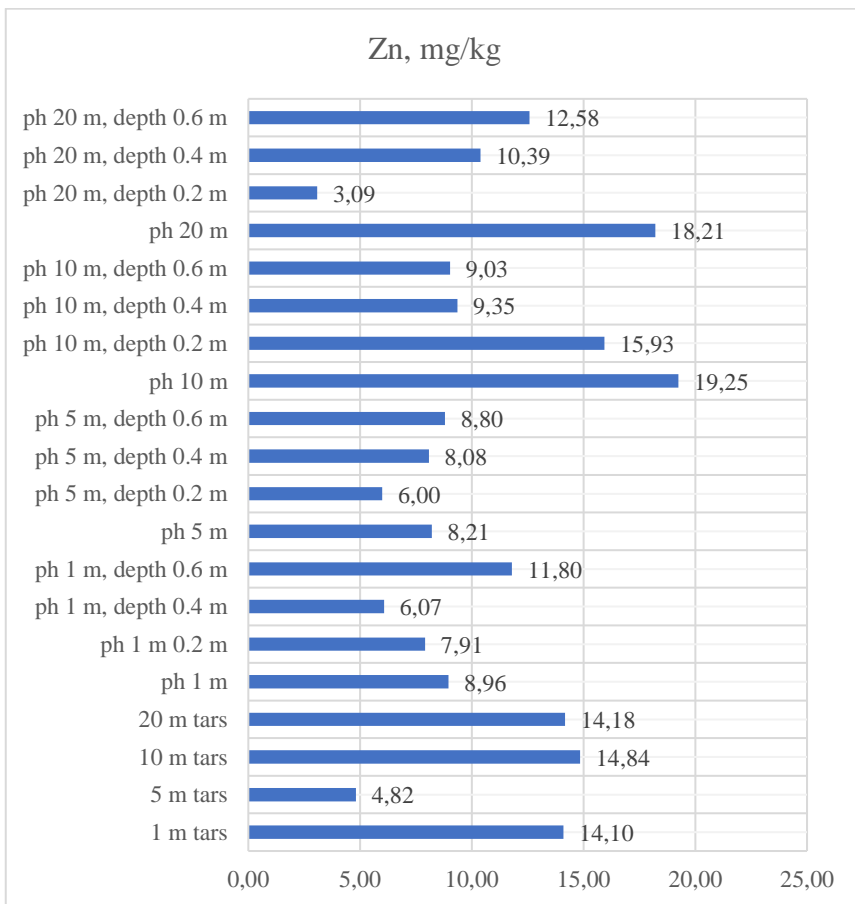


Fig. 4 – Spread of Zinc in soils, 2017, where ph – is soil near the dump of phosphogypsum, tars – is a soil near the ground with tarts



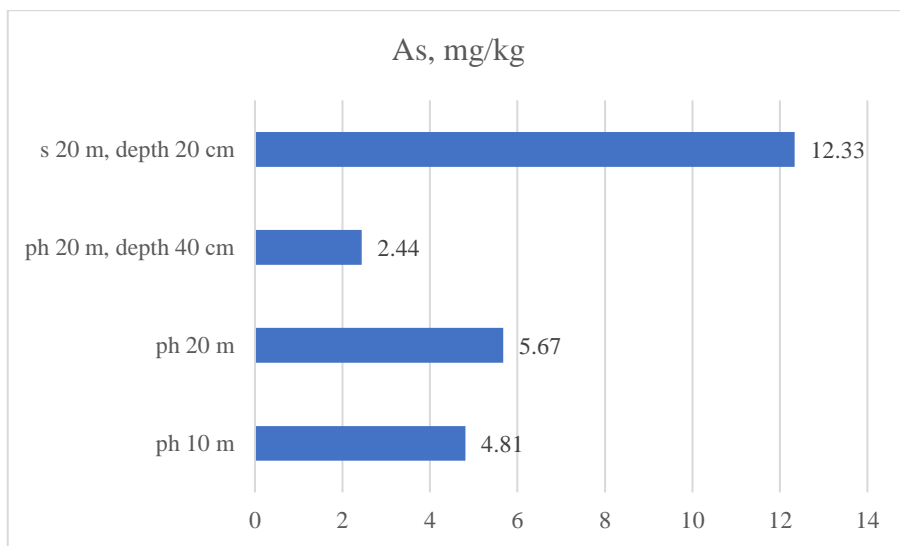


Fig. 5 – Spread of Arsenic in soils, 2017, where sulfur – is soil near the tailing’s storage, ph – is soil near the dump of phosphogypsum

Quarries lakes were being flooded from 2003 to 2010. At the site of the North Rozdil quarry was established a cascade from Lake Chyste, Lake Serednie and Lake Hlyboke. Area of Lake Chyste – 10 hectares, depth – 15 m, area of Lake Serednie – 45 hectares, depth – 12 m. Lake Hlyboke has depth to 30 m, area of the lake – 82 hectares. For leakage of water from the lakes into the Dniester there is a channel in length 3 km. The total area of the catchment of quarry lakes of the enterprise is 6 km<sup>2</sup>.

Fig. 1 demonstrates satellite image of water sampling place. Samples were taken in lakes created on the site of quarries (Lake Chyste, Lake Serednie, Lake Hlyboke, Lake Kysle) and in the channel Hlyboke-Dniester.

In addition to the soil environment, data on pollution of the water environment was obtained. The water environment is contaminated by components of salt composition, ecological and sanitary indicators, indicators of toxic and radiation action (table 2). Just as heavy metals pollute the soil environment, they also affect water. Since the company is in the stage of liquidation, but still poses a threat to the environment, it is therefore essential to create a monitoring system. The organization of the monitoring system at the sites of mining production, depending on the types of environmental impact should be considered from their sources, as each source may have several types of influence on the components of the environment [11, 12, 18–20].

According to the data, in the surface water layer of all the Rozdil lakes, the excess of normative indicators for mineralization (MPC – 1000 mg/m<sup>3</sup>) and sulfates (MPC – 100 mg/m<sup>3</sup>) are recorded and in the Lake Kysle and Lake Serednie are the excess of MPC by phosphates (MPC – 0 mg/m<sup>3</sup>), in the lake. The pH in Lake Kysle is 5.25 in the norm from 6.5 to 8.5.

In the channel of Lake Hlyboke-Dniester there is an excess of the MPC on such indicators: the pH is 6.05 (MPC – from 6.5 to 8.5), sulfates – 1665.3 mg/dm<sup>3</sup> (MPC – 100 mg/m<sup>3</sup>), ammonia nitrogen – 4.6 mg/dm<sup>3</sup> (MPC – 0,5 mg/m<sup>3</sup>), mineralization – 2498.6 mg/dm<sup>3</sup> (MPC – 1000 mg/m<sup>3</sup>). The discharge of contaminated sewage in the Dniester River is a violation of Art. 44, 70, 95 of the Water Code of Ukraine.

Table 2 – Results of the hydrochemical monitoring, 2017

Indicator	Actual concentrations, mg/dm <sup>3</sup>				
	Lake Serednie	Lake Chyste	Lake Kysle	Lake Hlyboke	Chanel Lake Hlyboke-Dniester
Hydrogen index	7.65	7.65	5.25	7.3	6.05
Sulfates	1755.8	1044.2	1200.8	1628.6	1665.3
Chlorides	241.4	63.2	113.8	122.4	–
Mineralization	3019.5	1684.9	2701.4	2502.4	2498.6
Ammonium nitrogen	5.2	0.9	6.9	2.8	4.6
Nitrate ions	1.8	0.5	6.9	0.4	–
Phosphates	1.1	0	729.3	0	–

The main reason for pollution of the water objects of the enterprise territory and the Dniester River is the non-performance of the project on maintenance of ecological balance, monitoring, reclamation of the territory of the land due to lack of financing for the implementation of projects. In this regard, sources of pollution (phosphogypsum, oil tars, lump sulfur, flotation tails, solid waste) constantly affect the environment and over the years the situation remains dangerous.

To achieve the ecological safety of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation it is necessary:

- to liquidate sulfur mines, to restore the ecological balance in the landscape of the Rozdil SMCE "Sirka";
- to liquidate Rozdil SMCE "Sirka" with the provision of technological and ecological safety in the zone of influence of the enterprise;
- carry out environmental monitoring of the territory of liquidated quarries and the state of the environment of reclaimed areas.

The system of monitoring of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation will allow to increase the level of environmental safety of the territory of the enterprise and the surrounding settlements and timely react to adverse changes.

At present, the theoretical and methodological approaches to environmental monitoring of a mining enterprise in the liquidation stage, as well as its material and technical and financial support have not been developed. This problem is only at the initial stage of the solution. The need for a scientific substantiation of the monitoring system in the area of former mining activity, where the mosaic of technogenesis is very complex, requires the use of various theoretical positions, concepts and methodological tools, and interdisciplinary studies of various sciences [17–22].

## Conclusion

Therefore, the parameters of soil pollution by heavy metals in the territory of the Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" from 2016 to 2017 were analyzed in the work y use of the experimental method. The example of Rozdil State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" demonstrates the main problems of the monitoring system of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation. The influence of the mining and chemical industry on the state of environment pollution (soil, water environment and waste management status) was also assessed.

Prevention, control and restoration of contaminated water objects of the mining and chemical enterprise is a difficult task. Experimental research has established that there is the excess of the normative indicators for mineralization and sulphates in the surface water layer of all man-made lakes of the enterprise. There is the excess of the normative indicators for mineralization, sulphates and phosphates in Lake Kysle and Lake Serednie. In 2017 the pH is 5.25 in Lake Kysle, the normative level should be between 6.5 and 8.5. A significant excess of Strontium MPC (up to 6 times) was established. Over time, the contents of the element do not change, because strontium forms a low-solubility, sedentary forms of sulphates, carbonates, phosphates. At the distance of 20 m from the tailing's storage is the excess of the MPC by Arsenic by 6 times.

The necessity of constructing a monitoring system for the territory of the Rozdil SMCE "Sirka" at the stage of liquidation is substantiated. It was established that monitoring of the territory of the mining and chemical enterprise at the stage of liquidation will allow increasing the level of environmental safety of the territory of the enterprise and the surrounding settlements.

## REFERENCES

1. Trunova, I. O. (2008). Tekhnohennyi vplyv elementiv kadmiu ta svyntsiu, shcho mistiatsia u vidvalakh fosfohipsu, na navkolyshnie seredovyshche (Doctoral dissertation) [Abstract] (in Ukrainian).
2. Ukraine, Verkhovna Rada Ukrainy. (1998, March 5). *Postanova №188/98-VR «Osnovni Napriamy Derzhavnoi Polityky Ukrainy U Haluzi Okhorony Dovkillia, Vykorystannia Pryrodnykh Resursiv Ta Zabezpechennia Ekolohichnoi Bezpeky»*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/188/98-bp/page> (in Ukrainian).
3. Rybicka, E. H. (1996). Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland. *Applied Geochemistry, USA, 11*(1-2), 3-9.
4. Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., & Monroy, M. (2004). Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution, USA, 152*(1-4), 129-152.
5. Wenshen, L., Xiaowen, G., & Jie, L. (2018). Bitumen recovery from Indonesian oil sands using ASP (alkali, surfactant and polymer) agent. *China Petroleum Processing and Petrochemical Technology, 20*, 110-115.
6. Ukraine, VAT «HIRKhIMPROM». (2008). *Zvit pro NDR «Zavershennia rozrobky Oblasnoi Prohramy povodzhennia z toksychnymy vidkhodamy»* (in Ukrainian).
7. Ukraine, MNS. (06.11.03). *Nakaz №425 „Pro zatverdzhennia Polozhennia pro monitorynh potentsiino nebezpechnykh ob'ektiv”* (in Ukrainian).
8. Biliavskiy, H. O., Padun, M. M., & Furdui, R. S. (1995). *Osnovy zahalnoi ekolohii: Pidruchnyk* (2 zi zminamy ed.). Kyiv: Lybid (in Ukrainian).
9. Ukraine, Mykolaivska raionna derzhavna administratsiia. (2012, January 25). *Rozporiadzhennia № 44 Pro Konservatsiiu Zemel Rozdilskoho DHKhP «Sirka»*. Retrieved from <http://mykolaiv-rda.lviv.ua/dokumenti-rda/rozporjadzhennja/item/2693-№44-pro-konservatsiyu-zemel-rozdilskogo-dghp-sirka.html> (in Ukrainian).
10. Bilous, L. B., & Chopyk, Y. O. (2002). Problemy monitorynhu vyrobnycho-ekolohichnykh terytorialnykh system hirnychoho pidpriemstva. *Ukrainskyi Derzhavnyi Lisotekhnichnyi Universytet, Naukovyi Visnyk*, (12.1), 164-174 (in Ukrainian).
11. Kopach, P. I., Horobets, N. V., Danko, T. T., & Bondarenko, L. V. (2009). Osnovni polozhennia metodolohii stvorennia systemy monitorynhu navkolyshnoho seredovyshcha hirnychodobuvnykh rehioniv. *Ekolohiia I Pryrodokorystuvannia, 12*, 181-187 (in Ukrainian).

12. Gajdyn, A. M., Kovalyshyn, V. V., & Saliuk, I. V. (1999). *Project of reclamation of disturbed lands, the basic project decisions of restoring the ecological balance of the landscape through the phased withdrawal capacity of careers and their liquidation*. Lviv, Ukraine (in Ukrainian).
13. Rudko, G., & Shkitsa, L. (2002). Ecological consequences of the activity of Western Ukraine mining complexes. *Wiertnictwo Nafta Gaz, Poland*, 19/2, 415-418.
14. Poberezhna, L. I. (2016). Otsinka ekolohichnykh ryzykiv v raionakh likvidovanykh hirnycho-khimichnykh pidpryemstv (na prykladi m. Kalush) (Doctoral dissertation, Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu) [Abstract] (in Ukrainian).
15. Fetzer, J. C. (2014). Mass Spectral Detection. In *Handbook of Spectroscopy*. doi:10.1002/9783527654703.ch49
16. Gauglitz, G., & Moore, D. S. (Eds.). (2014). *Handbook of Spectroscopy* (2nd ed., 4 vols., Analytical and Bioanalytical Chemistry 406(29)).
17. Epp, J. (2016). *X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization, Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. doi:10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3
18. Pohrebennyk V., Mitryasova O., Kłos-Witkowska A., & Dzhumelia E. (2017). The role of monitoring the territory of industrial mining and chemical complexes at the stage of liquidation. In *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, (Vol. 17, issue 33, pp. 383–390). Vienna, Austria.
19. Lomnytska, Y. F., Vasylechko, V. O., & Chykhrii, S. I. (2011). *Composition and chemical control of environmental objects*. Lviv, Ukraine: «Novyi Svit-2000».
20. Bryk M., & Kołodziej B. (2009). Reclamation problems for the area of a former borehole sulfur mine with particular reference to soil air properties, *Land Degrad. Dev.*, 20, 509-521.
21. Pohrebennyk, V., Dzhumelia, E., Korostynska, O., Mason, A., & Cygnar, M. (2016). Technogenic Pollution of Soil due to Mining and Chemical Enterprises. In *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, (Vol. 2, pp. 363-370). Albena, Bulgaria.
22. Schults, D. (1996). Recultivation of mining waste dumps in the Ruhn Area, Germany. *Water, Air and Soil Pollution*, 91(1/2), 89-98.

*The article was received 15.02.2019 and was accepted after revision 05.03.2019*

**В.Д. Погребенник, Е.А. Джумеля**  
**ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЇ ГІРНИЧО-ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**Анотація.** У роботі розглянуто основні екологічні проблеми гірничо-хімічних підприємств України, які знаходяться на стадії ліквідації. Експериментальним шляхом за допомогою методу рентгенівської дифракції визначили якісний і кількісний склад важких металів та інших неорганічних елементів у пробах, показники забруднення ґрунтового середовища важкими металами. Встановлено основні загрози, які слід розглядати на стадії ліквідації гірничо-хімічного підприємства. Оцінено вплив гірничо-хімічного підприємства на стан забруднення довкілля: ґрунтів, водного середовища та стан поводження з відходами.

**Ключові слова:** гірничо-хімічне підприємство; важкі метали; рекультивация; екологічна небезпека; водне середовище; забруднення ґрунтів

**Погребенник Володимир Дмитрович**

професор, доктор технічних наук, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79057 Україна, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130

**тел.** 098 578 2530 **e-mail:** vpohreb@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-1491-2356

**Джумеля Ельвіра Анатоліївна**

аспірант кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79057 Україна, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130

**e-mail:** *elviradzhumelia@gmail.com*

ORCID ID: 0000-0003-3146-8725

UDC 502.3

**Tetiana V. Morozova**<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor of Ecology and Biomonitoring Department  
ORCID ID: 0000-0003-4836-1035 *e-mail*: [t.morozova@chnu.edu.ua](mailto:t.morozova@chnu.edu.ua)

**Vitalina V. Lukianova**<sup>2</sup>, PhD, Associate professor of Ecology and Safety of Vital Functions Department  
ORCID ID: 0000-0001-8964-3560 *e-mail*: [vitalina\\_lk@i.ua](mailto:vitalina_lk@i.ua)

**Yevheniia S. Anpilova**<sup>3</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0002-4107-0617 *e-mail*: [anpilova@ukr.net](mailto:anpilova@ukr.net)

<sup>1</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

<sup>2</sup>National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

## CONCEPTUALIZATION OF LATENT ECOSYSTEM SERVICES

***Abstract.** The technology of waste sorting and recycling can build a profitable business, provide a return to the turnover of secondary resources, reduce the amount of landfills, and simplify the storage of garbage, which makes it possible to create a resource-efficient, competitive economy. By turning waste into raw materials and materials, recycling allows you to save on natural resources, create new jobs and thus reduce the unemployment rate in the country, and reproduce competitive production. The sector of recycling of secondary resources creates a social effect – contributes to the creation of new jobs. The recycling generates demand for low, medium and highly skilled labor.*

***Key words:** ecosystem services; recycling; secondary raw materials*

### Introduction

Speedy progress of the service sector within the information society determines the complexity of unification and interpretation of its new types: consulting, information and interactive in particular. There is a phenomenon of closing in the categories "product" and "service" and formation of the continuum "classical material goods – classical nonmaterial service" with a variety of properties options combination peculiar for both categories [2, 3, 7, 10]. Given the many-sidedness of this phenomenon and the complexity of its unification, L.D. Zagvoyska [5, 6] suggests considering the economic category of "services" as a specific product that is offered and consumed directly during the process of producer (proponent) certain activities deploying of the service (an individual personal or a system of different nature – technical, social, environmental or ecological and economic) and it turns out in the change of the consumer's service or his/her life conditions. Thus, in the paradigm of ecological economy, service is not only the result of human activity, but also the result of the functioning (operation) of environmental systems, that makes a radical correction in the interpretation of the concepts of "services".

