



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

**II Міжнародна науково-
практична конференція**

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ



**II International Scientific
and Practical Conference**

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION

15–16 травня 2025 р.

ЛЬВІВ



Львів
Видавництво Львівської політехніки
2025

- I-67 **Інформаційні технології у сфері захисту довкілля: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 15–16 травня 2025 р.** – Навчально-науковий Інститут просторового планування та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/iter-2025/materialy-konferenciyi-iter-2025>, вільний. – Заголовок з екрана. – Мова укр. і англ.

ISBN 978-966-994-044-5

У збірнику опубліковано матеріали конференції, на якій розглядалися питання використання інформаційних технологій у сфері захисту оточуючого середовища, визначення найбільш важливих напрямів забезпечення екологічної безпеки та створення сучасних екологічних систем з врахуванням досвіду країн світу. Матеріали збірника визначені такими напрямками досліджень, як світова та вітчизняна практика використання інформаційних технологій в дослідженнях довкілля, безпека довкілля в умовах війни з вирішенням проблем забезпечення та викликів сьогодення, екологізація економіки в контексті формування зеленого майбутнього країн Європейського Союзу.

Видання призначене для науковців, викладачів, студентів, фахівців державних установ, громадських організацій, органів місцевого самоврядування, бізнес-структур, які використовують інформаційні технології для вирішення проблем екологічної безпеки та впровадження економічних аспектів для покращення захисту довкілля.

УДК 338.24

Відповідальний за випуск – Лагун А. Е.

Матеріали подано в авторській редакції.

Відповідальність за зміст матеріалів, їх відповідність вимогам чинного правопису і достовірність фактів та статистичних даних несуть автори.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

Голова програмного комітету:

Йосиф Хром'як, доцент, кандидат технічних наук, директор Навчально-наукового інституту просторового планування та перспективних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Члени програмного комітету:

Василь Гнатишин, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Роуанський університет, Глассборо, Нью Джерсі, США (за згодою)

Людмила Даценко, професор, доктор географічних наук, завідувач кафедри геодезії та картографії, Київський Національний університет імені Тараса Шевченка (за згодою)

Наталія Гоц, професор, доктор технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Юрій Грицюк, професор, доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення, Національний університет «Львівська політехніка»

Богдан КшивецькийЮ професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності, Національний лісотехнічний університет України (за згодою)

Тетяна Несторенко, професор, Сілезька Академія у м. Катовіце, Польща (за згодою)

Александр Остенда, професор, ректор, Сілезька Академія у м. Катовіце, Польща (за згодою)

Ель-Кебір Гліл, професор, доктор наук, Національний центр наукових досліджень, Гренобль, Франція (за згодою)

Віталій Ромака, професор, доктор наук, Дрезденський технічний університет, Дрезден, Німеччина (за згодою)

Віліна Пересадько, професор, доктор географічних наук, декан факультету геології, географії, рекреації і туризму, Харківський Національний університет імені В. Н. Каразіна (за згодою)

Богдан Поберейко, професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний лісотехнічний університет України (за згодою)

Мирослава Миленька, доцент, кандидат біологічних наук, завідувач кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (за згодою)

Назарій Попадинець, старший дослідник, доктор економічних наук, заступник директора Навчально-наукового інституту просторового планування та перспективних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Володимир Самотий, професор, Краківська політехніка імені Тадеуша Костюшки, Польща (за згодою)

Івета Седлакова, доктор філософії, Вища школа міжнародного бізнесу ISM у м. Пряшів, Словаччина (за згодою)

Ігор Скольський, старший науковий співробітник, кандидат сільськогосподарських наук, в.о. директора природного заповідника «Розточчя» (за згодою)

Володимир Ромака, професор, доктор технічних наук, професор кафедри захисту інформації, Національний університет «Львівська політехніка»

Галина Стрямець, старший науковий співробітник, кандидат сільськогосподарських наук, заступник директора з наукової роботи природного заповідника «Розточчя» (за згодою)

Магдалена Вежбік-Строньська, проректор, Сілезька академія у м. Катовіце, Польща (за згодою)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

Голова організаційного комітету:

Андрій Лагун, доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

ЧЛЕНИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ:

Мар'яна Баран, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Оксана Маєвська, кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності, Національний лісотехнічний університет України (за згодою)

Мар'яна Сенета, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Леся Угрин, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, Національний університет «Львівська політехніка»

Лукаш Валусяк, доктор філософії, Сілезька академія у м. Катовіце, Польща (за згодою)

Зоряна Сенета, доктор філософії зі спеціальності «Економіка», асистент кафедри економіки, туризму та рекреації, Національний лісотехнічний університет України (за згодою)

Маріуш Венгжин, доктор філософії, Краківська політехніка імені Тадеуша Костюшки, Польща (за згодою)

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. СВІТОВА ТА ВІТЧИЗНЯНА ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ДОВКІЛЛЯ

Bernatska Nataliia, Typilo Iryna, Bernatsky Orest

ENERGY EFFICIENCY OF THE AIR QUALITY MONITORING
SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY
AND THE HOME ASSISTANT SOFTWARE PACKAGE 13

Lukash Walusiak, Andrii Lagun

ENSURING THE SECURITY OF FOREST TERRITORIES TO ADDRESS
CLIMATE CHANGE ISSUES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE 16

Velychko Sofiia, Stankevych Mariia

FOREST MONITORING USING SPECTRAL ANALYSIS 18

Гладкий Олег

ВПЛИВ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК РИНКУ НЕРУХОМОСТІ 20

Назар Гриценко, Мирослав Мальований, Іван Тимчук

МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗУ БІОГАЗУ В АНАЕРОБНИХ
УМОВАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ 21

Олександр Ісаков, Степан Войтусік

ЦИФРОВИЙ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ШУМ: ВИКЛИКИ
ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ 23

Казимира Ірина, Ростислав Загвойський, Степан Омелюх

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ
ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН 25

Кобильник Тарас

ПРОГРАМУВАННЯ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ
З TKINTER НА ПРИКЛАДІ ГРИ «FLIP-FLOP» 28

Король Тарас

КЛАСИФІКАЦІЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ
ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ 31

Котляров Олександр, Бортнік Леонід

РОЛЬ СИСТЕМ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ОХОРОНІ ЕКОЛОГІЧНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНФРАСТРУКТУР 34

Криштоп Євген

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ
СТАНУ ДОВКІЛЛЯ: МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД 37

Олег Кузик, Олеся Даньків, Леся Угрин ВИКОРИСТАННЯ WOLFRAM MATHEMATICA ТА ГЛИБИННОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СЕНСОРІВ ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ТОЧОК	41
Лагун Ярослав, Стахів Роман ВІДКРИТІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ	43
Lutsiv Nataliia, Chukhna Pavlo DIGITAL TRANSFORMATION IN FORESTRY: LEVERAGING IOT, MACHINE LEARNING, AND NEW TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ECOSYSTEM MANAGEMENT	46
Надія Максименко, Ольга Пархоменко ІНТЕРАКТИВНА КАРТА НА ПЛАТФОРМІ ARCGIS АКТУАЛЬНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ УКРАЇНИ	48
Машевська Марта, Куліш Богдан ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СЛІДУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ СУБ'ЄКТАМИ МАЛОГО БІЗНЕСУ	51
Мельник Богдан, Чишинська-Глибович Ліліана ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЕДІНКОВИХ МОДЕЛЕЙ БДЖОЛИНИХ КОЛОНІЙ	53
Мокрий Володимир, Казимира Ірина, Арустамян Едуард, Бондарь Валерія МОДУЛЬНА СТРУКТУРА ФОРМУВАННЯ СОЗОЛОГІЧНИХ БАЗ ДАНИХ НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»	55
Олександр Несторенко, Кіра Черниш ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ФІНАНСОВОГО УПРАВЛІННЯ БІЗНЕСОМ	59
Носок Ніколетта РОЗРОБКА UI/UX ДИЗАЙНУ ДОДАТКУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСТА	62
Олексюк Ганна, Попадинець Назарій, Лагун Андрій ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ МІСТОМ	64

Охріменко Андрій ВПЛИВ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	65
Maria Rashkevych JOINT AND DOUBLE DEGREE PROGRAMMES AS A TOOL F OR THE INTERNATIONALIZATION OF HIGHER EDUCATION	67
Віталій Ромака, Баран Мар'яна, Васькович Ростислав ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У МІСТАХ	69
Садовий Роман БЛОКЧЕЙН І ЕКОНОМІКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЄВРОСОЮЗУ	71
Сенета Зоряна, Сенета Мар'яна ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ТУРИСТИЧНІЙ ІНДУСТРІЇ	72
Seneta Mariana, Pryimak Sviatoslav AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING, VISUALIZING AND FORECASTING METEOROLOGICAL DATA	76
Скольський Ігор, Карабчук Дмитро, Довбенко Володимир ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІН ЛІСОВОГО ПОКРИВУ	79
Слюсарчук Арсен РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕКОЛОГІЧНІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ	83
Sokolovsky Yaroslav, Bordun Mykhailo, Salapak Oleh, Ratynchuk Dmytro, Salapak Liubov MATHEMATICAL MODELS FOR THE ANALYSIS AND FORECASTING OF RIVER WATER POLLUTION USING THE MULTIFRACTAL METHOD	86
Solohub Volodymyr, Pashkevych Volodymyr METHODOLOGY FOR OPTIMIZING DATA PROCESSING IN INFORMATION SYSTEMS	90
Федонюк Микола, Федонюк Віталіна РОЛЬ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ОСВІТНІХ ПРОГРАМАХ З ЕКОЛОГІЇ	93
Харів Андріана, Чишинська-Глибович Ліліана МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ СТИХІЙНИХ ЛИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	94

Зенон Хевпа, Василь Дяків ЧИННИКИ ЗАКАРСТОВАНOSTІ ТА НАСЛІДКИ АКТИВІЗАЦІЇ СОЛЯНОГО КАРСТУ В МЕЖАХ СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ	97
Хомин Богдан ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ: ВІДКРИТІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПЛАТФОРМИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ ГРОМАДАМИ	98
Cherepanyn Roman, Franchuk Mykhailo MODERN TECHNICAL MEANS FOR THE COLLECTION, SYNCHRONIZATION AND ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL DATA FROM THE SENSING CLUES PLATFORM	100
Чешенко Дмитро, Мацуга Ольга РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ХВОРОБ РОСЛИН	102
Олена Яужева ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕЛЕГАЛЬНОГО СПАЛЕННЯ РОСЛИННОСТІ	105

СЕКЦІЯ 2. БЕЗПЕКА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ВІЙНИ: ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ

Басва Каріна ЗМІНИ У СПРИЙНЯТТІ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ ПІД ЧАС ВІЙНИ	107
Юрій Базарник, Галина Сомар АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІЙНИ НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ	108
Баран Мар'яна, Мокрицька Віра БЕЗПЕКА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ: АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ СУЧАСНОСТІ	110
Барсукова Анастасія, Васильєва Вікторія ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ	113
Белянська Олександра, Маковецький Дмитро, Красніков Кирило ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА СУЛЬФАТУ АМОНІЮ	117

Гембарська Наталія ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ВИТРАТ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	119
Даценко Людмила, Тітова Світлана, Дубницька Маргарита МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ: КРАЩІ ПРАКТИКИ ТА ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ	122
Diana Koshtura APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR ENHANCING ENVIRONMENTAL SAFETY IN WARTIME CONDITIONS	126
Мирослава Миленька, Василь Полуйко, Галина Мельниченко, Надія Різничук, Софія Матішин, Сергій Скорик, Ірина Кавчук МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ БІОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ	129
Носова Наталія ВПЛИВ МІЖНАРОДНО-ПРАВОВОГО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ «ЕКОЦИД» НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ	132
Александр Остенда, Леся Угрин АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ ВИПАРІВ ГРИБОВЕЦЬКОГО СМІТТЄЗВАЛИЩА НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	135
Садура Оксана, Агрес Оксана ФІНАНСОВІ СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВІЙНИ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ МІСЦЕВИХ ГРОМАД	137
Швець Любов, Дрогомирецька Зоряна ЗМІНИ МУТАГЕННОЇ АКТИВНОСТІ ВОДИ, ҐРУНТІВ ТА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ОКРЕМИХ РАЙОНАХ ПРИКАРПАТТЯ НА 2024 РІК	140
Щербан Ореста, Цубов Леонід, Квасній Любов ЕКОЛОГІЧНА СВІДОМІСТЬ СУСПІЛЬСТВА В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ	142

СЕКЦІЯ 3. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНОГО МАЙБУТНЬОГО КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Баран Мар'яна, Коцина Марта

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СОЮЗ І «ЗЕЛЕНА ЕКОНОМІКА»: СТРАТЕГІЇ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МАЙБУТНЄ 146

Баран Мар'яна, Мокрицька Христина

ЮРИДИЧНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ
В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНОГО МАЙБУТНЬОГО
КРАЇНИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ 149

Бачинська Олена, Долинюк Микола

ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НА ЗАСАДАХ
КОРПОРАТИВНОЇ СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ 151

Вовк Ростислав

ВПРОВАДЖЕННЯ ESG-ПРИНЦИПІВ В ІТ-СЕКТОРІ: СИНЕРГІЯ
ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ 154

Павло Гориславець, Сергій Кожан

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПІДХОДІВ ESG НА СТРАХОВОМУ РИНКУ 156