Different interpretations of ecosystem services and functions are currently available in the literature. In particular, according to R. Haines-Young, [22, p. 81] environmental function of ecosystems is the ability or potential to provide services due to its structural properties or the processes it supports. The service is

a contribution to the welfare of a person who carries out biotic and abiotic components of ecosystems together and directly; "end product" of nature. That is, functions turn into services when there is a beneficiary. Eliminating the difficulties of methodological and operational nature, due to the use of the concept of "benefit", in the reports TEEV [25] proposed to interpret the environmental function as a part of the interaction between the structure and processes that provide the ability of the ecosystem to provide goods and services (p. 247). Service – as a direct or indirect contribution of ecosystems to people's welfare. The synonym of the concept of "services and benefits of ecosystems" (p. 248).

In this regard, the service provider, as a special product (the cost of which is identified by a particular activity or by of the impact on the consumer's service) is not a business entity, and an element of natural capital is an ecosystem with an organically integrated person and the environment. The result of the production / consumption of ecosystem services is a change in the welfare of a person.

Certainly, ecosystems and their services cannot be considered as a traditional object of economic relations, since a person is a subject of economic relations, and at the same time a "manipulator and inhabitant of ecosystems" [23] is an integral part of their sociocultural elements, which eliminates the postulate "out of presence", destroys the contrast between the object and subject, reveals their dynamic interaction and coevolution [5, 6, 13, 14]. In the context of changing the scientific paradigm, it is obvious and necessary to change the economic paradigm, expand the subject space to take into account the value of natural and social capital, which ultimately reflects the formation of paradigms of the ecological and institutional economics.

## **Main part**

Actualization of the issues of accumulation and utilization of waste of various origin and hazardous groups is increasingly globalized, especially due to the creation of substances and components of xenobiotics. Waste synthetic inherent varied influence, not only as the accumulation content, but also as components that can potentially be included in the cycle of substances. Theoretical methodological bases of waste management are based on the fundamental provisions, which are based on the basic laws and principles of ecology [9]. The laws of ecology generalized by B. Commoner clearly reflect the essence of the relationship between man and nature.

*"Nature knows best"* – calls for extreme caution, since the substances formed by nature can be "disposed" by it (circular motion), instead created by a person – are mostly accumulated and cannot be included in natural processes of assimilation of substances and energy.

*"Everything is connected with everything"* – draws attention to the general connection of processes and phenomena in nature and in its content is close to the law of the internal dynamic equilibrium of the natural system. The law of homeostasis is one of the most important in nature management, its extrapolation helps to understand that in the case of even insignificant interferences in the natural environment, ecosystems, such as cybernetic systems, are capable of self-regulation and recovery (elastic and resistant ecosystem resistance), but if these interventions exceed certain limits and can no longer "extinguish" in the chain of ecosystem hierarchy, they lead to violations of the assimilation and energy processes of the biosphere.

"*Nothing is given for nothing*" – concerns the issues generalized in the laws of internal dynamic equilibrium, the constancy by V.I. Vernadsky and the development of the natural system at the expense of the environment. In addition, this law resonates with the law of limited natural resources – all natural resources (and conditions) of the Earth are exhaustive. The law is based on the fact that, since the planet is naturally restricted to an entire, there can be no endless parts on it. However, the restrictions imposed by the energy itself of the biosphere, anthropogenic change beyond the permissible limits of the 1% rule, are not subject to serious constraints. The artificial introduction of energy into the biosphere has now reached magnitudes close to the limit.

Any human activity generates waste. This axiom is implemented in the inability to ensure the absence of waste and to develop non-waste environmentally friendly technologies, that is why it is now necessary to maximize waste treatment. *The law of invincibility of the side effects of production (economy)*: in any economic cycle waste and side effects that are not subject to repair are generated, they can only be transferred from one physical-chemical form to another or moved within the space. The basis of this law is the laws of conservation of mass and energy. This law can be supplemented by *the law of the constancy of the amount of waste in technological chains*. Thus, this law focuses on the development of technologies for handling industrial, construction waste and solid waste. With regard to solid waste, this law indicates, first of all, for processing, and its economic component is determined by the rule "*ecologically friendly – economically*": the ecological addressing of management issues gives the maximum economic effect. This rule is confirmed by the practice of solid waste management: recycling (rational system of collecting and processing of components of solid waste in products with consumer value), as a method of processing of solid waste is the most environmentally friendly (burning, dumping).

Ukraine is not the only state in Europe facing the problem of solid waste management. The problem of waste disposal should be considered as one of the main. The amount of solid waste generation in Ukraine in 2016 amounted to 49 million m<sup>3</sup> ≈ 11 million tons, i.e. 250–300 kg per person [15]. Every year, there is a lot of garbage, which far exceeds the rate of utilization [16]. Thus, in 2016, only 5.8% of the generated solid waste was recycled, including 2.71% burned, 3.09% directed to waste recycling complexes and ≈ 0.003% – composted.

There is an extremely unsatisfactory situation in the field of waste management in Ukraine, in particular regarding the provision of their collection, processing and utilization, involvement of secondary resources into economic circulation. We lose a significant resource potential, and at the same time we are making worse the environmental situation that is so unfavorable. Meanwhile, according to European practice, the scope of the involvement of waste in economic circulation, becomes a large-scale industry, which involves hundreds of thousands of workers and where significant revenues are generated. In many countries, the share of this sphere in the formation of GDP is approaching 1%.

According to Art. 32 of the Law of Ukraine "On Waste" dated on 01.01.2018 disposal of untreated domestic waste is prohibited. Effective waste management makes them a source of income for the state or for private entrepreneurs, as shown by the experience of Germany and other countries. According to V.M. Boronos [2] environmental compatibility in waste management is not only in eliminating them as polluting the ecosystem substances, but in turning them into a source of secondary



raw materials – receiving energy from waste incineration or biogas storage at landfills. Perspective is the receipt of secondary raw materials and composting of organic waste, which significantly increases the environmental friendliness of their use. A priority method for the conversion of waste into secondary resources should be the method of their recovery, that is, collection, sorting, preparation of waste of various types for their re-processing [12].

The term "recycling resources" includes separate groups of domestic and industrial waste, which at a certain time can be reused for economic purposes. At the same time, the level of recycling varies considerably between countries. The most effective is the recycling of old cars, which reaches 87% in Germany, Belgium, Lithuania and Bulgaria. Germany, the Netherlands and France are characterized by the highest level of recycling and have a steady trend of transition from burning waste to their recycling. Recycling of waste is mainly done by private companies, which are rather high-profitable and do not need state subsidies [18]. If the plant recycles waste, its profits consist of the waste collection and the sale of recycled materials to producers. If the plant burns waste, then its revenues are a charge for waste collection and further disposal, while a portion of the sorted waste can be sold. Some countries deliberately buy waste abroad for processing and use. Somewhere, waste even became a tight resource, for example, Sweden imported it from Germany and Norway to use for electricity generation. Thus, in this country, they produce enough energy to provide 17% of residential buildings [19]. In the EU, there is an annual growth of 7.5% in the average annual rate of employment in the area of recycling, respectively, an increase of 12.8% of those employed in the eco-industry. The EU is gradually building a so-called "recycling society" based on the concept of "three Rs" (Reduce, Reuse, Recycle) – reducing the amount of waste generated for disposal, recycling waste parts, recycling waste and transforming them in secondary raw materials [20].

EU countries are moving to the concept of a closed-loop economy, which involves replacing the traditional linear economic system of production and consumption with regenerative one. In countries such as Switzerland, Germany, the Netherlands, Sweden, Belgium and Norway, waste disposal as a waste management method is not used at all, predominantly the methods for the return of raw materials or energy prevail. The EU waste management approach is in the line with the Framework Directive 2008/98 / EC on waste and the new EU Directive 2018/851, which has been amended since May 30, 2018. The result of the implementation – for landfill, no more than 5% of domestic waste, 40% goes to recycling, 15% – for composting and 40% is burned down at TPP– on SDW with the use of thermal and electric energy. This corresponds to the first law of thermodynamics: any changes in the isolated system leave its total energy constant, or in all macroscopic processes, energy is not created and does not disappear, but only passes from one form to another. For example, in the Netherlands, up to 60% of waste was disposed of and disintegrated with the recovery of raw materials, and 40% was burned with energy recovery. In general, the market for waste-to-energy is growing and in 2016 it was about \$14 million. However, the construction of a TPP on SDW is usually carried out with a significant share of investment by energy companies, despite the interest of leading energy companies in this type of alternative fuel, is increasing significantly around the world, especially in Japan, where 79% of solid waste is utilized at the TPP on SDW.

For Ukraine, the use of solid domestic waste (SDW) as an alternative fuel also becomes a priority [Pavlyuk]. This is especially true for populated areas, the primary task of which is finding the simplest, economically feasible way to completely eliminate waste with the development of the maximum amount of heat and electricity. This is the approach that was introduced at the "Energy" waste burning plant. Implementation of the European approach to the use of the energy potential of municipal solid waste in Ukraine is reflected in the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030, according to which, by 2023, 15 TPP on SDW plants will be built in Ukraine, and by 2030 – 20 TPP on SDW.

The principle "*Not All Being Enough*" (B. Commoner), shows that there is the existence of a source of all forms of competition, rivalry and antagonism in nature and society. The essential difference between competition in nature and society lies in the fact that in nature, as a result of competition, the best is left, and in human society, this is not guaranteed, but rather the other way round. The principle shows the source of competition and, in our case, states the objective presence of entrepreneurship in the field of handling of industrial, construction and solid domestic waste.

The production of energy from municipal waste burning in the EU reached 16.4 thousand tons of oil equivalent [8]. In Estonia, Eesti Energia's waste recycling plant transforms  $\approx 82\%$  of the energy contained in the waste into electricity and heat, which allows saving 70 million cubic meters of natural gas per year [19]. According to experts, recycling revenue in the EU amounted to 33.5 billion euros, and the share of recycling revenue accounted for 10% of the income of the eco sector of 28 EU member states. The most profitable materials for processing are iron, steel, paper and precious metals. Also, interregional trade in secondary raw materials in the EU is increasing every year. Export of secondary raw materials brings not only additional revenues to the budget, but also contribute to the reduction of the balance of payments deficiency [8].

Sweden imports (deliberately purchasing garbage for its processing and use) from Germany and Norway to use for electricity generation. In this country, they produce enough energy to provide 17% of residential buildings [19]. Scientists at the University of Linnaeus offer an interesting method for completing the life cycle of landfills. On the restored territory, a local recreation park was created. Ideas make popular innovative technology for balanced development of the territory and new thinking [24].

In Estonia, a waste recycling plant, using up-to-date and environmentally-friendly combustion technology, generates about 82% of the energy contained in garbage in electricity and heat, which can save 70 million cubic meters of natural gas annually [19].

It is known that the functioning of ecosystems has general laws of thermodynamics. The principle of "*energy conductivity*": the flows of energy, matter and information in an integral system are of a transverse nature, otherwise the system will not have the properties of unity. Due to the principle of "energy conductivity", the integrity of groups and biocenoses has arisen and remained. But the through-flow energy, passing through the trophic levels of biocenosis, gradually fades. The minimum percentage of energy transfer to maintain the integrity of groups and biocenoses is 10% (R. Lindemann's rule). At present, mankind produces such a bunch of pollutants, including those that do not have natural analogues, which the reductants are not able to "re do" (B. Commoner's law "*Nature knows best*"). This leads to their accumulation and is one of the reasons for the current environmental crisis.

The economic standardization of the SDW collection system is necessary, since it is the most expensive component. In addition, it is necessary to mark out solid waste by the amount of heat, morphology, humidity. For example, the morphology of agricultural waste: vegetable origin – 57%, excrement, urea and manure – 37%, animal origin and mixed food waste – 6%.

Latvia is actively implementing the concept of balanced development in the field of waste management, by creating an effective organizational and economic mechanism for attracting waste into economic circulation, introducing new technologies for utilization of resource essential waste, stimulating environmental investments, etc. For example, on the suburb of Riga there is a huge dump was turned into the Getlini Environmental Test Site (<http://www.getlini.lv/en/>). Getlini Environmental Site is one of the main producers of green energy in Latvia. The source of energy is the gas that forms as a result of decay of waste in the biodegradation cells.

The wastes are placed in airtight biochemicals (biodegradation cells), where neither air nor rainwater penetrates. The gas formed in the cells is discharged into a power unit where it is burned and converted into electrical and thermal energy, and all waste water is collected and treated. Due to this, the impact of waste on the environment is minimized, the level of "greenhouse effect" is reduced and simultaneously the so-called "green energy" is carried out. Biodegradation cells consist of four main elements: a waterproofing base, a system for collecting and cleaning infiltrates, a gas collection system (with or without infiltrate recirculation, the main component of the system are not vertical but horizontal gas wells), coverage of filled cells / deposit locations. Gathering and combustion of methane in gas engines and the generation of electricity is not only a commercial measure that helps to finance the protection of the environment, but is itself a measure of protection of the atmosphere. Before supplying to the power unit, the gas is cleared of H<sub>2</sub>S, Cl, F, siloxanes and volatile organic compounds (VOCs). In recent years, net methane (CH<sub>4</sub>) has been extracted – 7 844 760 cubic meters of gas, corresponding to 78 011 000 kWh of energy. Thermal energy is used to provide economic needs for Getlini: heating, water heating, reactor water purification equipment and pool to collect infiltration and recirculation. The extracted gas energy is converted into electro- (40%) and thermal (46%) energy.

SIA Getlini EKO – is a unique example of environmental work in several directions: heat is used for heating greenhouses (area – 3625 sq. m, height – 5.5 m). It is planned to grow 165 tons of tomatoes per year, and on the reclaimed waste mountain of 20 hectares area the herd of sheep performs the role of "lawn mowers" and reserves the green area of the landfill (mineral fertilizers and pesticides are not used in the pasture, 50-cm layer of clay and 20-centimeter layer of soil protects the grass from the harmful effects of waste). Heat is a byproduct of the process of combustion of the environmentally hazardous methane gas during electricity generation.

Several schemes for the processing of wood raw materials have already been developed and implemented. Among them there are also quite effective ones, which are based on the deep chemical processing of wood greens, bark, sawdust, shavings of coniferous and deciduous breeds. Known developments for obtaining chlorophyll-carotene mass, chlorophyllin sodium, rye, insecticides, fodder products, etc. At present, such types of recycling of secondary waste wood – processing of cubic remnants into coniferous extract, spent raw materials – in feed meal, production of

fibreboard and particle board, and carbonaceous plastics, biofuels. At present, a small part is used as a fuel for the heating of industrial and residential buildings, and the main part is exported to landfills. During such "burial" the wood begins to decompose with greenhouse gas emissions, as well as injecting insects. And this in its turn can become a source of illness. Another type of fuel production from the waste products of the woodworking industry is granulation. Granules can be made of both pure wood and a mixture of wood and bark, are marketable. In general, under the conditions of a developed system of biomass collection and utilization, traditional fuel can be saved to a large extent, as well as reducing the load on the natural environment.

*Law of biosphere reversibility* (P. Dansereau): the biosphere after the influence completion must seek to conquer the "lost positions", that is, to preserve (restore) its environmental balance and stability. Thus, abandoned agricultural fields gradually (by succession) return to the state of wildlife. However, the natural regenerative potential (energy of retention) is not infinite, it is close to the energy of elimination created by mankind, which is confirmed by the Law of Irreversibility of the interaction of the "man-biosphere" system: a part of the renewable natural resources (animals, plants) may become irreversible. Thus, uncontrolled hunting for a Steller's sea cow led to its extinction as a biological species. The same thing happened with many other species of animals and plants. In total, over the past 400 years, more than 160 species of mammals and birds have been extinct.

Simultaneously with the changes in the relationship between man and nature there are changes in nature and in the forms of economy. *The law of inverse relations – man and the biosphere* (P. Dansereau): a change in the natural environment caused by human activities, "returns" and has undesirable consequences that affect the economy, social life and health of people. For example, the continuous felling of forests in ancient Mesopotamia led to catastrophic changes in the climate, in arid zones – to desertification of large areas; construction of the Aswan Dam (Egypt) – to salinization of soils, sharp reduction of fishing in the Nile penetration zone in the Mediterranean, eutrophication of the Aswan Reservoir; global pollution of the atmosphere – to the occurrence of the greenhouse effect, the formation of acid rain, etc.

## Conclusions

Implementation of the provisions of the National Strategy on SDW use as an alternative fuel will reduce the consumption of natural gas for generating energy for the population needs. By turning waste into valuable raw materials and materials, recycling allows to save on natural resources, create new jobs and thus reduce the unemployment rate in the country, and reproduce competitive production. The sector of recycling of secondary resources creates a social effect – contributes to the creation of new jobs. The recycling industry generates demand for low, medium and highly skilled labor.

The technology of waste sorting and processing allows to set up a profitable business, provide return to the commodity turnover of secondary resources (paper, cardboard, ferrous and nonferrous metals, plastics, glass), reduce the amount of landfills, simplify the storage of waste, which makes it possible to create a resource-efficient, competitive economy.