Дегтяр Владислав, Загвойська Людмила

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ
В ІТ-КОМПАНІЯХ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЗЕЛЕНОГО
МАЙБУТНЬОГО: ДОСВІД КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ
ДЛЯ УКРАЇНИ 159

Качан Сергій

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ІНТЕГРОВАНИХ
СТРУКТУР БІЗНЕСУ В ІТ-СЕКТОРІ 163

Кудрик Роман

РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОТЕНЦІАЛУ
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД 164

Луців Наталія, Капраль Андрій

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ
ПРАКТИКИ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ
ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ 166

Маєвська Оксана, Скороход Павло, Кшивецький Богдан

ЗАМКНУТИЙ ЦИКЛ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ
ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ШЛЯХ «ЗЕЛЕНОЇ»
МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦУКРОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ УКРАЇНИ 169

Майструк Наталія РИЗИКОЛОГІЧНИЙ НАПРЯМ НАУКОВИХ РЕФЛЕКСІЙ ТА ТРАНСНАЦІОНАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ ЄС В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ	171
Макаренков Олексій СТАНДАРТИ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРАВА ЄС СЕРЕД УМОВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ ТА РИЗИКИ ЇХНЬОГО ВИКРИВЛЕННЯ	175
Нестер Анатолій ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ - ПРИКЛАД УКРАЇНИ	178
Taras Ozarkiv ANALYTICS FOR SUSTAINABLE FINANCIAL ECOSYSTEMS IN THE EU	182
Онишкевич Володимир, Барабаш Галина ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	185
Печериця Іванна, Самотій Наталія ІНТЕГРАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ В ЕКОНОМІЧНУ ПОЛІТИКУ УКРАЇНИ : ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	188
Потопник Богдан ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІНАНСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ІТ-СЕКТОРУ В УМОВАХ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ	190
Риб'як Валерій ВИКОРИСТАННЯ ІТ-ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ІНТЕГРОВАНИХ СТРУКТУР БІЗНЕСУ	192
Фролов Андрій ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ТА УКРАЇНСЬКИЙ КОНТЕКСТ	193
Чернюк Ганна ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ РАЙОНУ СМТ ЗАРІЧНЕ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ)	197

СЕКЦІЯ 1

СВІТОВА ТА ВІТЧИЗНЯНА ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ДОВКІЛЛЯ

¹Bernatska Nataliia, ¹Typilo Iryna, ²Bernatskyi Orest

¹ Lviv Polytechnic National University

² Separate Structural Unit "Technical and Economic Vocational College of National University
"Lviv Polytechnic"

ENERGY EFFICIENCY OF THE AIR QUALITY MONITORING SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY AND THE HOME ASSISTANT SOFTWARE PACKAGE

Efficient use of energy resources is one of the most important challenges facing modern society. In the context of IoT technologies, which are being actively implemented for air quality monitoring, the issue of energy efficiency is becoming particularly relevant [1, 2]. Implementation of energy-efficient IoT systems helps to ensure long battery life of devices, reduce energy costs and minimise environmental impact [3]. Reducing the consumption of electricity, which is mainly generated from fossil fuels, helps to reduce greenhouse gas emissions and slow climate change, and optimises the use of natural resources. Energy-efficient solutions can significantly reduce operating costs, which is important for large-scale monitoring systems [4, 5]. In addition, reduced power consumption extends the life of electronic components, reducing replacement costs. From a technical point of view, energy-efficient solutions expand the functionality of monitoring systems by increasing the number of sensors without increasing overall power consumption [4, 6]. Reduced component heat increases reliability and contributes to long battery life, which is especially important for mobile and remote systems. In addition, energy-efficient IoT systems have a significant social impact [7]. They provide up-to-date and accurate air quality data, which allows for informed decisions on public health and safety [8, 9]. These systems are also an important element of smart city infrastructure, contributing to improved quality of life and sustainable development. Thus, the research and implementation of energy-efficient IoT solutions for air quality monitoring is an important step towards ensuring environmental safety, economic efficiency and improved quality of life [10].

Our proposed air quality monitoring system using the Internet of Things technology and the Home Assistant software package consists of:

- ✓ Home Assistant server:
 - The central hub that connects all other components;
 - Interface: provides a web-based interface for managing the system and setting up automation;
 - System core: processes data from sensors, controls devices, and performs automation.
- ✓ Smart Air sensors are intelligent devices for remote monitoring of the air environment. They provide accurate data on air pollution levels, temperature, humidity, and other important parameters.
- ✓ Sonoff smart socket devices: the devices perform actions based on data received from sensors or on user commands, such as switching on or off LED bulbs, sockets, fans, and air conditioners.
- ✓ Zigbee gateway: enables communication between different devices such as temperature sensors, lamps and switches. This gateway collects data from the sensors, processes it, and transmits it to a server or the cloud via a Wi-Fi network. Its role is critical to ensure uninterrupted communication between system components.

- ✓ Mini UPS devices that provide uninterrupted power to the sensors and the IA server. They keep sensors and the gateway running smoothly in the event of a power outage, which is essential to ensure stable air quality data collection even in unstable power conditions.
- ✓ User interface:
 - The main interface for configuring the system and viewing data;
 - Mobile application: an additional interface for convenient control from a mobile device;
 - Dashboards: visualisation of sensor data and device status.
- ✓ Scenarios: complex automations: scenarios allow you to combine several automations into one sequence of actions.
- ✓ Integrations: expanding functionality: Home Assistant can integrate with other systems and services, such as Google Calendar, MQTT, and more.

A number of factors affect the energy efficiency of Smart Air detectors. Different types of sensors have different power consumption: for example, gas sensors typically consume more power than others. The frequency of measurements is also an important parameter: the more frequent the measurements, the more power is consumed. Display backlighting, if available, can significantly increase power consumption. The choice of wireless protocol, such as Wi-Fi, Bluetooth or LoRaWAN, also affects the efficiency of data transmission. Operating modes, such as sleep or standby mode, can significantly reduce power consumption.

Smart Air sensors are energy efficient thanks to a number of technical solutions. Software optimisation minimises power consumption by efficiently managing the measurement and data transmission processes. The use of energy-efficient components, such as low-power microcontrollers and wireless modules, further reduces energy consumption. Intelligent power management allows the processor voltage and frequency to be dynamically adjusted to the load. Sensors can also go into sleep mode during periods of inactivity, which significantly reduces power consumption. Optimised data transmission through the use of energy-efficient protocols and minimised data transfer ensures efficient use of energy resources.

A number of factors affect the energy efficiency of the Mini UPS. One of them is the type of battery: lithium-ion batteries, which are often used in Mini UPS, have a high energy density and efficiency. Modern charging circuits are able to optimise the charging process, minimising energy losses. The efficiency of the inverter also plays an important role, as it converts the DC current from the battery to AC current to power devices. The higher the efficiency of the inverter, the lower the energy losses.

The operating mode of the Mini UPS is also an important factor: different modes (online, offline, line-interactive) have different efficiencies. For example, online mode provides the best power stability but usually has a higher power consumption. Additional features, such as a display or USB ports, can increase power consumption and should be considered when selecting a device. The energy efficiency of the Mini UPS is critical to ensuring stable operation of IoT air quality monitoring systems and minimising energy costs.

The calculation of the energy efficiency of our proposed system for monitoring air quality in shelters with Smart Air, Zigbee gateway and Mini UPS components requires the following data:

1. Power consumption of each component (W).
2. System operation time per day (h).
3. Battery life from Mini UPS (in case of a power outage).

The following values were used for the example:

- Smart Air sensor: 0.5 W
- Zigbee gateway: 1.5 W
- Mini UPS: 1 W (losses for charging and maintaining the system)
- Total system operation time: 24 hours per day
- Mini UPS battery life: 6 hours (Mini UPS battery capacity: 20 Wh)

Step 1. Estimation of additional energy consumption

The additional energy consumption of a skin component is as follows:

- Smart Air sensor: $0.5 \text{ W} \times 24 \text{ years} = 12 \text{ W}$

- Zigbee gateway: $1.5 \text{ W} \times 24 \text{ years} = 36 \text{ W}$

- Mini UPS: $1 \text{ W} \times 24 \text{ year} = 24 \text{ W}$

The total energy consumption of the system per day is: $12 + 36 + 24 = 72 \text{ W}$

Step 2. Mini UPS battery life efficiency

The Mini UPS keeps your system running during a power outage. Total power consumption of the components during autonomous operation:

$0.5 \text{ W (Smart Air)} + 1.5 \text{ W (Zigbee gateway)} = 2 \text{ W}$

Battery life of Mini UPS (20W- capacity): $20 \text{ W} / 2 \text{ W} = 10 \text{ h}$

Therefore, the Mini UPS can keep the system running for up to 10 hours in the event of a power outage.

Step 3. Calculate the energy efficiency of the system

Energy efficiency is measured by the energy efficiency and annual energy consumption.

Mini UPS energy efficiency (efficiency)

The Mini UPS consumes 24 watts to maintain and charge the battery, but provides 10 hours of battery life:

Efficiency = (energy consumed / energy delivered to devices) $\times 100\% = (20 / 24) \times 100\% = 83.3\%$.

Annual energy consumption of the system

$72 \text{ W} \times 365 \text{ days} = 26,280 \text{ W (26.28 kW)}$

The proposed configuration of an energy-efficient air quality monitoring system based on the Internet of Things technology makes it possible to ensure operation in conditions of limited resources:

- The daily power consumption of the system is 72 W-.
- Mini UPS provides up to 10 hours of autonomous operation in the event of a power outage.
- The Mini UPS has an efficiency rating of 83.3%, which demonstrates its high energy efficiency.
- Annual power consumption of the system: 26.28 kWh, which is quite low for an IoT monitoring system.

This system is cost-effective, energy efficient, and suitable for long-term operation with minimal power consumption.

1. Taştan M. (2022). A low-cost air quality monitoring system based on Internet of Things for smart homes. [Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments]. Volume 14, 351 – 374.

2. Alsamrai O. et al. (2024). A Systematic Review for Indoor and Outdoor Air Pollution Monitoring Systems Based on Internet of Things. [Sustainability]. 16(11), 23-48.

3. Collado E. et al. (2024). Open-source Internet of Things (IoT)-based air pollution monitoring system with protective case for tropical environments [HardwareX]. 19.

4. Kukre V. et al (2023). Air Quality Monitoring Sytem using IoT and Machine Learning. [International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science]. 2422-2425.

5. Hura V. and Monastyrskii L. (2023). IoT-based Solution for Detection of Air Quality using ESP32. [Artificial Intelligence]. 3, 86-93.

6. Montaser N.A. et al (2024). Real-time IoT-powered AI system for monitoring and forecasting of air pollution in industrial environment. [Ecotoxicology and Environmental Safety]. Volume 283, 15.

7. Othman, H., Azari, R., & Guimarães, T. (2024). Low-Cost IoT-based Indoor Air Quality Monitoring. [Technology|Architecture + Design]. 8(2), 250–270.

8. Messan S. et al (2022). Air-MIT: Air Quality Monitoring Using Internet of Things. [Engineering Proceedings]. 20(1), 45-67.

9. Wall D. et al. (2021). Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality. [Internet of Things].
10. Shashank G. et al (2022). IoT Based Air Quality Monitoring System. V. Sriram Lohit, G. Venkata Sai Vishal. [Technoarete Transactions on Internet of Things and Cloud Computing Research]. Vol-2, Issue-3.

Lukash Walusiak
Academy of Silesia, Katowice
Andrii Lagun
Lviv Polytechnic National University

ENSURING THE SECURITY OF FOREST TERRITORIES TO ADDRESS CLIMATE CHANGE ISSUES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Forests are extremely important ecological systems that play a key role in preserving biodiversity and maintaining ecological balance. By producing oxygen, forests provide a vital habitat for a wide variety of plant and animal species, and they also contribute to carbon absorption and the reduction of greenhouse gas emissions. However, modern forest territories face numerous threats, including excessive deforestation, logging activities, wildfires, and climate change – all of which significantly affect their structure and functions.

Considering the aforementioned issues, it is important to emphasize that the development of forest ecological monitoring systems is highly relevant today. Such systems enable effective tracking of the condition of forest ecosystems, predicting potential changes, and taking necessary measures for their preservation. In addition, an ecological monitoring system can serve as a tool for evaluating the effectiveness of various forest management measures and strategies.

One of the positive aspects of using ecological monitoring systems for forest territories is the preservation of biodiversity, as forests are natural reservoirs for the existence of various plant and animal species. Their conservation is critically important for forest ecosystems, which depend on these species. Monitoring systems help detect threats more effectively and take measures to prevent them. Climate change has a significant impact on forests, particularly by increasing the risk of wildfires and pests [1].

Monitoring helps respond to these changes in a timely manner and adapt accordingly. Human activity in forests also has a major impact on forest ecosystems. Properly designed monitoring systems allow for the rational use of forest resources, reducing negative effects.

The use of modern information technologies that incorporate artificial intelligence to automatically detect changes in forest areas simplifies and accelerates the data collection process. The main focus of forest monitoring system research lies in identifying zones of degradation and deforestation, which helps assess not only biomass loss but also carbon emissions. Machine learning algorithms make it possible to model future climate changes and predict shifts in the carbon balance based on the analysis of forest areas [2]. Additionally, machine learning technologies enable rapid identification of forest sections at risk of deforestation and allow for assessment of carbon losses due to natural disasters and various anthropogenic factors.