## REFERENCES

1. Боронос В.М. Еколого-економічна ефективність використання відходів промислових підприємств / В.М. Боронос, І.В. Мамчук // Вісник СумДУ. Серія Економіка. – 2007. – № 2. – С. 5–17.
2. Ворачек Х. О состоянии „теории маркетинга услуг” / Х. Ворачек // Проблемы теории и практики управления. – 2002. – № 1. – С. 99–103.
3. Економічний енциклопедичний словник: У 2 т. / С.В. Мочерний (ред.), О.А. Устенко, С.І. Юрій. – Т. 2. – Львів: Світ, 2006. – 568 с.
4. Загвойська Л.Д. Концептуалізація послуг екосистем у сучасному еколого-економічному дискурсі // Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 11. – С. 178–185.
5. Загвойська Л. Пріоритетні напрями наукових досліджень екологічної економіки / Л. Загвойська // Науковий вісник НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.6. – С. 136–143.
6. Загвойська Л.Д. Філософсько-економічний дискурс проблеми «Людина-Природа» / Л.Д. Загвойська // Сталій розвиток та екологічна безпека: теорія, методологія, практика. – Сімферополь: ВД «АРІАЛ», 2011. – С. 12–41.
7. Котлер Ф. Основы маркетинга / Котлер Ф. – М.: Ростинтэр, 1996. – 704 с.
8. Куліш К.А. Соціально-економічні ефекти ресайклінгу в країнах ЄС [Електронний ресурс] / К.А. Куліш // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://global-national.in.ua/archive/9-2016/09.pdf>.
9. Морозова Т.В. Zero waste – основоположний принцип гарбології / Т.В. Морозова // Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». – 2018. – С. 148–150.
10. Остафійчук Я.В. Питання актуалізації наукових засад розвитку сфери послуг / Я.В. Остафійчук // Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». Доступно з: <http://www.economy.nauka.com.ua/index.php?operation=1&iid=851>
11. Павлюк Н.Ю. Енергетична утилізація ТПВ відповідно до національної стратегії поводження з відходами в Україні / Н.Ю. Павлюк, О.І. Сігал // Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». – 2018. – С. 9–10.
12. Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 495 с.
13. Рубанець О.М. Парадигмальні зміни в постнекласичній науці / О. Рубанець // Мультиверсум. Філософський альманах. – 2006. – № 53. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www/filosof.com.ua/Jornel/M\\_53/Rubanez.htm](http://www/filosof.com.ua/Jornel/M_53/Rubanez.htm).
14. Тарасевич В. Постнекласична наука та економічна теорія / В. Тарасевич // Економіка України. – 2004. – № 2. – С. 59–65
15. Тимочко Т.В. Проблеми поводження з відходами в Україні можна вирішити! / Т.В. Тимочко // Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». – 2018. – С. 7–8.
16. Щаслива Л.А. Передовий світовий еколого-економічний досвід утилізації твердих побутових відходів / Л.А. Щаслива, А.П. Пашков, Г.М. Спринська // Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». – 2018. – С. 15–17.
17. Europäische kommission Vorschlag für eine richtlinie des europäischen parlaments und des rates zur Änderung der Richtlinie 2000/25/EG in Bezug auf die Anwendung von Emissionsstufen bei Schmalspurzugmaschinen [Electronic resource]. – Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0001:FIN:DE:PDF>
18. EEA Report. Earnings, jobs and innovation: the role of recycling in a green economy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.eea.europa.eu/publications/earnings-jobsand-innovation-the>.

19. European Commission [Electronic resource]. – Mode of access: [http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final\\_report\\_10042012.pdf2015](http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final_report_10042012.pdf2015)
20. European Environment State and outlook: material resources and waste / European environment agency. – Copenhagen: Publication office. – 2012. – 47 c.
21. G.C. Daily (Ed.). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems / G.C. Daily. – Washington, DC: Island Press, 1997. – 392 p.
22. Haines-Young R. Common International Classification of Ecosystem services (CICES, Version 4.1). / R. Haines-Young, M. Potschin. – EEA, 2012. – 233 p.
23. Odum E.P. Fundamentals of Ecology. Third edition / E.P. Odum. – NY: Saunders, 1971.
24. PHYTECO project regenerates glassworks site. Swedish Institute (2015). Available at: <https://eng.si.se/phyteco-project-regenerates-glassworks-site/>
25. TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ecological and Economic Foundations. Edited by P. Kumar. – London and Washington: Earthscan, 2010. – 422 p.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Boronos, V. M., & Mamchuk, I. V. (2007). Environmental efficiency of industrial waste use. *Visnyk SumDu. Economics Series*, (2), 5-17 (in Ukrainian).
2. Vorachek, H. (2002). About the state of the "theory of marketing services". *Problems of management theory and practice*, (1), 99-103 (in Russian).
3. Ustenko, O. A., & Yuri, S. I. (2006). *Economic Encyclopedic Dictionary* (Vol. 2) (S. V. Mocherny, Ed.). Lviv: World (in Ukrainian).
4. Zagvoyska, L. D. (2013). Conceptualization of ecosystem services in modern ecological-economic discourse. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works*, (11), 178-185 (in Ukrainian).
5. Zagvoyska, L. (2005). Priority directions of scientific researches of ecological economy. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, (15.6), 136-143 (in Ukrainian).
6. Zagvoyska, L. D. (2011). Philosophical and Economic Discourse of the Problem "Man-Nature". In J. V. Hlobystov (Ed.), *Sustainable development and ecological safety: Theory, methodology, practice* (pp. 12-41). Simferopol: VD "ARIAL" (in Ukrainian).
7. Kotler, F. (1996). *Fundamentals of Marketing*. Moscow: Rosinter (in Russian).
8. Kulish, K. A. (2016). Socio-economic effects of recycling in EU countries. *Global and National Problems of Economy*. Retrieved from <http://global-national.in.ua/archive/9-2016/09.pdf> (in Ukrainian).
9. Morozova, T. V. (2018). Zero waste - the fundamental principle of garbology. *National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technology"* (pp. 148-150) (in Ukrainian).
10. Ostafiychuk, Y. V. (n.d.). Issues of actualization of scientific principles of the sphere of services development. *Electronic Scientific Special Edition "Effective Economy"*. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/index.php?operation=1&ides=851> (in Ukrainian).
11. Pavlyuk, N. Yu., & Segal, O. I. (2018). Energy utilization of solid waste in accordance with the national waste management strategy in Ukraine. *National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technologies"* (pp. 9-10) (in Ukrainian).
12. Rajzberg, B. A., Lozovsky, L. Sh., & Starodubtseva, E. B. (2007). *Contemporary Economic Dictionary*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
13. Rubanets, O. M. (2006). Paradigmatic Changes in Post-Classical Science. *Multiversum. Philosophical Almanac*, (53). Retrieved from [http://www.filosof.com.ua/Jornel/M\\_53/Rubanez.htm](http://www.filosof.com.ua/Jornel/M_53/Rubanez.htm) (in Ukrainian).
14. Tarasevich, V. (2004). Post-classical science and economic theory. *Economy of Ukraine*, (20), 59-65 (in Ukrainian).
15. Timochko, T. V. (2018). Problems of waste management in Ukraine can be solved! *National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technology"* (pp. 7-8) (in Ukrainian).

16. Shchaslyva, L. A., Pashkov, A. P., & Sprinskaya, G. M. (2018). The world's leading ecological and economic experience of utilization of solid household wastes. *National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technology"*, (pp. 15-17) (in Ukrainian).
17. Europäische kommission Vorschlag für eine richtlinie des europäischen parlaments und des rates zur Änderung der Richtlinie 2000/25/EG in Bezug auf die Anwendung von Emissionsstufen bei Schmalspurzugmaschinen. (n.d.). Retrieved from [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0001:FIN:DE:PDF\\_\(in\\_Deutsch\)](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0001:FIN:DE:PDF_(in_Deutsch)).
18. EEA Report. Earnings, jobs and innovation: The role of recycling in a green economy. (n.d.). Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/earnings-jobsand-innovation-the>.
19. European Commission. (2015). Retrieved from [http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final\\_report\\_10042012.pdf2015](http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final_report_10042012.pdf2015).
20. European environment agency. (2012). *European Environment State and outlook: Material resources and waste*. Copenhagen: Publication office.
21. Daily, G. C. (Ed.). (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press.
22. Haines-Young, R., & Potschin, M. (2012). *Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1)*. EEA.
23. Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology* (3rd ed.). NY: Saunders.
24. Swedish Institute. (2015). *PHYTECO project regenerates glassworks site*. Retrieved from <https://eng.si.se/phyteco-project-regenerates-glassworks-site/>
25. Kumar, P. (Ed.). (2010). *TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ecological and Economic Foundations*. London and Washington: Earthscan.

*The article was received 23.01.2019 and was accepted after revision 12.02.2019*

**Т.В. Морозова, В.В. Лук'янова, С.С. Анпілова**  
**КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ ЛАТЕНТНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ**

**Анотація.** Технологія сортування і переробки сміття дозволяє побудувати рентабельний бізнес, забезпечити повернення в товарний оборот вторинних ресурсів, скоротити кількість сміттєзвалищ і полігонів, сприяти складуванню сміття, що дає можливість створити ресурсоефективну, конкурентоспроможну економіку. Шляхом перетворення відходів у сировину та матеріали, ресайклінг дозволяє економити на природних ресурсах, створювати нові робочі місця і цим самим зменшувати рівень безробіття в країні, відтворювати конкурентоспроможне виробництво. Галузь переробки вторинних ресурсів має соціальний ефект – сприяє створенню нових робочих місць. Галузь ресайклінгу формує попит на низько-, середньо- і висококваліфіковану робочу силу.

**Ключові слова:** екосистемні послуги; ресайклінг; вторинна сировина

**Морозова Тетяна Василівна**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича

**Адреса робоча:** 58012 Україна, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

**e-mail:** [t.morozova@chnu.edu.ua](mailto:t.morozova@chnu.edu.ua)

ORCID ID: 0000-0003-4836-1035

**Лук'янова Віталіна Віталіївна**

кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету

**Адреса робоча:** 01010, Україна, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312

**тел.** +380677985533 **e-mail:** [vitalina\\_lk@i.ua](mailto:vitalina_lk@i.ua)

ORCID ID: 0000-0001-8964-3560

**Анпілова Євгенія Сергіївна**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу природних ресурсів  
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**тел.** +380683515387 **e-mail:** *anpilova@ukr.net*

**ORCID ID:** 0000-0002-4107-0617



UDC 628.16.08 + 628.16.067.1

**Petro G. Kyriienko**, PhD, docent of Department of chemistry, ecology and expert technologies

ORCID ID: 0000-0002-8116-7448 *e-mail*: p.kirienko@khai.edu

**Valentyna V. Kyriienko**, student

**Andriy V. Chumachenko**, Senior Lecturer

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

## PORTABLE DEVICE FOR WATER PURIFICATION

**Abstract.** *The two-stage system of surface water purification in field conditions in a portable device for water purification is considered. In the first stage, water is filtered through a hair pad, and on the second it is filtered through zeolite, shungite or track membrane and disinfected internally. In a portable device, water can be cleansed from heavy metals, chemicals, pesticides, phenols, organic contaminants, nitrates, petroleum products, ammonia, viruses, pathogenic microorganisms. Portable water purification device can be used in the field by tourists, travellers, military personnel.*

**Key words:** *portable device for water purification; shungite; zeolite; track membranes; anthropogenic pollution of water; disinfection of water; mechanical filter*

## Introduction

Water resources of Ukraine consist of surface river runoff and fresh groundwater. Salty seawater has constraints in water supply. The superficial part of the river runoff is very variable and has been regulated for use in water supply.

There are three types of rivers. The first type includes plain ones, characterized by wide valleys with gentle banks. The velocity of the flow is 0.2 ... 0.5 m/sec as the minimum, and due to flood is increased to 1 m/sec. In the summer part of this rivers dry up. The second type includes the Polissya rivers. They are characterized by swampy river basins. The third type combines mountain rivers. These are the rivers of the Carpathians and the Crimea. They are characterized by steep slopes, not wide and deep valleys. The speed of this rivers reaches 1 ... 2 m/sec at low, and 3 ... 5 m/sec in flood.

In addition, in Ukraine there are more than 7 thousand lakes, 23 thousand artificial ponds and reservoirs.

For drinking water supplying, underground water is preferred, especially that is inter-bilayer pressure water.

Natural water is a multicomponent heterogeneous system that contains various impurities, both in dissolved and in an insoluble state. The purity of natural waters is characterized by physical, chemical, bacteriological and biological indicators. Physical indicators include, first of all, organoleptic parameters (odour, taste, transparency, turbidity, appearance, suspended matter). Chemical indices are characterized by an active reaction of pH, hardness, concentration of nitrogen-containing substances, sulfates, sulfides, phosphates, manganese, some poisonous

substances, radionuclides, and others. Bacteriological parameters are characterized by the presence of coliform and other pathogenic bacteria in water. Biological indicators are determined by aquatic organisms of the reservoir and vegetation.

Anthropogenic pollution of natural reservoirs occurs as a result of human economic activity. The ecological condition of many reservoirs is unsatisfactory. Drinking water from them without the necessary technological treatment is impossible. To ensure drinking water consumption in the field, it is necessary to have portable equipment for water purification from harmful to human health chemical compounds, from pathogenic bacteria, and disinfection of surface water.

Today, for travellers, tourists, hunters, fishermen, the militaries there are many handheld devices for water purification. They can be individual and group; using electricity and autonomous; with chemical, complete purification and with purification followed by boiling (disinfection); one-time and multiple.

The groups are usually used for expeditions. Such devices use traditional water purification and disinfection systems, requiring pumping equipment and the availability of electricity. Devices with incomplete cleaning (without decontamination) can use surface water without chemical contamination (this must first be known), followed by boiling, or thermal decontamination.

Reusable and disposable portable devices of individual using differs in cost characteristics, as well as water filtration systems used for water purification.

Individual devices for water purification are made by many firms. Reviews from consumers are ambiguous: from outright denial of use to use with next boiling of purified water. The cost of portable devices ranges from 600 to 1000 hrn., and foreign ones – from \$250 to 380.

Among the filters that are used in portable devices, membrane systems are most commonly used. Not all membrane systems can be used in portable devices. Membranes can be classified according to the following features:

- by the nature of the material from which the membranes are made: polymeric, non-polymeric. Polymeric membranes, depending on the type and the chemical composition of the polymer, can be cellulose, acetylcellulose, polyamide, and others. Inorganic – metal, ceramic, graphite, glass, zeolite, offset, shungite;

- the geometric shape of the membranes can be in the form of films, plates, tubes, hollow fibers. The thickness of the films can be 100–150 microns, the plates – 2 ... 3 mm;

- on functional features: dialysis, electro dialysis (ion exchange), microfiltration, ultrafiltration, nano-filtration;

- for the porous structure of the membrane they may be: non-porous (diffusion), porous, composite;

- by the method of obtaining membranes can be: dry, wet (swollen in a solvent), polymeric, track, liquid, dynamic (deposited by spraying, sintering), and others.

### **The authors offer**

Taking into account weight, geometric, functional and other characteristics of filter materials for individual portable water purification devices, the following materials can be distinguished: zeolite, opretite, shungite as natural sieve; tracks and composite films as microfiltration, ultrafiltration, nano-filtration materials. All listed characteristics (weight, geometric, functional) are present in the resulted materials.

Among other characteristics of filter materials, it is necessary to take into account the chemical characteristics for the removal of chemical compounds of sulfates, sulfides, phosphates, poisonous substances, radionuclides from water, as well as the removal of pathogenic bacteria, colic forms from the water.

Due to the fact that the portable device for water purification should be carried, its weight should be minimal, in volume of 1 ... 1,5 litres. It should clean water from surface sources from all available contaminants, and disinfect purified water in the device itself.

Let's consider several possible options.

Water purification using track membranes. The industry produces track membranes made of polyethylene terephthalate film with the following characteristics:

- the diameter of the holes (pores) can be from 0.05 to 5 microns, with a density of  $10^5 - 3 \cdot 10^9$  pores/cm<sup>2</sup>;
- the same pore diameter with a deviation of no more than 5%;
- operating temperature range up to 120°C;
- passive in the biological sense;
- filtration through the membrane can occur with an overpressure of 0.01 MPa;
- can be used for the microfiltration process;
- in drinking water significantly reduces the concentration of pathogenic bacteria, harmful chemical impurities, heavy metals, radionuclides, pesticides.

Use as a filtering material shungite – a natural composite with the general formula  $C_{79}H_{19}O_{1,5}N_{0,3}$ . It consists of carbon by 92–98% and belongs to anthraxolites. Shungite is a unique adsorbent, has high catalytic activity, bactericidal properties. The structure of shungite includes fullerenes – allotropic varieties of carbon with a unique structure. This will allow to remove humic substances and salts of heavy metals from the water. Due to bactericidal and sorption properties, shungite can purify water from spores of plants, viruses, biological toxins, helminthic eggs. As a result of interaction with water shungite gives it transparency, neutralizes a specific smell and an unpleasant smack. The natural filter of shungite promotes saturation of water with useful macro- and microelements in the most optimal concentration for human organism.

Zeolite, Aluminium and alkaline earth metal alumina silicate, sorbent of volcanic-sedimentary origin, clinoptilolite type. The chemical formula  $(NaK)_6[Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot 24H_2O$  with a diameter of the inlet holes from 0.3 to 1 nm. Zeolite works as a sieve. It absorbs or passes those molecules whose dimensions are less than porous in the zeolite itself. Everything else is delayed on its surface. It can clean water from harmful substances such as heavy metals, chemicals, pesticides, radioactive elements, phenols, organic pollutants, ammonia, nitrates, bacteria, petroleum products, viruses, pathogenic microorganisms, ammonia.

For cleaning water in a portable device, a two-stage cleaning system is used. At the first stage, mechanical cleaning is used. Water is filtered through a mechanical filter. At this stage, all mechanical impurities and voids are removed from the water; partially water is lightened, it is deprived of colour. The mechanical filter consists of a hair pad, which is located in an inlet pipe. It can be removed, washed out, or simply changed. The duration of the mechanical filter depends on the pollution of the source water, but not less than 10 ... 15 cycles.

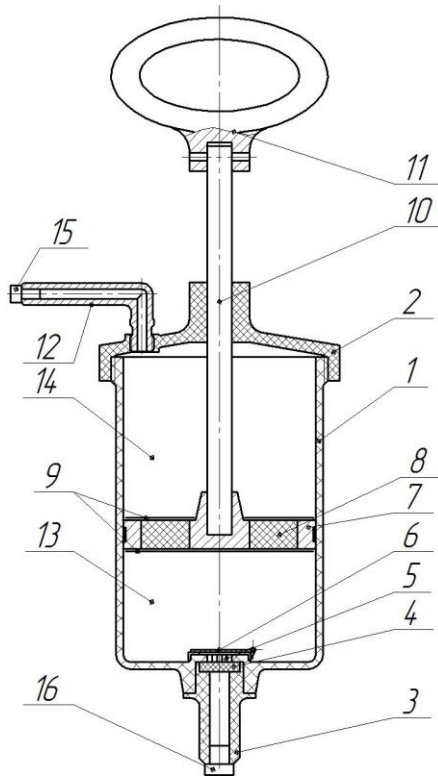


Fig. 1 – A portable device for water purification:

- 1 – body; 2 – cover; 3 – inlet pipe; mechanical filter; 5 – holes; 6 – return valve;  
7 – piston; 8 – filter; 9 – silver plated net; 10 – stock; 11 – a handle; 12 – fitting; 13 – cavity  
in front of the piston; 14 – cavity above the piston; 15, 16 – stubs

Then the water is sucked into the vessel by a piston system. On the piston can be placed zeolite, shungite or track filters, as well as silver plated net for additional disinfection of water. Treatment of water, which contains  $0.05 \dots 0.2 \text{ mg/dm}^3$  of silver within 30 ... 60 minutes, allows to achieve sanitary norms [2]. This is the second stage of cleaning and disinfecting water.

In Fig. 1 schematically depicts a portable device for water purification.

The device works as follows. The water through the mouthpiece 3 is suctioned through the mechanical filter 4, the holes in the body 5, the return valve 6 in the pre-filter cavity 13 by the piston 7. In this case, the water is purged by passing through the mechanical filter 4 from the mechanical impurities, and the return valve 6 in this time remains open. When the piston 7 moves in the opposite direction, the return valve 6 is closed and the water is filtered through the filter 8 into the cavity 14. The water contacts the silvered net 9 and is disinfected, and filtering through the filter 8, which can be made of shungite, opretite or track membrane, is finally cleared from the pollutants mentioned above. The purified water collected in the cavity 14 through the pipe connector 12 during the opposite movement of the piston 7 is delivered to consumer, while the next portion of the water can be sucked into the cavity 13 for purification. The cleaned water in the cavity 14 and the water collected for cleaning in the cavity 13 is not mixed because the water filtering through the filter 8 needs to create overpressure.

The water collected in the portable device with closed plugs 15 and 16 can be saved already purified. To minimize the weight of the portable device, it must be made of food plastic, and to minimize the size, it is necessary that the handle must be folding.

## Conclusions

The article analyses materials from which it is necessary to make filters for portable devices, so that purified water meets sanitary norms.

The proposed portable device combines the processes of cleaning and disinfecting water, does not use chemical reagents, is self-cleaned and completely autonomous.

The proposed construction of a portable device for water purification is confirmed by a patent [1].

## REFERENCES

1. Патент 114353 UA, МПК В01D 35/26 (2006.01) В01D 24/10 (2006.01) С02F 3/06 (2006.01) Переносний пристрій для очищення води / Кириєнко А.П., Кириєнко П.Г., Сідаченко О.А., Ковнацький О.Є.; заявл. 14.07.2015; опубл. 25.05.2017, Бюл.№10, 2017 р.
2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
3. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита [Текст]: пер. с англ. / Д. Брек. – М.: "Мир", 1976.
4. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Т. 3 : С - Я / [Альохін В.І. та ін.]. – Донецьк : Сх. вид. дім, 2013. – 642.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Kyrijenko, A., Kyrijenko, P., Sidachenko, O., & Kovnac'kyj, O. (2017). *UA. Patent No. 114353 МПК В01D 35/26 (2006.01) В01D 24/10 (2006.01) С02F 3/06 (2006.01) Perenosnyj prystrij dlja ochyshhennja vody*. UA (in Ukrainian).
2. Zapol's'kyj, A. K. (2005). *Vodopostachannja, vodovidvedennja ta jakist' vody*. Kyiv: Vyshha shkola (in Ukrainian).
3. Brek, D. (1976). *Ceolitovye molekulyarnye sita*. Moscow: Mir (in Russian).
4. Al'ohin, V. I. (2013). *Mala girnicha enciklopedija. Vol. 3 S-Ya* (3 vols.) (V. S. Bilec'kij, Ed.). Donec'k: Sh. vid. dim. (in Ukrainian).

*The article was received 14.12.2018 and was accepted after revision 28.12.2018*

## П.Г. Кириєнко, В.В. Кириєнко, А.В. Чумаченко ПЕРЕНΟΣНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

**Анотація.** Розглянуто двоступеневу систему очищення поверхневих вод в польових умовах в переносному пристрої для очищення води. На першому етапі вода фільтрується через волосяну набивку, а на другому фільтрується через цеоліт, шунгіт або трекову мембрану та обеззаражується в самому пристрої. У переносному пристрої вода може очищуватись від важких металів, хімікатів, пестицидів, фенолів, органічних забрудників, нітратів, нафтопродуктів, аміаку, вірусів, патогенних мікроорганізмів. Переносний пристрій для очищення води може використовуватись в польових умовах туристами, мандрівниками, військовими.

**Ключові слова:** переносний пристрій для очищення води; шунгіт; цеоліт; трекові мембрани; антропогенне забруднення води; обеззараження води; механічний фільтр

**Кирієнко Петро Григорович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, екології та експертних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

**Адреса робоча:** 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

**тел.** +380506194055 **e-mail:** *p.kirienko@khai.edu*

ORCID ID: 0000-0002-8116-7448

**Кирієнко Валентина Володимирівна**

студентка Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

**Адреса робоча:** 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

**Чумаченко Андрій Вікторович**

старший викладач кафедри графіки та комп'ютерного моделювання Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

**Адреса робоча:** 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17

**тел.** 0573150556

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

УДК 004.5:004.6:004.8:069.15:37

**Andrii V. Honchar**<sup>1</sup>, Leading Information Technology Officer  
ORCID ID: 0000-0001-8877-7559 *e-mail: avhonchar@gmail.com*

**Maryna A. Popova**<sup>2</sup>, PhD, Senior Research Associate  
ORCID ID: 0000-0002-0258-1713 *e-mail: pma1701@gmail.com*

**Oleksandr Ye. Stryzhak**<sup>2</sup>, Doctor Habilitat (computer science), Principal Researcher  
ORCID ID: 0000-0002-4954-3650 *e-mail: sae953@gmail.com*

<sup>1</sup>National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

### ONTOLOGY OF TOUR OF THE VIRTUAL MUSEUM 3D PANORAMA

***Abstract.** The article is devoted to the systematic and ontological analysis of the research domain and the formation on its basis of information models of knowledge formalization and knowledge presentation in modern network environments of memory institutions. The ontological approach to the formation of the ontology of tour of a virtual museum 3D panorama, which provides interactive interaction and transdisciplinary perception of objects of educational and research activities, is considered.*

***Keywords:** virtual museum; 3D panorama; ontology; taxonomy; ontological interface; transdisciplinary*

**А.В. Гончар**<sup>1</sup>, **М.А. Попова**<sup>2</sup>, **О.Є. Стрижак**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

### ОНТОЛОГІЯ ЕКСКУРСІЇ 3D ПАНОРАМОЮ ВІРТУАЛЬНОГО МУЗЕЮ

***Анотація.** Стаття присвячена системно-онтологічному аналізу області дослідження та формуванню на його основі інформаційних моделей формалізації та представлення знань в сучасних мережових середовищах установ пам'яті. Розглянуто онтологічний підхід до формування онтології екскурсії 3D панорамою віртуального музею, який забезпечує інтерактивну*

*взаємодію та трансдисциплінарність сприйняття об'єктів навчально-дослідницької діяльності.*

**Ключові слова:** *віртуальний музей; 3D панорама; онтологія; таксономія; онтологічний інтерфейс; трансдисциплінарність*

## **Вступ**

З перших днів незалежності Україна заявила про себе як активний учасник міжнародних природоохоронних заходів щодо реалізації екологічних програм і проектів. Вона є членом ООН і, відповідно, приєдналася до роботи усіх природоохоронних організацій, які діють під егідою останньої, бере участь у міжнародних конвенціях, виконує міжнародні зобов'язання з охорони навколишнього середовища. Одне з важливих місць у зовнішньополітичному курсі нашої держави посідає міжнародне співробітництво у галузі охорони навколишнього природного середовища.

Однак за останні п'ять років не природоохоронна діяльність, а соціально-економічна та суспільно-політична ситуація в Україні змусила звернути увагу на неї громадськості усього світу. І хоча формування екологічного іміджу нашої держави сприяє розвитку екотуризму, інтерес до України з боку інвесторів та бізнесу значною мірою підвищився, завдячуючи досягненням в галузі ІТ (Україна посідає четверте місце в світі за кількістю сертифікованих ІТ-фахівців) та авіакосмічній галузі (Україна входить до дев'ятки країн, що мають замкнутий технологічний цикл створення і виробництва авіатехніки, та до п'ятірки країн, що мають замкнутий цикл виробництва космічних ракет). Велику роль у підвищенні конкурентоспроможності на світовому ринку українських фахівців в цих галузях відіграє НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», що не лише готує кваліфіковані кадри, а й дбає про патріотичне виховання, формування креативної культури та мислення, розвиток творчих та дослідницьких здібностей студентів – майбутнього нашої нації. Значення Державного політехнічного музею в цьому процесі неможливо переоцінити, адже на сьогодні він є осередком не лише акумулювання, збереження, популяризації національних та світових технологій, техніки та інженерної діяльності людини, а й інститутом національної пам'яті, самоідентифікації громадян та ідентифікації України у світовому співтоваристві, джерелом інформації та знань.

На жаль, на сьогодні в Україні спостерігається тенденція до зменшення привабливості музеїв, що є наслідком як неспроможності музеїв якісно конкурувати зі сферою масових розваг і невміння задовольнити потреби вибагливого відвідувача через невідповідність сучасним вимогам вивчення, збереження та популяризації колекцій експонатів, так і загального зниження культурного та інтелектуального рівня нації. Актуальною для нашої країни залишається проблема доступності музейної інформації для географічно віддалених відвідувачів через політику заборони оприлюднення в середовищі Інтернет (на офіційних сайтах, в соціальних мережах, у вигляді 3D-турів віртуальними музеями тощо) адміністрації музею, яка, на відміну від закордонних колег, не усвідомлює, що діяльність музею здійснюється для громадськості та в її інтересах, адже метою є не «затягнути» відвідувача до музею, а зробити так, щоб він постійно повертався у пошуках нових вражень і знань.



Модернізація музейної справи в Україні та підвищення інтересу до музеїв можливі лише завдяки розширенню традиційних форм роботи із відвідувачами та запровадженню нових інформаційних технологій, спираючись на наукові дослідження й міжнародний досвід.

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють відвідувати музеї світу засобами Інтернет, що дає змогу людям з обмеженими можливостями взаємодіяти з надбаннями світової цивілізації, не виходячи з дому. Віртуальний музей дозволяє створити зовсім інший образ музею, органічність якого полягає у відповідності форм подачі музейних ідей, тем, сюжетів світосприйняттю відвідувача, а також у застосовуванні експертних систем та інших систем штучного інтелекту.

Екскурсія 3D панорамою віртуального музею є мотиваційним інструментом активізації навчально-дослідницької діяльності студентів. За останні кілька років більшість всесвітньовідомих музеїв [1, 2] створили віртуальні екскурсії на основі представлених на їх сайті експозицій. На даний час створення віртуальних екскурсій 3D панорамами експозицій музею перетворилося на тенденцію розвитку музейної справи.

Немає потреби перераховувати переваги віртуальних екскурсій, адже в наш час тотальної глобалізації та інформатизації користування гаджетами та Інтернет-технологіями перетворилося на щось само собою зрозуміле.

Метою статті є ознайомлення читачів з онтологічним підходом до формування екскурсій 3D панорамою віртуального музею, який, на відміну від існуючих, дозволяє інтерактивно взаємодіяти з мережевими фізично та тематично розподіленими, створеними у різних форматах та за різними стандартами й технологіями інформаційними ресурсами, що описують музейні експонати – об'єкти навчально-дослідницької діяльності, та забезпечує трансдисциплінарність їх сприйняття.

### **Онтологічний підхід до формування екскурсій 3D панорамою віртуального музею**

Віртуальні екскурсії – поширений, ефективний та переконливий спосіб представлення інформації про деяку область дослідження. Сьогодні вже нікого не здивувати 3D мультимедійною фотопанорамою, яка може супроводжуватися аудіо-, відео-, текстовою інформацією. Але забезпечити інтерактивну взаємодію з конкретним експонатом, детально його не лише розглянути, а й ознайомитися з історією створення, призначенням, життєвим циклом та ін., тобто сформувати трансдисциплінарну систему знань на основі розподілених в мережі Інтернет інформаційних ресурсів, не спроможна жодна з існуючих сьогодні 3D панорам.

Формування коректної системи знань про досліджуваній експонат 3D панорами, що представляється у вигляді агрегованого розподіленого в мережі інформаційного контенту, найбільш ефективно реалізовувати на основі онтології. Онтологічна система знань містить інформаційні описи експонатів віртуального музею на основі об'єктно-орієнтованої процедури формалізації, а також описи інтерпретаційних функцій, які керують процесом постачання інформаційного ресурсу про них.

Перевагою онтологій як способу взаємодії користувача зі знаннями є їх формальна структура, яка спрощує комп'ютерну обробку [3].

Використання онтології ефективне під час пошуку і об'єднання інформації з різних джерел і середовищ, представлення та інтерпретації інформації в процесі віртуальної екскурсії. Будучи аналогом поняття «модель», онтологія слугує засобом комунікації між користувачами, системами та користувачами і системами.

В загальному вигляді онтологія віртуального музею представляється ієрархічною структурою скінченної множини понять, які описують експонати  $x, (x_1, \dots, x_n) \in X_{exh} | X_{exh} \subset X_{vm}$ , об'єднані в класи – експозиції, виставки або зали музею на основі певних властивостей  $r, (r_1, \dots, r_n) \in R_{exh} | R_{exh} \subset R_{vm}$ , та множини наборів виконуваних з експонатами дій  $f, f^i(x_1, \dots, x_n) \in F_{exh} | F_{exh} \subset F_{vm}$ , що розглядається як кінцева множина функцій інтерпретації, задана над ними

$$O_{vm} = \langle X_{vm}, R_{vm}, F_{vm} \rangle. \quad (1)$$

Структурним базисом такої онтології є таксономія [4], представлена множиною дводольних графів  $G, G = (V, E)$ , вершинами яких є імена експонатів  $v, v_1, \dots, v_n \in V_{exh} | V_{exh} \subset V$ , об'єднані в класи (експозиції, виставки, зали тощо), а дугами – семантичні відношення між ними  $E$ , на основі яких експонати згруповані в експозиції за своїми властивостями

$$(G_{exh1}, G_{exh2}, \dots, G_{exhn}) \in G_{vm}. \quad (2)$$

Зазвичай групування експонатів в експозиції (виставки, зали тощо) на основі їх властивостей (дата створення, матеріал або техніка виконання, автор тощо) є строгим та перманентним. Але іноді дослідницька діяльність вимагає порушення лінійності процесу ознайомлення з конкретними фактами, об'єктами, особистостями тощо. Тому передбачений динамічний перерозподіл експонатів в експозиціях протягом екскурсії віртуальним музеєм, що може призвести до утворення нових класів понять на основі досліджуваних властивостей

$$G_{exh1} \cup G_{exh2} = G(V, E) | V^{exh1} \subseteq V, V^{exh2} \subseteq V; E^{exh1} \subseteq E, E^{exh2} \subseteq E, \quad (3)$$

$$V^{exh1} \cap V^{exh2} = \{v | v \in V^{exh1}, v \in V^{exh2}\}. \quad (4)$$

Онтологічний граф виступає не лише засобом організації інформації, а й середовищем активної взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами, відображеними у вигляді просторово упорядкованої множини висловлювань, адже відображення семантики інформаційних ресурсів у вигляді ієрархічних структур, над якими задається певна розширювана аксіоматика і між якими визначаються множини відношень, дозволяє вирішити проблему коректної інтерпретації їх використання в процесі навчально-дослідницької діяльності.

Елементами онтологічного інтерфейсу  $I_{vm}$  [5], з якими взаємодіє користувач протягом екскурсії, слугує інформаційне наповнення онтології віртуального музею. Візуальним представленням елементу онтології (тобто експонатом віртуального музею) є фрагмент 3D панорами (рисунок, іконка, фотографія тощо), джерело знаходження якого вказано у відповідній вершині графу (таксономії). Порядок відображення експонатів у вигляді онтологічного інтерфейсу на екрані залежить від внутрішньої організації вершин у графі, тобто порядок виведення зображень у галереї залежить від порядку вершин у графі.

Текстовий опис елементу онтології, що представляється у вигляді агрегованих семантично пов'язаних контекстів фізично та тематично розподілених в мережі інформаційних ресурсів, та посилання на зовнішні джерела інформації відображаються поряд із зображенням та мають загальний стиль для всіх об'єктів (колір, розмір та стиль шрифту, позиція по відношенню до зображення, відповідні іконки для посилань на інформаційні ресурси різних форматів тощо) [6].

В загальному вигляді онтологія екскурсії 3D панорамою віртуального музею представляється кортежем

$$O_{3D} = \langle O_{vm}, I_{vm} \rangle, \quad (5)$$

де  $O_{vm}$  – онтологічна модель віртуального музею, в середовищі якого здійснюється дослідницька діяльність;

$I_{vm}$  – кортеж станів 3D панорам віртуального музею, які актуалізуються протягом екскурсії з метою досягнення дослідницьких цілей

$$I_{vm} = \langle I^0, I^1, \dots, I^i, \dots, I^n \rangle. \quad (6)$$

Онтологічний підхід до формування екскурсії 3D панорамою віртуального музею не вимагає від користувача спеціалізованих знань або навичок (в тому числі мов програмування), а для перегляду не потрібно встановлювати додаткове програмне забезпечення (достатньо Інтернет-браузера).

Послідовність перегляду експонатів віртуального музею протягом екскурсії може бути задана тим, хто її створив, але не обов'язковою для того, хто її переглядає, – користувач має змогу задати власну послідовність ознайомлення з експонатами.