In the study of forestry based on ecological and economic criteria, the following characteristics should be taken into account in the information model of the monitoring system.

1. Land and growing forest reserves are capital, so with increased of capital investment in forestry production, the completeness and volume of logging decrease.
2. If the upper method of selective cutting is used in the planning of logging zones, the stand density is higher than with the lower method; however, the current increment of forest reserves is greater with the lower method.
3. Types of logging such as thinning, cleaning, and clearing are profitable even with high logging costs.

4. It is more economically efficient to conduct clear-cutting and plant new forests than to use low-density stands.

5. Maturity is a key, but not the only, factor that must be considered when modeling forestry processes.

Models based on artificial intelligence technologies are an important part of ecological monitoring of forest areas. Simulation models that utilize artificial intelligence provide additional capabilities for detailed analysis and forecasting of various processes in forest ecological systems.

One of the key artificial intelligence technologies used in forest ecological monitoring systems is machine learning, which allows models to adapt to new data and improve their predictive capabilities. In the context of ecological monitoring, this means automatic pattern recognition, anomaly detection, and enhanced forecast accuracy. Deep learning methods, particularly neural networks, are one of the most advanced areas of machine learning, utilizing multi-layer networks to analyze and study complex relationships in large datasets [3]. In ecological models, deep learning can be used for automatic pattern identification and forecasting the dynamics of forest ecosystems based on large amounts of data.

Simulation models based on artificial intelligence can also be used for conducting simulations and optimization under changing environmental conditions. These models can adapt to various scenarios, helping to identify optimal forest management strategies under uncertainty and change. Models that combine simulation approaches and artificial intelligence can effectively utilize data obtained from satellites and Internet of Things systems. This makes it possible to obtain real-time data on the condition of forest cover and use it for training and supporting accurate modeling forecasts. Artificial intelligence technologies can be used to analyze the vulnerability of forest areas to various environmental changes. This supports the development of adaptation strategies aimed at maintaining ecological resilience under rapidly changing conditions. The use of artificial intelligence in ecological forest monitoring systems contributes to effective forest resource management by enabling the analysis of large volumes of data and the development of scientifically grounded management strategies.

For the study of forest territories has been designed an ecological monitoring system. It operates with an API with a non-relational MongoDB database. The system includes the following components.

1. Interface through which users interact with the system, particularly through a graphical user interface (GUI). The interface makes API calls to the server side to retrieve or update data.

2. Application Programming Interface (API), which is a set of rules that allow interaction with the server. The API defines the operations that can be performed with the data – namely retrieving, adding, updating, or deleting data.

3. Server, which is responsible for managing data and executing the operations defined by the API. The server consists of a backend that runs the API and a database used to store the data.

The system operates on the principle that the interface communicates with the backend through the API, while the backend interacts with the MongoDB database to manage the data.

In conclusion, it is worth noting that the main principle in selecting the structure of the forest monitoring information system was cross-platform compatibility through web orientation, which was chosen as the key factor in achieving cross-platform functionality [4]. This is essential for the fast processing and high-quality visualization of satellite images and visuals to ensure effective monitoring of the carbon balance in forest ecosystems and to forecast the impact of climate change on these systems.

Cross-platform development also applies to the principles of creating applications that can operate across multiple platforms, including the Internet, mobile devices, and computers. The main advantages of using cross-platform applications in forest monitoring information systems are as follows:

- access to cross-platform web applications is available to various users, as they can be run on any device with a web browser, which including desktop computers, laptops, smartphones, and tablets; there are especially useful during field research in forest areas;
- developing a single forest monitoring information system that can operate across multiple platforms can be more cost-effective than creating separate systems for each platform, as it reduces

the need for additional effort and resources, that demonstrating the economic efficiency of future research;

- ease of maintenance lies in the fact that with a unified component, it is simpler to maintain and update the forest monitoring information system, since changes only need to be made once rather than for all separate platform-specific components;
- cross-platform development allows the monitoring system to adapt to emerging technologies, such as artificial intelligence and new ecological research methods for forest areas, as soon as they become available and ensuring that the system remains up-to-date and functional for years to come.

1. Boholubov, V. M., Klymenko, M. O., Mokin, V. B., et al. (2010). *Environmental monitoring: Textbook* (V. M. Boholubov, Ed.). Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University. (in Ukrainian)

2. Korniienko, D., & Golian, N. (2024). *Automatic machine learning methods usage to predict natural phenomena. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, (2), 60–67. <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/587/519>

3. Arinta, R. R., & Andi, E. W. R. (2019). *Natural disaster application on big data and machine learning: A review. In Proceedings of the 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE) (Vol. 6, pp. 249–254). Yogyakarta, Indonesia.*

4. *What is cross-platform software? Triangle.* Retrieved April 12, 2025, from <https://www.triangle.es/en/news/what-is-cross-platform-software/>

Velychko Sofia

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”

Stankevych Mariia

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”

FOREST MONITORING USING SPECTRAL ANALYSIS

One of the most important problems today is the destruction of forest plantations. According to the Accounting Chamber of Ukraine, as of the end of 2022, 3 million hectares of forests in the country had already been affected, which is almost a third of the country’s forest fund. [Panchenko, 2023]. This figure is currently only growing. This leads to climate change, the destruction of plants, the extinction of some animal species, atmospheric degradation, and increased soil erosion. High-quality monitoring of forest areas and sustainable forest management are key ways to address deforestation.

The purpose of this paper is to determine changes in forest cover using geoinformation technology and remote sensing, namely to establish criteria for factor indicative signs of deforestation.

The spectral analysis helps to identify changes. The village of Volosianka, Lviv region, is taken as an example. At the stage of Landsat 8 image interpretation, deforested areas were noticed.

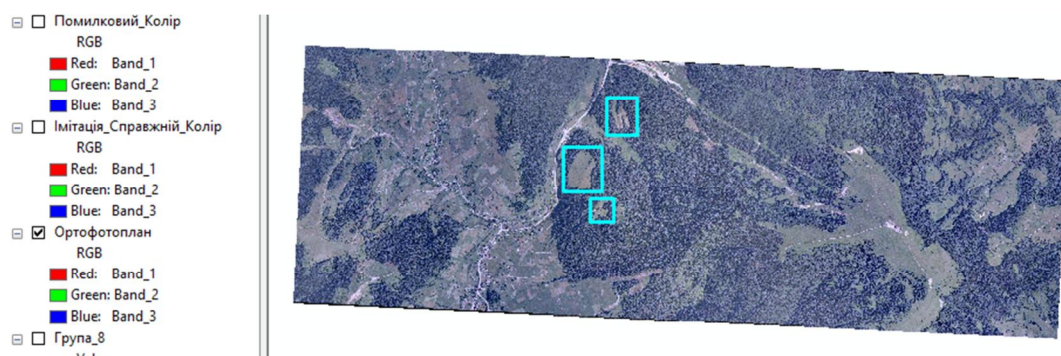


Fig. 1. Orthophotographic plan

For further analysis, the gradation parameters were set in relation to the forest area.