Під час проведення екскурсії студенти можуть редагувати онтологію віртуального музею (додавати інформацію, робити нотатки тощо) в авторизованому онтологічному кабінеті [7], зберігаючи редаговану версію на локальний носій інформації, що дозволяє розвинути та закріпити знання із сучасних ІКТ.

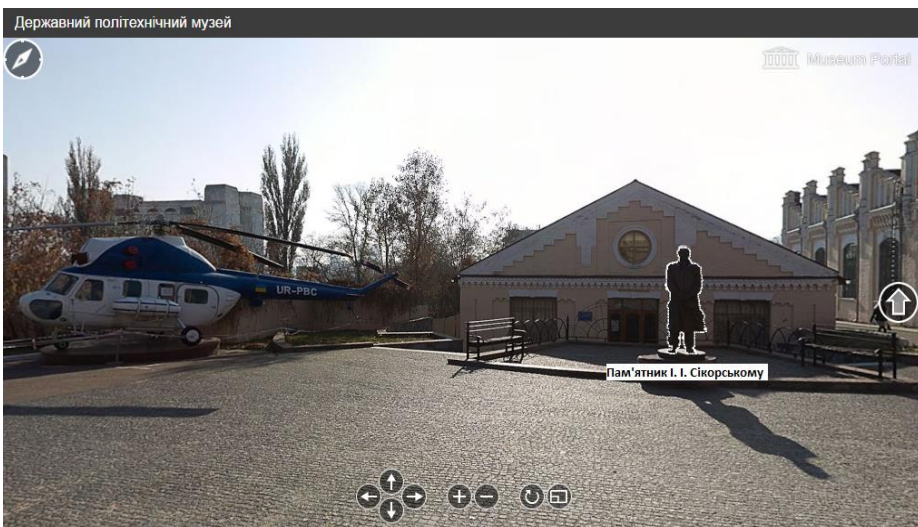


Рис. 1 – Фрагмент 3D панорами віртуального Політехнічного музею при НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

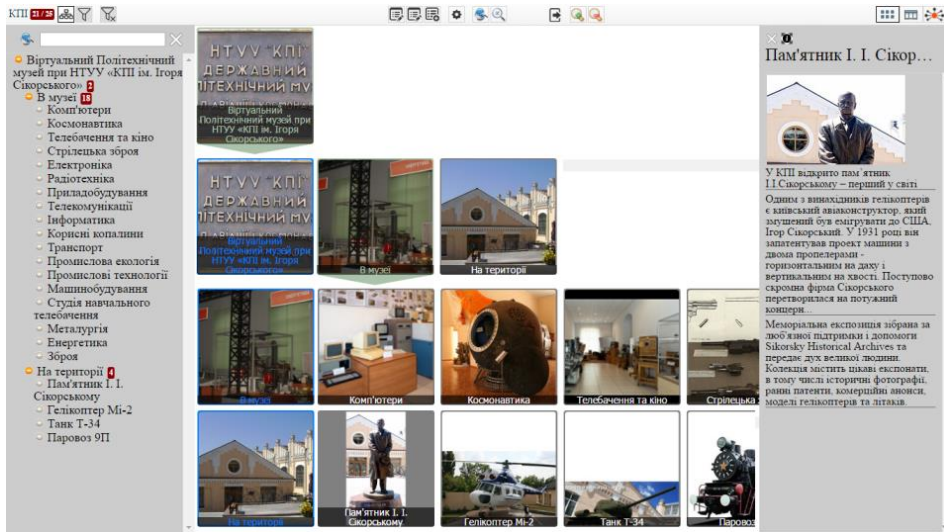


Рис. 2 – Фрагмент онтологічного інтерфейсу віртуального Політехнічного музею при НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Узагальнення та систематизація побаченого й почутого протягом екскурсії 3D панорамою віртуального музею також може бути представлена студентами у вигляді онтології, яка, у свою чергу, може бути окремо виконаним творчим завданням (курсовою, дипломною роботою) або додатком до онтології вже існуючого віртуального музею.

Онтологія екскурсії 3D панорамою віртуального музею – не лише система знань про область дослідження, побудована на основі агрегованих та інтегрованих розподілених в мережі Інтернет інформаційних ресурсів, це й «вікно доступу» до інформації, що описує дотичні області, забезпечуючи трансдисциплінарність сприйняття обраної тематики.

## Висновки

Завдяки високому ступеню наочності і ефекту присутності віртуальні екскурсії викликають небувалий інтерес у користувачів мережі Інтернет.

Екскурсія 3D панорамою віртуального музею, звичайно, не може замінити особисту присутність відвідувача, але дозволить отримати досить повне враження про досліджуваний об'єкт. Онтологічний підхід до формування таких екскурсій має ряд переваг перед традиційними підходами:

- Автоматизація обробки інформації про досліджуваний експонат підвищує продуктивність роботи дослідника.
- Допомагає ознайомитися з методами пошуку, систематизації і наочного подання інформації за допомогою ІКТ.
- Доступність, інтуїтивна зрозумілість тощо.
- Протягом екскурсії дослідники-відвідувачі не лише інтерактивно взаємодіють з об'єктами вивчення та мають змогу отримати трансдисциплінарне уявлення про них, а й опановують практичні навички самостійного спостереження та аналізу.

Створення і проведення такого роду екскурсій сприяє закріпленню знань із сучасних комп'ютерних та Інтернет-технологій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Louvre – Режим доступу до ресурсу: [louvre.historic.ru/virttour.shtml](http://louvre.historic.ru/virttour.shtml).
2. The Museum of Modern Art – Режим доступу до ресурсу: <https://www.moma.org/>.
3. Комп'ютерні онтології та їх використання у навчальному процесі. Теорія і практика : Монографія / [С. О. Довгий, В. Ю. Величко, Л. С. Глоба та ін.]. – К. : Інститут обдарованої дитини, 2013. – 310 с.
4. Стрижак А. Е. Таксономические характеристики онтологических систем / А. Е. Стрижак // Бионика интеллекта, 2014. – № 2(83). – С. 24-29.
5. Попова М. А. Модель онтологического интерфейса агрегации информационных ресурсов и средств ГИС / М. А. Попова // International Journal "Information Technologies and Knowledge". – 2013. – Vol. 7, Number 4. – P. 362-370.
6. Попова М. А. Онтологія взаємодії в середовищі геоінформаційної системи [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / М. А. Попова; НАН України, Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору. Київ, 2014. – 240 с. укр.
7. Онтологічний кабінет дослідження життя та творчості Тараса Шевченка в середовищі науково-освітнього порталу KOBZAR.UA : Монографія / [С. О. Довгий, О. Є. Стрижак, Т. І. Андрущенко та ін.]. – К. : Інститут обдарованої дитини, 2016 – 175 с.

*Стаття надійшла до редакції 01.03.2019 і прийнята до друку після рецензування 18.03.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Louvre – Retrieved from: [louvre.historic.ru/virttour.shtml](http://louvre.historic.ru/virttour.shtml).
2. The Museum of Modern Art – Retrieved from: <https://www.moma.org/>.
3. Dovgyj, S. O. (2013). *Komp'yuterni ontologii' ta ih vykorystannja u navchal'nomu procesi. Teorija i praktyka : Monografija*. Kyiv: Instytut obdarovanoi' dytyny (in Ukrainian).
4. Stryzhak, A. E. (2014). Taxonomic Characteristics of Ontological Systems. "Bionics of Intelligence", 2(83), 24-29 (in Russian).
5. Popova, M. A. (2013). Model of Ontological Interface of Aggregation of Information Resources and GIS Tools. *International Journal "Information Technologies and Knowledge"*, 7(4), 362-370 (in Russian).
6. Popova, M. A. (2014). *Ontology of Interaction in the Environment of the Geographic Information System (Doctoral dissertation, Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU) [Abstract]* (in Ukrainian).
7. Dovgyj, S. O. (2016). *Ontologichnyj kabinet doslidzhennja zhyttja ta tvorchosti Tarasa Shevchenka v seredovyshhi nauково-osvitn'ogo portalu KOBZAR.UA : Monografija*. Kyiv: Instytut obdarovanoi' dytyny (in Ukrainian).

*The article was received 01.03.2019 and was accepted after revision 18.03.2019*

### **Гончар Андрій Володимирович**

провідний фахівець з інформаційних технологій Національного центру «Мала академія наук України»

**Адреса робоча:** 04119 Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 38/44

**e-mail:** [avhonchar@gmail.com](mailto:avhonchar@gmail.com)

**ORCID ID:** 0000-0001-8877-7559

**Попова Марина Андріївна**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу онтологічних систем та прикладної алгебраїчної комбінаторики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** pma1701@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-0258-1713

**Стрижак Олександр Євгенійович**

доктор технічних наук, головний науковий співробітник відділу онтологічних систем та прикладної алгебраїчної комбінаторики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** sae953@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4954-3650

UDC 624.137.2

**Anatolii P. Sirenko**, PhD, Docent, Docent of Department of dynamics and strength machines and strength of materials of the Institute of Mechanical Engineering  
ORCID ID: 0000-0002-4951-1165 **e-mail:** sirenkoap@gmail.com

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

## TO THE ANALYSIS OF METHODS OF CALCULATION OF STABILITY OF USE AND THEIR CLASSIFICATION

**Abstract.** *The problem of assessing the stability of slopes is quite relevant in the development of mineral deposits in an open way, in hydraulic engineering and transport, industrial and civil engineering, as well as in other areas of human activity. Attempts to obtain the correct method of calculation led to the emergence of a large number of methods, methods of calculation and calculation schemes: their diversity is explained by the number of assumptions used by researchers to justify the calculation scheme and stability conditions. The task of determining the parameters of a steady slope or bearing capacity of the base in most cases is statically uncertain. Therefore, for the determination of unknown reactions, the authors put forward additional conditions (assumptions). The variety of existing methods for calculating the stability of slopes caused the need to classify them by one or another feature. Based on a detailed analysis of work in this area, four groups of basic assumptions put forward by researchers for substantiation of the calculation scheme for calculating the stability of slopes, obtaining stability conditions (equilibrium) of the shift prisms, the selection of the shape and position of the weakest surface of slip in the slopes were identified. These are assumptions such as: about the condition of the boundary stress state at each point of the bias prism (the method of the boundary stress state); about the distribution of normal reactions along the surface of the slip (methods of a monolithic compartment of collapse, that is, when considering the balance of the prism of the shear completely); the ratio of tangential and normal reactions at the lateral sides of the compartments (the reaction is horizontal, inclined or marginal rejected); in relation to the shape and position (geometry) of the potential (weakest) surface of the slide. In conclusion, it was concluded that the method of the boundary stress state is most useful for preventing collapses, then studying the shape of slopes and external loading, at which a possible collapse. The method of boundary equilibrium, in turn, is desirable to use for the analysis of a strained state of landslides.*

**Keywords:** *slope; marginal equilibrium method; limiting stress state method; resilience*

**А.П. Сіренко**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

## ДО АНАЛІЗУ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ СХИЛІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ

**Анотація.** *Проблема оцінки стійкості схилів є досить актуальною при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом, в гідротехнічному і транспортному, промисловому і цивільному будівництві, а також в інших*

галузях діяльності людства. Спроби отримання коректного способу розрахунку привели до появи великої кількості способів, прийомів розрахунку і розрахункових схем: їх різноманіття пояснюється кількістю припущень, що використовуються дослідниками для обґрунтування розрахункової схеми, і умовами стійкості. Завдання з визначення параметрів стійкого схилу або несучої здатності основи в більшості випадків є статично невизначеним. Тому для визначення невідомих реакцій авторами висуваються додаткові умови (припущення). Різноманіття існуючих способів розрахунку стійкості схилів викликало необхідність класифікувати їх за тими чи іншими ознаками. На підставі детального аналізу робіт у цій галузі було виокремлено чотири групи основних припущень, висунутих дослідниками для обґрунтування схеми розрахунку стійкості схилів, отримання умов стійкості (рівноваги) призми зсуву, виділення форми і положення найбільш слабкої поверхні ковзання в схилах. Це такі допущення, як: про виконання умови граничного напруженого стану в кожній точці призми зміщення (метод граничного напруженого стану); про розподіл нормальних реакцій уздовж поверхні ковзання (способи монолітного відсіку обвалення, тобто коли розглядають рівновагу призми зсуву цілком); щодо співвідношення дотичних і нормальних реакцій по бічних гранях відсіків (реакція горизонтальна, нахилена або гранично відхилена); щодо форми і положення (геометрії) потенційної (найбільш слабкої) поверхні ковзання. У підсумку зроблено висновок, що метод граничного напруженого стану найбільш корисний для попередження обвалів, тобто вивчення форми схилів і зовнішнього навантаження, при яких можливе обвалення схилів. Метод граничної рівноваги, у свою чергу, бажано застосовувати для аналізу напруженого стану зсувів.

**Ключові слова:** схил; метод граничної рівноваги; метод граничного напруженого стану; стійкість

## Вступ

Проблема оцінки стійкості схилів є досить актуальною при розробленні родовищ корисних копалин відкритим способом в гідротехнічному, транспортному, промисловому і цивільному будівництві, а також в інших галузях діяльності людини [1–5].

Історично першою роботою з питань рівноваги масиву, обмеженого нахиленою площиною (схилом), є робота У.Д. Ренкіна (1857). Перший спосіб розрахунку стійкості схилів, заснований на принципі Кулона, був запропонований в 1920 р. Г. Франсе. До теперішнього часу розроблено понад 100 способів, прийомів і схем розрахунку стійкості схилів. Їх різноманіття пояснюється кількістю припущень, що використовуються дослідниками для обґрунтування розрахункових схем, і умовами стійкості. Річ у тім, що завдання з визначення параметрів стійкого схилу або несучої здатності основи в будь-якій постановці є статично невизначеним. Тому для визначення невідомих реакцій авторами висуваються додаткові умови (припущення). Наприклад, У.Д. Ренкін передбачав, що в кожній точці призми зсуву виконується умова граничної кулонівської рівноваги. Д. Тейлор приймає симетричний синусоїдальний закон розподілу нормальних реакцій уздовж поверхні ковзання. Більшість інших способів допускають нехтування дією міжблокових реакцій, а поверхню ковзання приймають з умови отримання більш простих формул. Тому таке велике різноманіття способів розрахунку викликало необхідність класифікувати їх за тими чи іншими ознаками.



## Основна частина

Способи класів **A**, **B** та **B** в таблиці представлені для однорідних схилів, а клас **Г** – для анізотропних. Жоден з цих способів не є математично коректним, навіть коли йдеться про ідеально однорідні і ізотропні масиви ґрунту. З іншого боку, очевидно, що теорія розрахунку анізотропних схилів повинна базуватися на теорії ізотропних схилів, тому способи класу **Г** у подальшому виключимо з аналізу.

Таблиця – Класифікація методів (способів) розрахунку стійкості схилів

Клас	Загальний принцип визначення параметрів стійкого схилу, що характеризує клас методів	Загальна ознака для групи способів	Основний спосіб групи	Розрахункові способи і схеми, що використовують основний метод
1	2	3	4	5
<b>A</b>	Побудова контуру схилу, у всіх точках якого задовольняється умова граничного ненапруженого стану	Чисельний спосіб інтегрування диференціальних рівнянь напруженого стану	Спосіб В.В. Соколовського	Таблиці П.С. Мухіна та Л.І. Сраговіч. Номограми Н.К. Звонарьова. Спосіб А.І. Говядінова - С.В. Фальковича. Способи А.М. Сенкова, І.Д. Моллокова, Г.Л. Фісенко - В.Т. Сапожникова (опуклий схил), В.Т. Сапожникова - В.І. Пушкарьова (схил криволінійний в плані), Ю.Н. Малюшицького (багатошаровий схил).
		Графічний спосіб інтегрування диференціальних рівнянь граничного напруженого стану	Спосіб С.С. Голушкевіча	
<b>B</b>	Побудова контуру схилу, уздовж якого задовольняється рівність кута нахилу дотичній куту опору зрушення	Розбивка схилу на горизонтальні шари і визначення сталого кута нахилу кожного шару з урахуванням ваги верхніх порід	Способи Н.Н. Маслова, М.Н. Троїцької	
<b>B</b>	Побудова в масиві поверхні ковзання, уздовж якої задовольняється умова граничної рівноваги	Плоска поверхня ковзання	Способи Г. Франсе, О. Вінклера, Л.Н. Бернацького, П.Н. Цимбаревича, О.Т. Токмурзіна	
		Умови рівноваги всього схилу (круглоциліндрична поверхня)	Способи В. Фелленіуса, Д. Тейлора (коло тертя)	

Продовження таблиці

			Графоаналітичний метод М.Н. Гольдштейна (коло тертя), аналітичний метод М.Н. Гольдштейна	Графіки В.Н. Лобасова, Е.К. Алаторцева
			Способи М.М. Соколовського, А.І. Іванова, О. Фреліха, М.Н. Гольдштейна	Приєм П.А. Ляпічева
		Умови рівноваги окремих вертикальних відсіків	Способи С. Хюльтіна, Г. Крея - К. Терцаги, Р.Р. Чугаєва - О.В. В'яземського, А. Бішопа, А.Л. Можевітінова, Г.М. Шахунянца (багатокутник сил)	Графіки А. Бішопа - Н. Моргенштерна
		Поверхня ковзання у вигляді логарифмічної спіралі	Способи Л. Рендуліка, Н.П. Пузиревського - П.І. Кожевникова, Ю.С. Козлова - В.А. Будкова	
		Поверхня ковзання складної криволінійної форми	Способи Г.Л. Фісенко, С.Н. Нікітіна, Л.В. Савкова	
		Варіаційні способи	Способи І. Копачі, Ю.І. Соловійова, А.Г. Дорфмана	
		Поверхня ковзання ламаної форми	Способи А.П. Ясюнаса (прутуленого схилу), Н.Н. Маслова (горизонтальних сил), Р.Р. Чугаєва (похилих сил)	
<b>Г</b>	Побудова в масиві поверхні ковзання, уздовж якої задовольняється умова спеціальної граничної рівноваги	Визначення зсувних та утримуючих сил з урахуванням міцності по поверхні ослаблення схилу	Способи Г.Л. Фісенко, Н.Н. Куваєва, П.Н. Панюкова	

**Аналіз методів розрахунку схилів**

До вказаних в таблиці способів для різних поверхонь ковзання схилу необхідно додати способи Янбу, Моргенштерна і Прайса, Спенсера [6]. Ці способи досить схожі і дають близькі результати. Їх принципова різниця полягає в кількості рівнянь рівноваги, які складають для окремих відсіків або для всієї призми зсуву в цілому.

Способи класу **Б** базуються на припущеннях про те, що у всіх точках кут схилу дорівнює куту опору зрушенню, а також на зовнішній схожості між рівнянням опору сипучих порід зрушенню і рівнянням, що зв'язує висоту схилу з його закладенням. Способи даного класу не мають належного теоретичного обґрунтування і не можуть бути розрахунковими.

Способи класу **А** використовують одне, хоча і досить принципове допущення – в кожній точці призми зсуву виконується умова граничного напруженого стану (закон Кулона). Дані способи виділяють в окремий метод граничного напруженого стану.

Родоначальником методу є французький вчений Ш.О. Кулон (1736–1806 рр.), який сформулював в 1773 р. основні положення граничної рівноваги. Шотландський професор У.Д. Ренкін (1820–1872 рр.) в 1857 р. розглянув граничну рівновагу нескінченного масиву, обмеженого нахиленою площиною, а також ввів поняття про поверхні ковзання (див. рисунок).

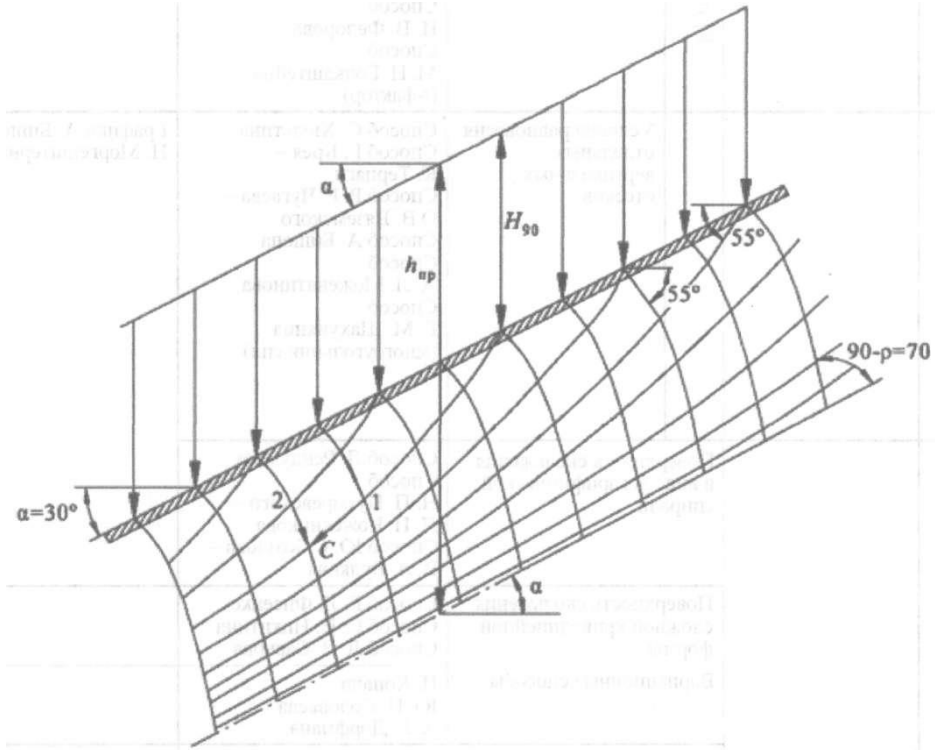


Рисунок – Узагальнена задача Ренкіна

Основою методу, подібно механіці суцільних середовищ (теорії пружності, пластичності і т. п.), є диференціальні рівняння рівноваги у двовимірній постановці:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= \gamma, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\gamma$  – об'ємна вага гірських порід;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  – компоненти тензора плоского напруженого стану.

Однак не існувало загального підходу для вирішення завдань граничної рівноваги вагомому сипучого і в'язкого середовища. Лише в 1939 р. В.В. Соколовський [7] розробив такий метод. Ввівши поняття про середню величину наведеної напруги  $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + C \operatorname{ctg} \varphi$  та виразивши через неї

компоненти тензора напружень, В.В. Соколовський отримав так звану основну систему рівнянь граничної рівноваги у симетричному вигляді:

$$\left[ \frac{\partial \sigma}{\partial x} \pm 2\sigma tg\varphi \frac{\partial \rho}{\partial x} \pm \gamma tg\varphi \right] \cos(\rho \pm \varepsilon) + \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial y} \pm 2\sigma tg\varphi \frac{\partial \rho}{\partial y} \pm \gamma \right] \sin(\rho \pm \varepsilon) = 0, \quad (2)$$

де  $\rho$  – кут між напрямком найбільшої головної напруги  $\sigma_1$  і віссю  $x$ ;  $\varepsilon = \pi/4 - \varphi/2$  – кут між напрямком  $\sigma_1$  і площинами ковзання.

Недоліки методу граничного напруженого стану:

1) неможливість застосування у випадках довільної форми схилу і епюри зовнішнього навантаження, що є наслідком допущення про виконання умови граничного напруженого стану в кожній точці призми зсуву;

2) складність або неможливість застосування у випадках наявності в масиві поверхонь ослаблення (контактів шарів, тріщин і т. п.);

3) трудомісткість і непридатність при адаптації до складних гірничо-геологічних умов (сейсмічність, обводненість, об'ємна задача і т. п.).

Способи класу **В** найбільш різноманітні. Їх відмінність полягає в геометрії використовуваної поверхні ковзання (круглоциліндричних, логарифмічна спіраль і ін.), а також в тому, яким чином судять про стійкість призми зсуву: по рівновазі окремих відсіків (блоків) або для всієї призми зсуву. Дослідники для обґрунтування відсутності недостатньої умови (рівняння) висувають додаткові, найчастіше малообґрунтовані гіпотези про розподіл міжблокових реакцій. Наприклад, деякі з них:

1. реакція між відсіками горизонтальна (Н.М. Герсєванов, Г. Крей, Р.Р. Чугаєв – спосіб горизонтальних сил, Н. Янбу);

2. дотична реакція максимальна (Г.М. Шахунянц);

3. реакція відхилена від горизонту на величину половини кута зсуву (Р.Р. Чугаєв – спосіб похилих сил);

4. напрямок реакції паралельний основі подальшого відсіку (Г.Лі. Фісенко – алгебраїчне додавання сил);

5. відношення дотичної і нормальної складової – лінійна функція аргументу (спосіб Моргенштерна і Прайса);

6. дотична реакція чисельно дорівнює добутку зчеплення на площу бічної поверхні (Г.М. Шахунянц, 1969);

7. дотична реакція чисельно дорівнює силі тертя при граничній рівновазі по боковій грані відсіку (В.Т. Гузченко й ін.);

8. дотична і нормальна реакції відсіків дорівнюють нулю (Ю.І. Соловйов, К. Терцагі, спосіб алгебраїчного додавання сил).

Зауважимо, що взаємодії між відсіками присутні в будь-якому випадку, інакше напруження в тілі призми зсуву були б нульовими, а це можливо лише в ненавантажених і невагомих середовищах. Однак важливо встановити ступінь їх впливу на стійкість. Так як умова рівноваги визначається лише дією зовнішніх сил (сил, що діють на призму зміщення в цілому), то внутрішні сили (міжблокові реакції) в критерій стійкості в явному вигляді вводити не будуть. Тобто внутрішні сили повинні виражатися у вигляді функції зовнішніх сил.

Наприкінці відзначимо принципові відмінності між двома основними методами розрахунку (оцінки) стійкості схилів і основні положення кожного з них:

1. У *методі граничного напруженого стану* (клас **A**) умова граничної рівноваги виконується в кожній точці призми зсуву, в тому числі на поверхні схилу і уздовж поверхні ковзання. Це, зокрема, означає, що напрямок лінії дії найбільшої головної напруги відхилено від майданчиків ковзання кожного із сімейств поверхонь ковзання на кут  $\pi/4 - \varphi/2$ . На майданчиках з таким орієнтуванням діє максимальна різниця зсувних та утримуючих сил, тобто вони є найбільш небезпечними в даній точці.

2. У *методі граничної рівноваги* й у всіх його способах (клас **B**) умова граничної рівноваги (умова пластичності, міцності) виконується тільки уздовж поверхні ковзання, причому орієнтування майданчиків визначається з умови небезпеки (екстремальності) поверхні ковзання в цілому, а не в кожній її точці. Тобто майданчики зрізу (ковзання) не обов'язково будуть відхилені від напрямку першої головної напруги на кут  $\pi/4 - \varphi/2$ .

3. Таким чином, незважаючи на деяку схожість методів *граничного напруженого стану* та *граничної рівноваги*, їх порівняння необхідно проводити з обережністю.

## Висновки

1. На підставі детального аналізу, проведеного автором, були виділені чотири групи основних припущень, висунутих дослідниками для обґрунтування розрахункової схеми, отримання умов стійкості (рівноваги) призми зсуву і визначення форми і положення найбільш слабкої поверхні ковзання в схилах:

- допущення про виконання умови граничного напруженого стану в кожній точці призми зсуву (метод граничного напруженого стану – способи класу **A**);
- допущення про розподіл нормальних реакцій уздовж поверхні ковзання (способи монолітного відсіку обвалення, тобто коли розглядають рівновагу призми зсуву цілком);
- припущення щодо співвідношення дотичних і нормальних реакцій по бокових гранях відсіків (реакція горизонтальна, нахилена або гранично відхилена);
- припущення щодо форми і положення (геометрії) потенційної (найбільш слабкої) поверхні ковзання.

2. Всі існуючі методи (способи) в силу статичної невизначеності завдання в будь-якій їх постановці для отримання умов рівноваги призми зсуву використовують ті чи інші припущення. У цьому сенсі жоден з розглянутих способів не є математично коректним. Про ступінь обґрунтованості кожного з припущень судити досить складно через відсутність еталонного (коректного) способу розрахунку.

3. Метод граничного напруженого стану найбільш корисний для попередження обвалів схилів, тобто вивчення форми схилів і зовнішнього навантаження, при яких можливе обвалення. Метод граничної рівноваги, у свою чергу, бажано застосовувати для аналізу напруженого стану зсувів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиренко А.П. Влияние уровня грунтовых вод на устойчивость оползневого склона / А.П. Сиренко // Будівельні конструкції: зб. наук. пр. – К. : ДП НДІБК, 2014. – Вип. 80. – С. 210 – 213.
2. Stefanyshyn, D. V. (2013). A method of forecasting of indexes of dynamic system that evolves slowly, based on time series analysis. In *4th Int. Conf. on Inductive Modelling* (pp. 221-224). Kyiv, Ukraine.
3. Сиренко А.П. Критична відстань між утримуючими елементами для зсувних та зсувонебезпечних схилів Чернівецької області / А.П. Сиренко // Екологічна безпека. – 2013. – № 13. – С. 73–76.
4. Trofymchuk O., Kaliukh I., Silchenko K., Polevetskiy V., Berchun V., Kalyukh T. Use accelerogram of real earthquakes in the evaluation of the stress-strain state of landslide slopes in seismically active regions of Ukraine. In: Lollino G. et al. (eds) *Engineering Geology for Society and Territory* – vol. 2, pp. 1343-1346, Springer, Cham (2015).
5. TXT-tool 2.380-1.1: Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine / O. Trofymchuk, I. Kaliukh, O. Klimenkov / In book: *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. – 2018. – P. 491–508.
6. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов / под ред. В.Г. Мельника. М.: Стройиздат. 1988. 240 с.
7. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М: Наука. 1990. 272 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.02.2019 і прийнята до друку після рецензування 07.03.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Sirenko, A. P. (2014). Vlijanie urovnja gruntovyh vod na ustojchivost' opolznevogo sklona. *Budivel'ni Konstrukcii'*, (80), 210-213 (in Russian).
2. Stefanyshyn, D. V. (2013). A method of forecasting of indexes of dynamic system that evolves slowly, based on time series analysis. In *4th Int. Conf. on Inductive Modelling* (pp. 221-224). Kyiv, Ukraine (in Ukrainian).
3. Sirenko, A. P. (2013). Krytychna vidstan' mizh utrymujuchymy elementamy dlja zsvunyh ta zsvuonebezpechnyh shylyv Chernivec'koi oblasti. *Ekologichna bezpeka*, (13), 73-76 (in Ukrainian).
4. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Silchenko, K., Polevetskiy, V., Berchun, V., & Kalyukh, T. (2015). Use accelerogram of real earthquakes in the evaluation of the stress-strain state of landslide slopes in seismically active regions of Ukraine. In G. Lollino et al. (eds.), *Engineering Geology for Society and Territory* (Vol. 2, pp. 1343-1346). Springer, Cham.
5. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klimenkov, O. (2018). TXT-tool 2.380-1.1: Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. In *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools* (pp. 491-508).
6. Huan, J. X. (1988). *Ustojchivost' zemljanyh otkosov* (V. G. Mel'nik, Ed.). Moscow: Strojizdat (in Russian).
7. Sokolovskij, V. V. (1990). *Statika sypuchej sredy*. Moscow: Nauka (in Russian).

*The article was received 20.02.2019 and was accepted after revision 07.03.2019*

### **Сиренко Анатолій Петрович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Адреса робоча: 03056 Україна, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37

*e-mail*: [sirenkoap@gmail.com](mailto:sirenkoap@gmail.com)

ORCID ID: 0000-0002-4951-1165

УДК 532.5; 519

**Volodymyr A. Voskoboinick**<sup>1</sup>, D.S., Associate Professor, Leading Scientist  
ORCID ID 0000-0003-2161-6923 *e-mail*: [vlad.vsk@gmail.com](mailto:vlad.vsk@gmail.com)

**Oleksandr A. Voskoboinyk**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Associate  
*e-mail*: [alexandr.vsk@gmail.com](mailto:alexandr.vsk@gmail.com)

**Dmytro I. Cherniy**<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor, Principle Investigator  
*e-mail*: [Dmytro.Cherniy@gmail.com](mailto:Dmytro.Cherniy@gmail.com)

<sup>1</sup>Institute of Hydromechanics of the NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NASU, Kyiv, Ukraine

## THE MODELING OF DIFFERENT SCALE HYDROLOGIC PROCESSES IN AQUATORIES

**Abstract.** *The results of mathematical and physical modeling of global and local hydrological processes in the water area are presented. By the method of mathematical modeling revealed variability of large-scale circulatory flow and mass transfer in a water-restricted area with complex obstacles.*

*In laboratory conditions, by experimental methods, in the hydrodynamic tray, on the channel and the laboratory stand, detected of local hydrodynamic processes and mass transfer around local obstacles - three-row fuel burner rafts. Mechanisms of formation of erosion and transfer of the soil near and within the single and group structures of the grillages located on the laundering sandy bottom of the channel are revealed.*

**Key words:** *razversk; vortex structure; eroded soil*

**В.А. Воскобийник<sup>1</sup>, О.А. Воскобойник<sup>1</sup>, Д.І. Черній<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ РІЗНОМАСШТАБНИХ ГІДРОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АКВАТОРІЇ

**Анотація.** *Наведено результати математичного та фізичного моделювання глобальних та локальних гідрологічних процесів в акваторії. Методом математичного моделювання виявлено мінливість великомасштабних циркуляційних течій та масоперенос в акваторії із складною границею, за наявності великомасштабних перешкод.*

*Експериментальними методами в лабораторних умовах в гідродинамічному лотку, каналі та лабораторному стенді виявлено зони, які знаходяться під інтенсивним гідродинамічним впливом, особливості локальних гідродинамічних процесів та масопереносу навколо локальних перешкод – трирядних пальних ростверків. Виявлено механізми формування розмивів і намивів ґрунту поблизу і усередині одиночних і групових конструкцій ростверків, які розташовані на розмивному піщаному дні каналу.*

**Ключові слова:** *ростверк; вихрова структура; розмив ґрунту*

## Вступ

Зміни будь-яких зовнішніх умов завжди впливають на ефективність господарської діяльності в регіоні. Особливо, коли зміни умов виникають як наслідки техногенного впливу або природних катаклізмів, які самі мають регіональний масштаб. Виникає потреба як в оперативному прогнозі, так і в довготривалому прогнозуванні. Значною мірою це стосується діяльності, пов'язаної з використанням водних акваторій. Найбільшу потребу в прогнозі еволюції таких процесів, як поширення забруднень на водній поверхні, масоперенос (з урахуванням забруднень) в обмежених акваторіях під впливом змін гідрологічних і атмосферних умов відчувають служби, покликані оперативно попереджати розвиток природних і техногенних катастроф та зменшувати / запобігати їх впливу на навколишнє середовище. Таких прогнозів потребують гідрометслужби, служби із запобігання та подолання наслідків надзвичайних ситуацій, установи – проектанти гідротехнічних споруд, мостобудівники, будівники технологічних споруд, лоцманська служба та ін. Найбільш важливими факторами для оперативного реагування є визначення тенденцій розвитку інтенсивного процесу для оцінки можливостей попереджувальних і рятувальних заходів.

Проблеми, які виникають в акваторіях, мають як різні за масштабами причини виникнення, так і різні масштаби проявів. На прикладі акваторії протоки, яка поєднує Азовське та Чорне море, розглянуто окремі частини гідрологічних проблем – загальну зміну структури течії та масоперенос (донних ґрунтів та поверхневих забруднень), що виникли як наслідок техногенного впливу – побудови великомасштабних гідротехнічних та інженерних споруд в акваторії. Це дамба, яка суттєво змінила лінію узбережжя та мостовий перехід, що побудовано в зоні підвищеного гідродинамічного впливу. Наслідки вищеназваних техногенних впливів здатні призвести до якісних змін в структурі течії та вплинути на масоперенос донних ґрунтів, небезпечний в зоні фарватеру протоки. Мета роботи – визначення механізмів утворення цих впливів та можливих наслідків, за умови їх довготривалості. Метод досліджень – математичне моделювання та фізичний лабораторний експеримент.