- dark pink (1000-800 m²);
- pink (800-500 m²);
- light pink (500-100 m²);
- blue (100-0 m²).

Raster layers were also created for the work, Figs. 2-3.

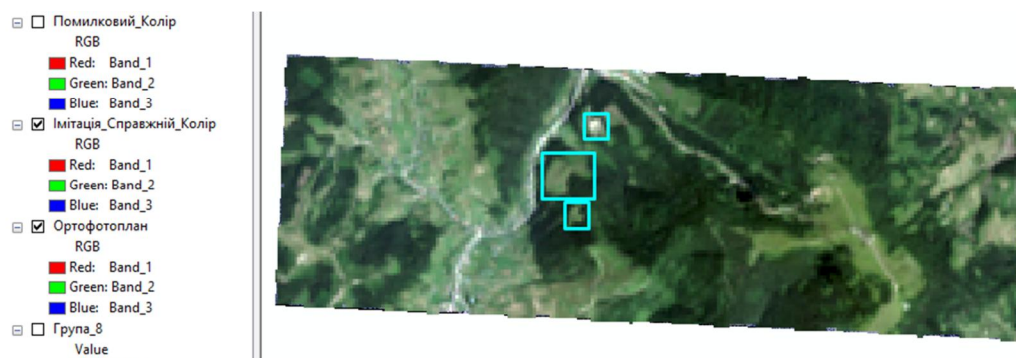


Fig. 2. Band Synthesis

When comparing the “Band Synthesis” image with the orthophotographic plan, you will notice a similar colour palette, but the colours in the first image, in particular green, have a higher saturation. This is due to the fact that both images were captured using different imaging and processing methods. An orthophotographic plan is based on photographs taken with a digital camera, so it is as close as possible to the image seen by the human eye. Instead, the “Band Synthesis” was created by combining three bands (red, green and blue) in ArcGIS using the “Composite Bands” tool from the ArcToolbox.

Landsat data captures narrow spectra of light that differ from the human eye, which makes the green colour look less natural than on the orthophotographic plan.

To more accurately demonstrate changes in the vegetation of the area, the vegetation index NDRE (Normalised Difference Red Edge) was used, Fig. 3. This index is sensitive to changes in dense vegetation, which is well suited for forested areas.

Areas coloured the deepest red represent the healthiest vegetation. Areas that are light pink or blue are unhealthy or dead.

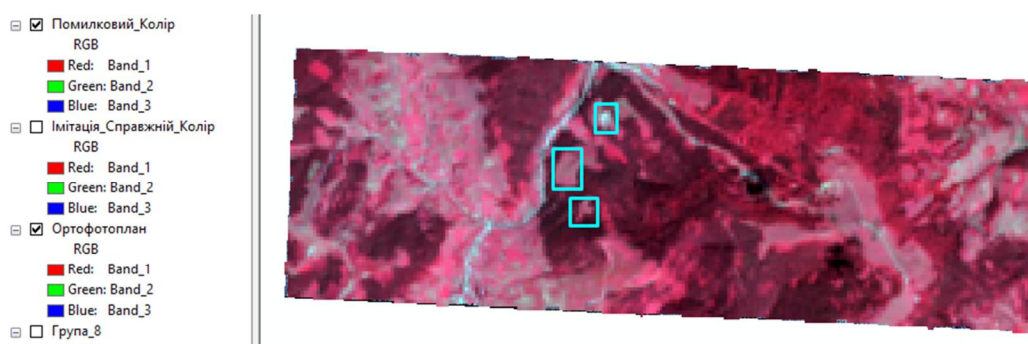


Fig. 3. Vegetation index “NDRE”

Spectral analysis was used to process the images and index them to track illegal deforestation. The results confirm the effectiveness of using geographic information technologies in monitoring the destruction of forests and making decisions on environmental restoration. This methodology can be used to study other similar situations.

1. Panchenko, L. (2023). *Skilky lisiv postrazhdalo vid vijny i yak shvydko yih mozna vidnovyty* [How many forests were damaged in a war and how quickly they can be restored]. Kyiv:

TEXTY.org.ua. <https://texty.org.ua/fragments/109583/skilky-lisiv-postrazhdalo-vid-vijny-i-yak-shvydko-yih-mozhna-vidnovyty/> [in Ukrainian].

2. Derzhavne ahentstvo lisovykh resursiv Ukrainy. (2020, Lystopad 4). *Yak pereviryty, chy zakonno rubaiut lis* [How to check if logging is legal]. <https://forest.gov.ua/news/yak-pereviriti-chi-zakonno-rubayut-lis> [in Ukrainian].

Гладкий Олег

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

ВПЛИВ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

У сучасних умовах цифрової трансформації інформаційні технології (ІТ) виступають каталізатором змін у функціонуванні ринку нерухомості, впливаючи на всі етапи його розвитку – від проектування, будівництва й оцінки до управління, продажу та обслуговування об'єктів. Інтеграція цифрових інструментів у цей сектор сприяє підвищенню прозорості операцій, оптимізації процесів, удосконаленню клієнтського сервісу, а також формуванню нових бізнес-моделей.

Одним із ключових інструментів цифровізації у сфері нерухомості є використання технологій обробки великих масивів даних (Big Data), які дозволяють прогнозувати ринкову кон'юнктуру, моделювати поведінку споживачів, оцінювати ризики та ефективність інвестицій. ІТ-системи на базі Big Data забезпечують точний аналіз ринку в реальному часі, що дозволяє забудовникам, агентствам і фінансовим інституціям ухвалювати обґрунтовані рішення з мінімальним рівнем невизначеності.

Технології штучного інтелекту (AI) активно застосовуються в автоматизації процесів оцінки нерухомості, виявленні шахрайства, а також персоналізації клієнтських пропозицій. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати численні змінні – від розташування об'єкта до економічної активності району – і на цій основі формувати ринкову вартість з високим рівнем точності. Крім того, AI дозволяє ефективніше управляти портфелями нерухомості та спрогнозувати можливі коливання вартості.

Інтернет речей (IoT) відкриває нові горизонти для розумного управління будівлями (Smart Buildings), підвищуючи енергоефективність, зменшуючи експлуатаційні витрати та створюючи більш комфортне середовище для мешканців [1]. Сенсори та пристрої IoT забезпечують моніторинг температури, вологості, рівня споживання ресурсів, що дозволяє оперативно реагувати на відхилення та проводити превентивне обслуговування інфраструктури.

Технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) значно змінюють досвід користувачів при купівлі та оренді нерухомості. Віртуальні тури, 3D-візуалізації та цифрові макети дозволяють покупцям оцінити об'єкти без фізичної присутності, що особливо актуально в умовах зростаючої ролі дистанційної взаємодії. Це зменшує витрати часу, розширює географію потенційних клієнтів та підвищує конкурентоспроможність ріелторських компаній.

Блокчейн-технології впроваджуються з метою посилення прозорості угод з нерухомістю, мінімізації шахрайства та оптимізації юридичних процедур. Завдяки децентралізованій природі блокчейн дозволяє формувати незмінні цифрові записи про транзакції, права власності та історію об'єкта, що спрощує процес верифікації й скорочує витрати на юридичне супроводження.

У сучасному підході до управління містами та регіонами інформаційно-комунікаційні технології відіграють ключову роль у реалізації концепції «розумного міста» (smart city), яка передбачає інтеграцію даних з різних джерел в єдині цифрові платформи для ефективного управління територіальними, економічними, соціальними та екологічними ресурсами [2]. Одним з основних цифрових інструментів у цьому процесі є геоінформаційні системи (ГІС), що забезпечують візуалізацію просторових даних, моделювання сценаріїв розвитку міського середовища та прийняття обґрунтованих стратегічних рішень щодо просторового планування.

ГІС-технології дозволяють органам місцевого самоврядування здійснювати точне зонування територій, визначати допустимі навантаження на транспортну, соціальну та інженерну інфраструктуру, оптимізувати використання земельних ресурсів, а також прогнозувати наслідки урбанізаційних процесів. Особливо важливо, що ці технології включають і екологічний вимір: за їх допомогою можна моніторити якість повітря, рівень шуму, теплове навантаження міського середовища, стан зелених зон, водних об'єктів та рівень ризику забруднення довкілля.

Крім того, за допомогою ІТ-рішень можливе формування екологічно збалансованих планів забудови, які враховують наявність природоохоронних територій, запобігають надмірній щільності забудови та сприяють збереженню біорізноманіття в межах міста. Цифрові платформи міського розвитку дозволяють моделювати вплив нових об'єктів на мікроклімат, зелені коридори, рівень викидів парникових газів, а також оцінювати ефективність заходів із пом'якшення наслідків змін клімату.

Як бачимо, ІТ-технології виступають основою не лише для підвищення ефективності муніципального управління, а й для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку урбанізованих територій. Їх інтеграція в міське планування створює передумови для формування екологічно чутливого, енергоефективного та соціально орієнтованого міського середовища.

Не менш важливим є розвиток електронної комерції у сфері нерухомості. Платформи типу Proptech (property technology) поєднують онлайн-огляди, підписання договорів, фінансування, страхування та юридичне супроводження в єдиному цифровому середовищі. Це не лише підвищує зручність для клієнтів, а й забезпечує нові канали взаємодії з покупцями, орендарями, інвесторами.

Разом з тим, впровадження ІТ у сферу нерухомості супроводжується низкою викликів. До них належать: загрози кібербезпеки, необхідність захисту персональних даних, нерівномірність цифрової доступності, а також потреба у нових компетенціях персоналу. Вирішення цих проблем вимагає формування нової нормативно-правової бази, створення системи кіберзахисту, розробки освітніх програм і підвищення цифрової грамотності учасників ринку.

Таким чином, ІТ-технології стають потужним чинником трансформації ринку нерухомості, підвищуючи його ефективність, прозорість і інноваційність. Подальше впровадження цифрових рішень створює передумови для стійкого розвитку сектору, адаптації до змін зовнішнього середовища та формування нового типу взаємодії між усіма учасниками ринку. В умовах постійної конкуренції й глобалізації цифрова трансформація стає не лише конкурентною перевагою, а й ключовою умовою життєздатності компаній, що працюють на ринку нерухомості..

1. Бреус, С., Цимбаленко, О., & Глухов, М. (2024). Інформаційні технології: їх роль у зміні бізнес-парадигми компаній. *Економіка та суспільство*, 63. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-15>

2. Обушний, С., & Новіков, А. (2024). Вплив іт-технологій на девелопмент нерухомості сталого розвитку та інвестиційну привабливість урбаністичних проектів. *Європейський науковий журнал Економічних та Фінансових інновацій*, 1(13), 96-106. <https://doi.org/10.32750/2024-0110>

Назар Гриценко, Мирослав Мальований, Іван Тимчук
Національний університет «Львівська політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗУ БІОГАЗУ В АНАЕРОБНИХ УМОВАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сучасні виклики, пов'язані зі зміною клімату та вичерпанням традиційних енергетичних ресурсів, стимулюють активний пошук альтернативних джерел енергії. Одним із перспективних рішень є продукування біогазу шляхом анаеробного зброджування органічних відходів. Цей процес не лише забезпечує отримання відновлюваного палива, а й сприяє зменшенню

кількості відходів, знижуючи навантаження на довкілля. Однак, для ефективного функціонування біогазових установок необхідно глибоке розуміння біохімічних процесів та вміння керувати ними в реальному часі. У цьому контексті цифрове моделювання набуває все більшого значення як інструмент прогнозування, оптимізації й управління процесами ферментації. Анаеробне зброджування включає кілька ключових етапів: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез. На кожному з них мікроорганізми трансформують складні органічні сполуки у простіші, а кінцевими продуктами є біогаз – суміш метану, вуглекислого газу, водню тощо. На ефективність процесу впливають численні чинники: температура, рН, вологість, тип сировини, вміст поживних елементів, а також режим змішування та час утримання субстрату у ферментаторі [1]. Усі ці змінні ускладнюють прогнозування виходу газу та потребують комплексного підходу до їх моделювання.

Цифрові технології дають змогу створювати комп'ютерні моделі, що враховують множини параметрів і їхній взаємозв'язок. Сьогодні активно використовуються як традиційні математичні моделі, так і сучасні алгоритми машинного навчання, здатні адаптуватися до реальних даних. Застосування середовищ MATLAB/Simulink, Python, Aspen Plus та інших платформ дозволяє не лише моделювати процеси, а й автоматизувати управління біогазовими станціями [2]. Ефективними є гібридні підходи, коли емпіричні моделі поєднуються з нейромережами або генетичними алгоритмами для точнішого прогнозування та оптимізації. Важливою перевагою цифрового моделювання є можливість мінімізувати кількість експериментів, що знижує витрати на проектування та експлуатацію. Також моделі дозволяють оцінювати вплив змін у складі сировини або умов ферментації без ризику для обладнання. Це відкриває шлях до створення систем підтримки прийняття рішень, інтегрованих з датчиками, SCADA-системами та інтернетом речей (IoT). У ЄС цифрові моделі вже широко застосовують для оптимізації біогазових установок. Зокрема, у Німеччині, Данії та Нідерландах оператори інтегрують SCADA-системи з прогнозними моделями, що дозволяє в реальному часі керувати процесами, знижувати ризики та підвищувати енергетичний вихід. Також моделі використовуються для регіонального планування виробництва біометану та його подачі в газові мережі [3].