## Постановки задач та методи досліджень

Розглядається течія в мілководній акваторії (рис. 1), яка являє собою широкий канал з перешкодою та з криволінійною формою лінії узбережжя (рис. 2). Глибина каналу вважається малою та слабозмінною. Течія вважається в'язкою та плоскопаралельною (рис. 3). Враховуючи те, що при дослідженні течій в акваторіях, як правило, головний інтерес представляє осереднена по товщині шару [1] поверхнева та придонна швидкість, було використано математичну модель шаруватих течій [2–4]. Течія, яка розглядається, описується рівняннями Нав'є-Стокса, тому модель заснована на аналітичному рішенні рівнянь Нав'є-Стокса (1) для окремого випадку шаруватих течій, з урахуванням конвективних доданків та нестационарності (для якої, при зміні параметрів, течія Хіл-Шоу є окремим випадком).

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla \left( \frac{1}{2} \vec{V}^2 + \frac{p}{\rho} + U \right) - \vec{V} \times (\nabla \times \vec{V}) = \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{V} \quad (1)$$



$$\nabla \bar{V} = 0. \quad (2)$$

Задача зводиться до визначення плоскопаралельної течії в криволінійному каналі квазіпостійної глибини. До того ж вважається, що загальна течія в акваторії вже сформована, із врахуванням впливу різних рівнів моря на вході та виході із акваторії протоки та з врахуванням впливу вітрових хвиль.



Рис. 1 – Фото акваторії із супутника



Рис. 2 – Схема течії в плоскому каналі з перешкодою

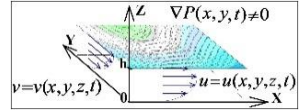


Рис. 3 – Схема течії в шарі

### Особливості загальної течії в акваторії

Для визначення особливостей загальної структури течії в акваторії, разом із математичним моделюванням, було застосовано фізичне моделювання на лабораторному стенді (модель акваторії протоки у вигляді криволінійного каналу з постійною глибиною) та у гідродинамічному лотку. Враховуючи те, що швидкість у локальних частинах акваторії може досягати 1 м/сек, число Рейнольдса, визначене по глибині, вважається  $Re = Uh/v > 10^6$ . Наведене нижче порівняння космічних фотознімків, модельних експериментів та результатів математичного моделювання демонструє якісне співпадіння спостережуваних полів швидкості, осереднених по глибині акваторії, що підтверджує коректність зроблених припущень.



Рис. 4 – Космічне фото (Google maps)

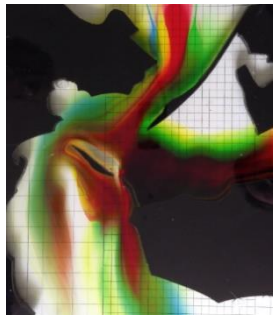


Рис. 5 – Результати експерименту

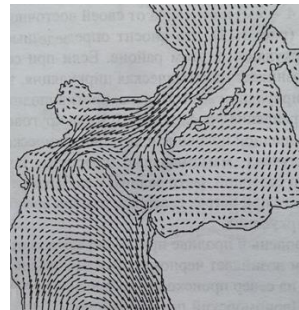


Рис. 6 – Результати матмоделювання [1]

Представлені на рис. 5–6 результати лабораторного та математичного моделювання [1] демонструють добре співпадіння зі спостережуваною з космосу структурою течії в акваторії (рис. 4). Варто звернути увагу на

мінливість структури течії в акваторії (рис. 7), яка спостерігається при зміні вхідних умов, що підтверджено лабораторним експериментом (рис. 8) та математичним моделюванням (рис. 9).

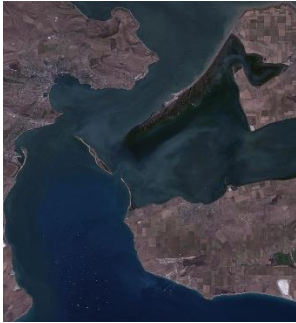


Рис. 7 – Космічне фото (Google maps)

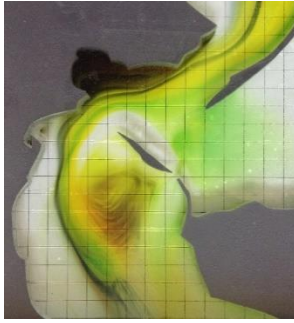


Рис. 8 – Експеримент на стенді

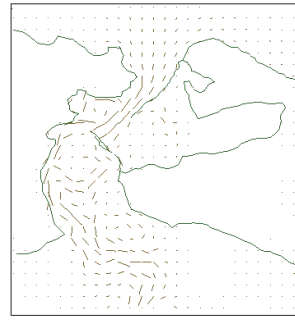


Рис. 9 – Матмоделювання [2, 5, 6]

Ефективність застосування математичних моделей (побудованих на основі методу інтегральних рівнянь [2, 5, 6]) для прогнозування переносу забруднень по водній поверхні можливо оцінити із порівняння рис. 7–9.



Рис. 10 – Космічне фото (TerraSAR-X. 16.11.2007)

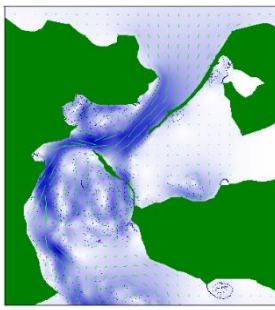


Рис. 11 – Прогнозування розповсюдження забруднень через 100 годин

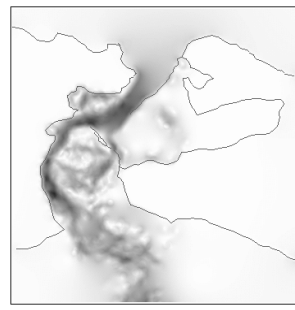


Рис. 12 – Матмоделювання [2, 5, 6]

Мінливість структури течії в акваторії, при зміні вхідних умов на вході в акваторію, підтверджено даними метеослужб Азово-Чорноморського басейну.

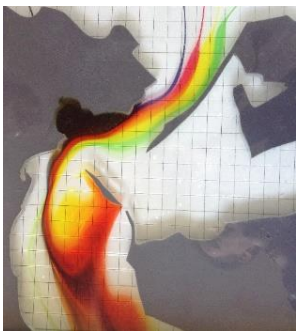


Рис. 13 – Експеримент на лабораторному стенді

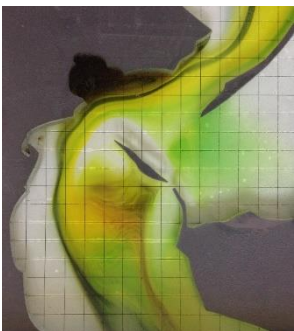


Рис. 14 – Експеримент на лабораторному стенді

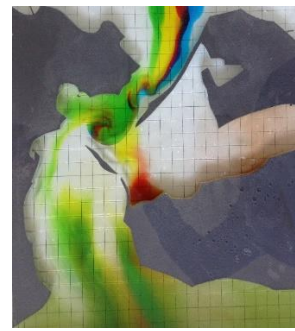


Рис. 15 – Експеримент на лабораторному стенді

Експериментальне моделювання на лабораторному стенді також підтверджує суттєву залежність течій від параметрів на вході в акваторію (рис. 8, рис. 13–16).

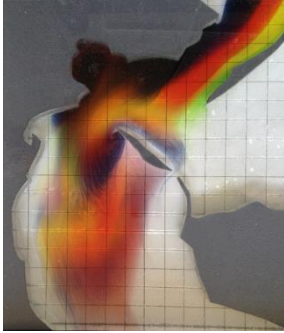


Рис. 16 – Експеримент на лабораторному стенді

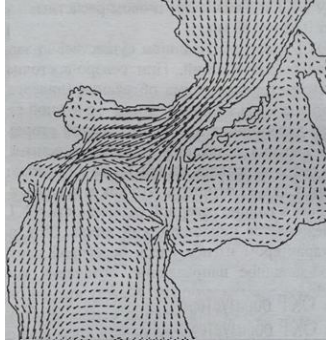


Рис. 17 – Матмоделювання [1]

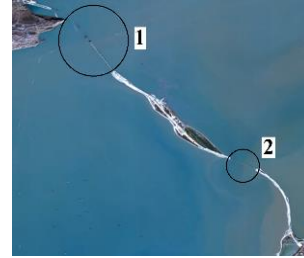


Рис. 18 – Космічне фото (Google maps)

Результати фізичного та математичного моделювання при різних вхідних даних засвідчують (рис. 16, 17), що підвищення швидкості спостерігається у проміжках між кінцівками острова-перешкоди та материковою частиною протоки, це зони 1) та 2) (рис. 18). При цьому у визначених зонах середня по глибині обчислена швидкість, а також та, що спостерігається (як в експерименті, так і при натурних вимірюваннях [1]), завжди суттєво вища, ніж в інших частинах акваторії. В окремих, локалізованих, частинах акваторії осереднена швидкість течії може наближатися до величини 1 м/сек. Доцільно звернути увагу на те, що у цих зонах 1) та 2) встановлено гідротехнічні конструкції (опори мостового переходу через протоку, рис. 18), які перешкоджають вільній течії. Тому виникає типова природня проблема гідродинамічної взаємодії з перешкодою, яка супроводжується переносом ґрунтів під впливом придонних течій та впливом масопереносу на зміну характеристик фарватеру. Враховуючи те, що придонна течія впливає на конструкції та споруди, які встановлені на донному ґрунті, доцільно розглянути вплив перешкод (наприклад, опор мосту) на масоперенос та зміну поверхні дна, що викликається гідродинамічним впливом.

### **Локальні зони підвищеного гідродинамічного впливу**

Значна кількість гідродинамічних, гідрологічних та інженерних проблем виникає саме тоді, коли погано обтічна перешкода встановлюється на розмивній та нерозмивній поверхні, над якою протікає потік рідини. У безпосередній близькості до області спряження перешкоди та обтічної поверхні виникають градієнти тиску, які обумовлені наявністю перешкоди. Перед перешкодою примежовий шар над поверхнею дна русла або прибережної поверхні (ламінальний або турбулентний) знаходиться в області несприятливого градієнту тиску, що викликає його тривимірний відрив. У відривній області зароджується та розвивається система вихорів, які витягуються навколо основи погано обтічного тіла вздовж контуру, що схожий на підкову [8, 9]. Так, під час обтікання мостових опор в області їх перетину

з русловим дном утворюється складний вихровий рух, який обумовлює розмив ґрунту поблизу опор (рис. 19).

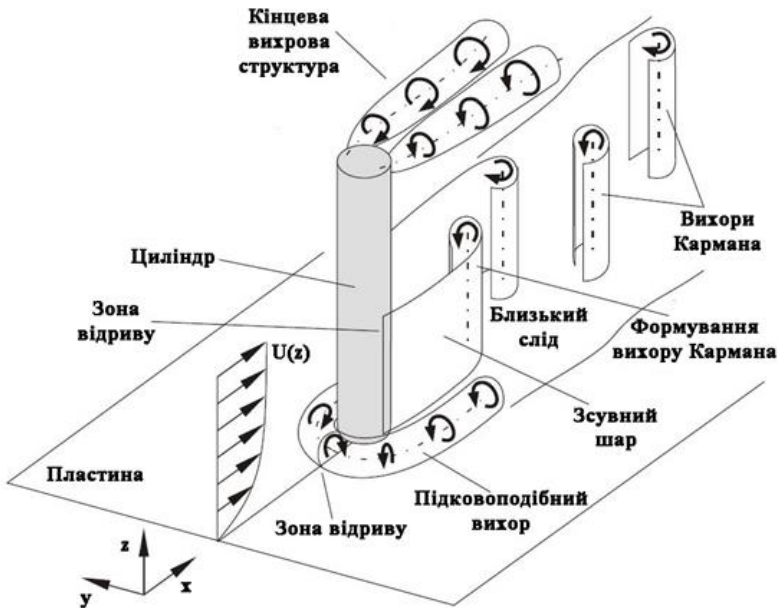


Рис. 19 – Структура вихрових течій навколо перешкоди, встановленої на пластині

Глибина розмиву становить одну з основних характеристик як під час проектування мостових переходів, так і під час їх експлуатації. Незалежно від форми мостової опори основним механізмом, який керує формуванням та розвитком отвору розмиву, є підковоподібна вихрова система, що утворюється біля основи опори. Стан та характеристики потоку впливають на форму та розмір вихрових систем. Серед основних факторів, які формують процес ерозії ґрунту поблизу мостових опор та виступів і визначають глибину локального розмиву, треба відмітити наступні: це глибина потоку, швидкість течії, ширина та форма опори, довжина опори та її кут розташування відносно напрямку течії, розмір та градація матеріалу ґрунту, конфігурація дна русла та деякі інші [10, 11]. Групування опор призводить до зміни глибини локального розмиву, що обумовлено взаємним впливом вихрової течії навколо окремих опор, які формують групову конструкцію. В залежності від місцезнаходження, конструкції опор та режиму їх обтікання змінюються кінематичні та динамічні характеристики підковоподібних, бокових і слідових вихорів, а також їх інтенсивність дії на ерозію ґрунту, який прилягає до опор [10, 12]. Неоднорідність і нестационарність вихрової та струменевої течії поблизу і усередині групових конструкцій опор гідротехнічних споруд і поруч з прибережною лінією складної геометрії обумовлює проведення чисельного і фізичного моделювання механізмів і процесів вихореутворення, переносу ґрунту, зміни придонного та прибережного рельєфу та інших гідродинамічних і гідрологічних характеристик. Виникає важливе завдання – визначення впливу загромождження або звуження потоку на гідрологічні характеристики руслових та прибережних течій.

## Лабораторне моделювання гідрологічних процесів

Фізичне моделювання гідрологічних процесів, які відбуваються під час обтікання перешкод, що знаходяться на розмивному ґрунті, проводилось в лабораторних умовах. В якості перешкод було використано трирядний пальний ростверк, конструкцію якого часто використовують у мостобудівній практиці, опорах бурових конструкцій, вітряків та інших гідротехнічних споруд, які обтікаються потоком. Експериментальні дослідження впливу моделей мостових опор на локальний розмив ґрунту та структуру донної поверхні проводилися в гідродинамічному каналі, який мав довжину робочої ділянки близько 14 м, ширину – 1.5 м та глибину – 0.65 м. На відстані 8 м від початку робочої ділянки досліджувались одиночний трирядний ростверк, вісь якого знаходилася вздовж поздовжньої осі каналу, або три ростверки, які розташовувалися в ряд (рис. 20). Ці моделі мостових опор були засипані просіяним кварцовим піском на висоту близько 0.3 м від дна каналу. У дослідах пісок формувався у вигляді плаского дна. Довжина одиночного ростверку становила 0.6 м, ширина – 0.1 м, а висота – 0.2 м. Він складався із 31 циліндричної палі діаметром  $d = 0.027$  м, які розташовувалися у три ряди в шаховому порядку (рис. 20). Моделі інших трьох ростверків в три рази меншого масштабу мали діаметр циліндричної сваї близько 0.01 м. Відстань між осями моделей мостових переходів складала 0.31 м. Середній діаметр зерен кварцового піску –  $d_{50} = 0.35 \cdot 10^{-3}$  м.

Глибина потоку мінялась від 0.17 м до 0.34 м, а середня по глибині швидкість – від 0.15 м/с до 0.6 м/с. Для цих параметрів течії та розмірів ростверків числа Рейнольдса  $Re_x = Ux/\nu = (12-48) \cdot 10^5$ ,  $Re_d = Ud/\nu = (1.5-16.2) \cdot 10^3$  і числа Фруда  $Fr = U/\sqrt{gH} = (0.08-0.47)$ , де  $x$  – поздовжня відстань у напрямку потоку від початку піщаного дна каналу до першої центральної палі ростверку;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості води;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – глибина потоку.

Експерименти проводилися за допомогою візуалізації течії та вимірів гідродинамічних і гідрологічних параметрів, зокрема полів швидкості, тиску, розмиву та наміву ґрунту. Візуалізацію було проведено за допомогою введення у потік різнокольорових барвників і чорнил. Траєкторії руху кольорових барвників і особливості вихрової та струменевої течії реєстрували за допомогою цифрових відеокамер і фотоапаратів. Картини візуалізації оброблялися та аналізувалися на спеціально створеній комп'ютерній станції за відповідними програмами і алгоритмами. Поле швидкості вимірювалося за допомогою термоанемометрів, мікровертушок, трубок Піто-Прандтля, п'єзорезистивних датчиків динамічного тиску, які розташовувалися на добре обтічних державках у координатних пристроях. Поле тиску вимірювалося мініатюрними п'єзорезистивними та п'єзокерамічними датчиками тиску і пульсацій тиску, які було встановлено врівень з обтічною поверхнею тіл обтікання та розмивною поверхнею ґрунту, коли спостерігався сталий розмив ґрунту поблизу циліндричних паль ростверку. Розмив ґрунту вимірювався у процесі розмиву за допомогою спеціально спроектованих та виготовлених п'єзорезистивних і п'єзокерамічних датчиків, які за допомогою тастерів і державок або під своєю вагою занурювалися в отвір розмиву та реєстрували часовий процес утворення розмиву. Після проведення дослідів на розмивному ґрунті топологію дна каналу вимірювали за допомогою трьох координатних

пристроїв, в яких закріплювалися мініатюрні п'єзокерамічні датчики пульсацій тиску. Акустичний імпеданс цих датчиків різко змінювався у момент дотику датчику до ґрунту, координати датчиків реєструвалися у протоколах дослідів, з наступною обробкою на комп'ютері, з послідовним аналізом із застосуванням спеціального програмного забезпечення. Таким чином, вимірювалися геометричні параметри та форма отворів і намивів розмивного ґрунту поблизу моделей ростверків і на дні каналу. Всі засоби вимірювань атестувалися, калібрувалися та проходили метрологічну повірку і мали відповідні паспортні дані.

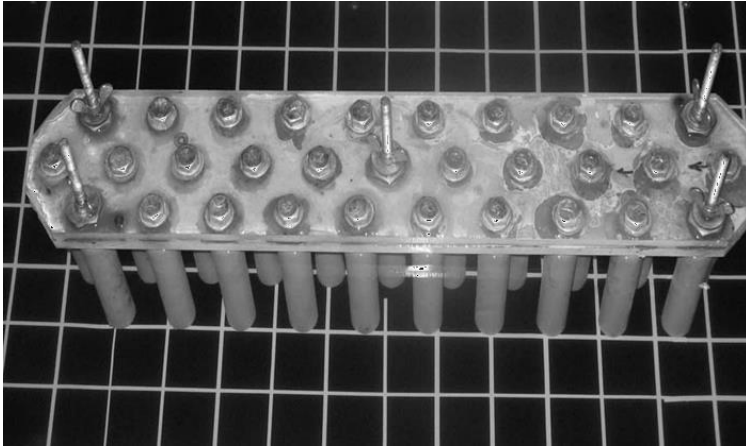


Рис. 20 – Модель трирядного пального ростверку

## Результати досліджень

Результати візуалізації течії поблизу трирядних циліндричних пальних ростверків показали, що поблизу паль формується складна вихрова та струменева течія з генеруванням підковоподібних вихрових структур у місці спряження паль з дном каналу, слідових вихорів за кормовими частинами паль, відривних течій перед палями і на їх обтічних поверхнях, струменевих потоків між рядами паль. Ці вихрові структури та струменеві течії формують розмиви та намиви ґрунту поблизу трирядних ростверків і в сліді за ними. Більш детально результати візуальних досліджень наведено у роботах [13–15].

Вимірювання полів швидкості та тиску на нерозмивній і розмивній поверхні дали можливість визначити кінематичні і динамічні характеристики вихрових і струменевих течій, зареєструвати місця генерації великомасштабних когерентних вихрових структур, їх особливості формування та еволюції. Визначено інтегральні та спектральні характеристики спряженої течії, полів швидкості та тиску, основні параметри яких наведено у роботах [16–18].

У результаті дії набігаючого потоку на трирядний ростверк і підковоподібних вихрових структур, які генеруються у місці спряження конструкції ростверку з дном каналу, а також слідових вихорів у кормі обтічних паль, на поверхні піщаного ґрунту утворюються розмиви та намиви ґрунту, що проілюстровано на рис. 21. Перед трирядною пальною конструкцією утворюється глобальний розмив ґрунту, а перед окремими циліндричними палями – локальні розмиви (рис. 21a). У середній частині ростверку спостерігається намив ґрунту,

а у кормовій його частині знову з'являється розмив ґрунту, через пористість конструкції ростверку. Розміри та форма ромиву і намиву ґрунту залежать від чисел Рейнольдса і Фруда, зернистості піску та форми паль. Так, для чисел Рейнольдса  $Re_x = 3 \cdot 10^6$  і Фруда  $Fr = 0.18$  та зернистості піску, яким вкрито дно вимірювального каналу, глибина глобального розмиву, який зображено на рис. 21а, складає 0.8 ширини ростверку, а глибина локального розмиву перед передніми пальями складає 0.2d. Намив піску у середній частині трирядного ростверку складає близько 0.3 його ширини.

Розташування трьох пальних ростверків в ряд на розмивному ґрунті каналу призводить до зміни структури розмиву ґрунту і форми рифелів, які утворюються на піщаному дні каналу, що показано на рис. 21б. Між ростверками та в їх сліді рифелі набувають більшого масштабу і розмив ґрунту в їх впадинах збільшується. Позаду ростверків форма і масштаби розмиву та намиву ґрунту відрізняється від тих, що мають місце між рядами ростверків та перед ними у непорушеному потоці, що добре видно на рис. 21б. Треба відмітити, що вплив ростверків та їх групування на рельєф розмивного дна каналу спостерігається на відстані (3-5) довжин ростверків в залежності від режиму течії. Зі збільшенням чисел Рейнольдса і Фруда зміна рельєфу дна відбувається на більшій відстані.

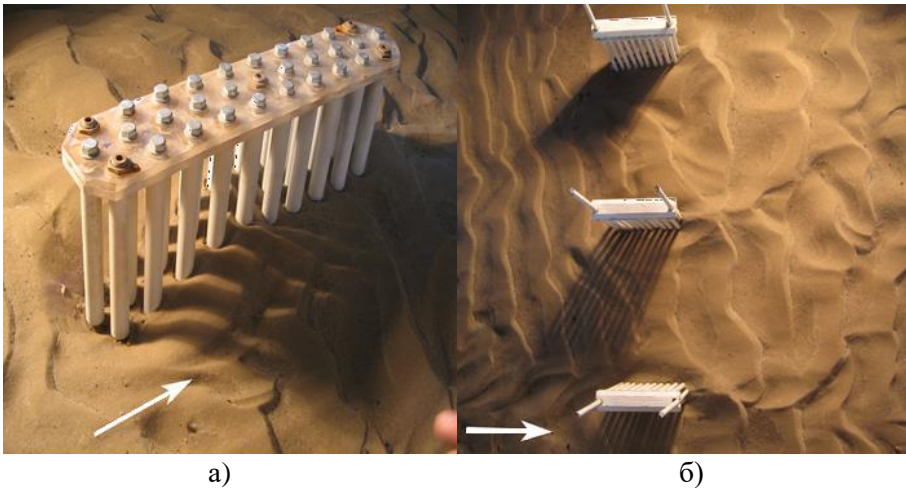


Рис. 21 – Розмив і намив ґрунту поблизу одиночного трирядного циліндричного пального ростверку (а) та поблизу групи трирядних ростверків (б)

## Висновки

Результати досліджень показали, що загромодження потоку погано обтічними тілами, зокрема трирядними циліндричними ростверками, суттєво змінює гідрологію руслової течії.

Показано, що поблизу трирядного ростверку генеруються підковоподібні вихрові структури, слідові вихори, струменеві течії. Ці гідродинамічні явища викликають розмиви та намиви ґрунту поблизу гідротехнічних споруд, призводять до переносу ґрунту у руслових потоках. Масштаб впливу залежить від форми і розміру споруд, режимів течії і структури ґрунту.

Визначено, що перед трирядним циліндричним пальним ростверком утворюються глобальні та локальні розмиви ґрунту, намиви його на бічних

частинах ростверку і серед паль серединного перерізу ростверку та у його ближньому сліді. Розташування ростверків у ряд викликає руйнування рельєфу дна розмивного ґрунту як поблизу ростверків, так і в їх сліді. Установлено, що в залежності від режимів течії зміна рельєфу дна відбувається на більшій відстані від багатопальної конструкції зі збільшенням чисел Рейнольдса і Фруда. Вплив локальних конструкцій типу ростверків та їх групування на топологію розмивного дна каналу спостерігається на відстані (3-5) характерних довжин ростверків в залежності від режиму течії. Зі збільшенням чисел Рейнольдса і Фруда зміна рельєфу дна відбувається на більшій відстані. Враховуючи те, що довжина ростверку порівнянна із шириною мостового переходу, геометричний розмір зони, де помітні тенденції до розмиву ґрунтів та масопереносу, буде досягати 3-5 характерних ширин мостового переходу.

Таким чином, інженерні конструкції та споруди, характерна висота яких порівнянна із глибиною їх встановлення та інтервал їх встановлення на ґрунті є порівнянним з їх характерним розміром, здатні впливати на масоперенос піщаних донних ґрунтів та викликати суттєві зміни рельєфу дна в мілководній акваторії. Даний факт потребує уваги гідротехнічних служб, які відповідають за безпеку фарватеру, та уваги інженерних служб, які відповідають за міцність та стійкість інженерних споруд.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов В.А. Математическое моделирование динамических процессов в зоне море - суша. / В.А. Иванов, В.В. Фомин // Севастополь, НВЦ «ЕКОСИ-Гідрофізика»-2008, 363 с.
2. Черний Д.И. Математическая модель течения в мелководной акватории. / Д.И. Черний // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», Вип. 29, Харків, 2016, С. 78-86.
3. Черний Д.И. Экспериментальное и математическое моделирование слоистых течений в плоском канале. / Д.И. Черний, А.А. Воскобойник, В.А. Воскобойник // Тези науково-практичної конференції «Комп'ютерна гідромеханіка», м. Київ, 29-30 вересня 2016 р., Інститут гідромеханіки НАН України, С. 68-69.
4. Kordas O. A study on mathematical short-term modelling of environmental pollutant transport by sea currents: The Lagrangian approach / O. Kordas, A. Gourji, E. Nikiforovich, D. Cherniy // Journal of Environmental Accounting and Management. – 2017. – Vol.5, N 2. – p. 87-104 (DOI: 10.5890/JEAM.2017.06.002).
5. Довгий С.А. Метод сингулярних інтегральних рівнянь і чисельні технології. / С.А. Довгий, І.К. Лифанов, Д.И. Черний // К.: Издательство «Юстон» 2016, 380 с.
6. Довгий С.О. Алгоритми методу дискретних особливостей для обчислювальних технологій. / С.О. Довгий, С.І. Ляшко, Д.І. Черний // Кибернетика и системный анализ. 2017, №6, С. 147-159.
7. Cherniy D. The Vortex Model of a Viscid Wall's Layer // IUTAM Symposium on "Vortex Dynamics: Formations, Structure and Function" / D. Cherniy, S. Dovgiy, V. Meleshko // Abstract Book, March 10(Sun)-14(Thu), 2013, Centennial Hall, Kyushu University School of Medicine, Fukuoka, Japan, pp. 126-127.
8. Guan D. Characterization of horseshoe vortex in a developing scour hole at a cylindrical bridge pier / D. Guan, Y.-M. Chiew, M. Wei, S.-C. Hsieh // Intern. J. Sedim. Res. – 2019. – Vol. 34, № 2. – P. 118-124.
9. Koken M. Coherent structures at different contraction ratios caused by two spill-through abutments / M. Koken // J. Hydraul. Res. – 2018. – Vol. 56, № 3. – P. 324-332.



10. Ettema R. Field complexity and design estimation of pier-scour depth: Sixty years since Laursen and Toch / R. Ettema, G. Constantinescu, B.W. Melville // *J. Hydraul. Eng.* – 2017. – Vol. 143, № 3. – P. 03117006-1-14.
11. Baghbadorani D.A. Prediction of current-induced local scour around complex piers: Review, revisit, and integration / D.A. Baghbadorani, B. Ataie-Ashtiani, A. Beheshti [et al] // *Coastal Eng.* – 2018. – Vol. 133, № 3. – P. 43-58.
12. Yang Y. Evolution of hydrodynamic characteristics with scour hole developing around a pile group / Y. Yang, M. Qi, J. Li, X. Ma // *Water*. – 2018. – Vol. 10, № 11. – P. 1632-1-21.
13. Воскобойник А.А. Визуализация сопряженного обтекания групповой мостовой опоры / А.А. Воскобойник, А.В. Воскобойник, В.А. Воскобойник // *Вісник Донецького Університету, Сер. А: Природничі науки.* – 2008. – Вип. 1. – С. 219–227.
14. Воскобойник А.В. Особливості вихрового руху у спряженій течії між групою паль трирядної мостової опоры / А.В. Воскобойник, В.А. Воскобойник, О.А. Воскобойник [та ін.] // *Прикладна гідромеханіка.* – 2009. – Т. 11, № 2. – С. 16–29.
15. Воскобойник А.В. Спряжене обтікання трирядного пального ростверку на пласкій поверхні. Частина 1. Формування підковоподібних вихорів / А.В. Воскобойник, В.А. Воскобойник, О.А. Воскобойник // *Прикладна гідромеханіка.* – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 28–39.
16. Воскобойник А.В. Спряжене обтікання трирядного пального ростверку на пласкій поверхні. Частина 2. Просторово-часові кореляції та спектри / А.В. Воскобойник, В.А. Воскобойник, О.А. Воскобойник // *Прикладна гідромеханіка.* – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 13–25.
17. Voskobijnyk A.V. Feature of the vortex and the jet flows around and inside the three-row pile group / A.V. Voskobijnyk, V.A. Voskoboinick, O.A. Voskoboinyk [et al.] // *Proc. 8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016) 12-15 September 2016.* - Oxford, UK, 2016. – P. 897-903.
18. Voskoboinick V.A., Voskoboinick A.V., Areshkovych O.O., Voskoboinyk O.A. Pressure fluctuations on the scour surface before prismatic pier / V.A. Voskoboinick, A.V. Voskoboinick, O.O. Areshkovych, O.A. Voskoboinyk // *Proc. 8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016) 12-15 September 2016.* - Oxford, UK, 2016. – P. 905-910.

*Стаття надійшла до редакції 13.02.2019 і прийнята до друку після рецензування 05.03.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Ivanov, V. A., & Fomin, V. V. (2008). *Mathematical modeling of dynamic processes in the sea - land.* Sevastopol: National Exhibition Center "EKOSI-Gidrofizika" (in Russian).
2. Cherni, D. I. (2016). Mathematical model of the flow in the shallow water area. *Bulletin of Kharkiv National University of V.N. Karazina*, (29), "Mat. fashion model. Informacion technology. Automation systems management", 78-86 (in Russian).
3. Cherniy, D. I., Voskoboinyk, V. A., & Voskoboinyk, O. A. (2016). Experimental and mathematical modeling of layered flows in a flat channel. In *Naukovo-practical conference "Comp'yuterna gidromekhanika"* (pp. 68-69). Kyiv, Ukraine: Institute of gidromekhaniki NAN Ukraine (in Russian).
4. Kordas, O., Gourjii, A., Nikiforovich, E. & Cherniy, D. (2017). A study on mathematical short-term modelling of environmental pollutant transport by sea currents: The Lagrangian approach. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 5(2), 87-104. doi: 10.5890/jeam.2017.06.002
5. Dovgy, S. A., Lifanov, I. K., & Cherniy, D. I. (2016). *The method of singular integral equations and computational technologies.* Kyiv: Euston Publishing House (in Russian).
6. Dovgiy, S. O., Lyashko, S. I., & Cherniy, D. I. (2017). Algorithms of Discrete Singularities Method of Computational Technologies. *Cybernetics and System Analysis*, (6), 147-159 (in Ukrainian).

7. Cherniy, D., Dovgiy, S., & Meleshko, V. (2013). The Vortex Model of a Viscid Wall's Layer. In *IUTAM Symposium on "Vortex Dynamics: Formations, Structure and Function"* (pp. 126-127). Fukuoka, Japan: Kyushu University School of Medicine.
8. Guan, D., Chiew, Y., Wei, M., & Hsieh, S. (2019). Characterization of horseshoe vortex in a developing scour hole at a cylindrical bridge pier. *Intern. J. Sedim. Res.*, 34(2), 118-124.
9. Koken, M. (2018). Coherent structures at different contraction ratios caused by two spill-through abutments. *J. Hydraul. Res.*, 56(3), 324-332.
10. R. Ettema G. , B.W., R., Constantinescu, G., & Melville, B. W. (2017). Field complexity and design estimation of pier-scour depth: Sixty years since Laursen and Toch. *J. Hydraul. Eng.*, 143(3) 03117006-1-14.
11. Baghbadorani, D. A., Ataie-Ashtiani, B., & Beheshti, A. (2018). Prediction of current-induced local scour around complex piers: Review, revisit, and integration. *Coastal Eng.*, 133(3), 43-58.
12. Yang, Y., Qi, M., Li, J., & Ma, X. (2018). Evolution of hydrodynamic characteristics with scour hole developing around a pile group. *Water*, 10(11), 1632-1-21.
13. Voskoboinick, A. A., Voskoboinick, A. V., & Voskoboinick, V. A. (2008). Vizualizacija sprjazhennogo obtekanija gruppovoi mostovoi opory. *Visnyk Donetskogo Universy, (1)*, ser. A: Pryrodnychi nauky, 219-227 (in Russian).
14. Voskoboinick, A. V., Voskoboinick, V. A., & Voskoboinick, O. A. (2009). Osoblyvosti vykhrovogo rykhy u sprjazhenii techii mizh grypoju pal' tryrjadnoi mostovoi opory. *Prykladna gidromekhanika*, 11(2), 16-29 (in Ukrainian).
15. Voskoboinick, A. V., Voskoboinick, V. A., & Voskoboinick, O. A. (2008). Sprjazhene obtikannja tryrjadnogo pal'nogo rostverku na plaskii poverkhni. Chastyna 1. Formuvannja pidkovopodibnykh vykhoriv. *Prykladna gidromekhanika*, 10(3), 28-39 (in Ukrainian).
16. Voskoboinick, A. V., Voskoboinick, V. A., & Voskoboinick, O. A. (2008). Sprjazhene obtikannja tryrjadnogo pal'nogo rostverku na plaskii poverkhni. Chastyna 2. Prostorovo-chasovi korrelyacii ta spektry. *Prykladna gidromekhanika*, 10(4), 13-25 (in Ukrainian).
17. Voskoboinyck, A. V., Voskoboinick, V. A., & Voskoboinyck, O. A. (2016). Feature of the vortex and the jet flows around and inside the three-row pile group. In *8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016)* (pp. 897-903). Oxford, UK.
18. Voskoboinick, V. A., Voskoboinick, A. V., Areshkovych, O. O., & Voskoboinyck, O. A. (2016). Pressure fluctuations on the scour surface before prismatic pier. In *8th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2016)* (pp. 905-910). Oxford, UK.

*The article was received 13.02.2019 and was accepted after revision 05.03.2019*

#### **Воскобійник Володимир Анатолійович**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України

**Адреса робоча:** 03057, Україна, м. Київ, вул. Желябова, 8/4

**ORCID ID** 0000-0003-2161-6923 **e-mail:** vlad.vsk@gmail.com

#### **Воскобойник Олександр Анатолійович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України

**Адреса робоча:** 03057, Україна, м. Київ, вул. Желябова, 8/4

**e-mail:** alexandr.vsk@gmail.com

#### **Черній Дмитро Іванович**

кандидат фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186, Україна, м. Київ-186, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** Dmytro.Cherniy@gmail.com

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киевскому национальному университету строительства и архитектуры.

Copyring © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) трьома мовами (українською, російською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Люстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

*Виконавчий редактор – В.П. Берчун*

---

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.  
Тел.: (044) 360-22-66  
[www.yuston.com.ua](http://www.yuston.com.ua)

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

---

Підписано і здано до друку 01.04.2019. Формат 70x108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 8.75  
Обл.-вид. арк. 11.5  
Замовлення № \_\_\_\_\_

Тираж 300 примірників