У рамках нашого дослідження ми плануємо побудувати цифрову модель синтезу біогазу із використанням адаптивного алгоритму прогнозування на основі експериментальних даних. Провести валідацію при використанні різних типів органічної сировини. Модель дозволить ідентифікувати «вузькі місця» в системі, проводити аналіз і розраховувати сценарії для підвищення продуктивності. Також наша модель має потенціал для інтеграції з геоінформаційними системами, що дозволить створювати візуалізацію джерел відходів і місць оптимального розміщення біогазових станцій.

Отже, цифрове моделювання синтезу біогазу – це не лише засіб технологічного вдосконалення, а й важливий інструмент екологічного менеджменту. Воно дозволяє скорочувати втрати енергії, зменшувати викиди парникових газів та створювати умови для циркулярної економіки. У майбутньому ми плануємо розширити модель для врахування не лише виробництва біогазу, а й побічних ефектів (наприклад, якості дигестату), що допоможе приймати рішення з урахуванням екологічних і соціальних факторів.

1. Loboichenko, V., Iranzo, A., Casado-Manzano, M., Navas, S. J., Pino, F. J., & Rosa, F. (2024). Study of the use of biogas as an energy vector for microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200, 114574. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114574>
2. Omole, O. A., Ogbaga, C. C., Okolie, J. A., Akande, O., Kimera, R., & Dayil, J. L. (2025). Advancing algal biofuel production through data-driven insights: A comprehensive review of machine learning applications. *Computers & Chemical Engineering*, 196, 109049. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2025.109049>
3. Mondal, P. P., Galodha, A., Verma, V. K., Singh, V., Show, P. L., Awasthi, M. K., Lall, B., Anees, S., Pollmann, K., & Jain, R. (2023). Review on machine learning-based bioprocess optimization, monitoring, and control systems. *Bioresource Technology*, 370, 128523. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128523>

ЦИФРОВИЙ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ШУМ: ВИКЛИКИ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ

Вступ

Шумове забруднення – це надмірна і постійна присутність небажаних сигналів у довкіллі. Воно має різну природу: від акустичного (звукового) до електромагнітного, з джерелами як природного, так і антропогенного походження. Природними джерелами є грозові розряди, космічне фонове випромінювання тощо; неприродними – транспорт, промислове обладнання, електронні пристрої та телекомунікаційні системи. Шумове забруднення визнане серйозним екологічним фактором, особливо в містах: воно знижує якість життя людей і негативно впливає на фауну [1]. Водночас електромагнітний «цифровий» шум у сфері інформаційних технологій створює перешкоди для роботи електронних систем. Сучасне електромагнітне оточення насичене сигналами, що підвищує ризик збоїв технічних систем [2]. Таким чином, проблема шуму поєднує аспекти захисту середовища та кібербезпеки: що породжує необхідність мінімізації впливу небажаних шумів.

Проблематика

Акустичний шум і електромагнітні завади є формами забруднення, що шкодять як природі, так і технологічним процесам. Тривалий вплив сильного шуму погіршує здоров'я людини (стрес, порушення сну, втрата слуху) і дезорієнтує тварин. Електромагнітний шум, наприклад радіочастотні завади від ліній електропередач чи передавачів, може порушувати роботу чутливих приладів і систем навігації тварин. У контексті приладів, завади знижують якість бездротового зв'язку та точність датчиків. Системи моніторингу та зв'язку можуть давати хибні показники або виходити з ладу під впливом перешкод. Таким чином небажані шуми є ризиком доступності інформації, що є проблематикою захисту інформації.

Небезпечними є й навмисні шумові впливи. У кібербезпеці відомі атаки типу глушіння (jamming), коли зловмисник генерує потужний радіосигнал, порушуючи роботу мережі. Це особливо критично для бездротових IoT-систем моніторингу довкілля. Інший вектор – несанкціоноване перехоплення випромінювань. Електронні прилади ненавмисно випромінюють електромагнітні сигнали з інформацією про оброблювані дані; перехоплення таких випромінювань може здійснюватися непомітно (без фізичних слідів втручання). Уразливими є монітори, клавіатури, принтери тощо [3]. Отже, шум є фактором ризику і для довкілля, і для захисту інформації, що зумовлює потребу комплексної протидії.

Методи та моделі зниження шуму

Один із дієвих підходів – активне шумозаглушення (Active Noise Control, ANC). Принцип ANC – генерувати «антишум», тобто хвилю тієї ж амплітуди, але в протифазі до небажаного звуку. Накладання двох хвиль рівної амплітуди зі зсувом фаз на 180° призводить до їх взаємного гасіння (нульового результуючого сигналу) [4]. Для реалізації ANC використовують адаптивні фільтри, що підлаштовуються під динаміку шуму. Зокрема, алгоритм найменших середніх квадратів (LMS) ітеративно налаштовує коефіцієнти фільтра так, щоб мінімізувати різницю між шумом і антишумом. Останніми роками ведуться дослідження із застосування ANC для зниження міського шуму. Хоча придушення дорожнього шуму в реальних умовах залишається складним (через широкий спектр і мінливість), експериментальні ANC-системи на основі LMS демонструють помітне зменшення рівня транспортного гуркоту на критичних ділянках [4].

Доповненням до активних методів є пасивне шумопоглинання – звукоізоляційні матеріали, бар'єри та екрани. У містобудуванні застосовують акустичні екрани вздовж автошляхів, що знижують рівень шуму для прилеглих районів. Для електромагнітних завад ефективне рішення – електромагнітне екранування (наприклад, клітка Фарадея), яке блокує проникнення ЕМ-випромінювань. Такий підхід захищає чутливу апаратуру від зовнішніх полів і запобігає

витоку випромінювання з обладнання. Існують стандарти, що регламентують граничні рівні побічних електромагнітних випромінювань [3]. Дотримання цих норм підвищує інформаційну безпеку і одночасно зменшує електромагнітне навантаження на довкілля. До пасивних методів також належить фільтрація – екрановані кабелі, феритові фільтри на проводах тощо для зниження високочастотних завад.

Моніторинг та моделювання

Важливим напрямом є моніторинг шумового забруднення із застосуванням Інтернету речей. Мережі сенсорів у реальному часі відстежують рівні шуму та передають дані для аналізу. Це допомагає виявляти «гарячі точки» і перевіряти ефективність протишумових заходів. У контексті кібербезпеки моніторинг ЕМ-сигналів використовується для виявлення несанкціонованих передавачів і спроб глушіння, аби вчасно перейти на резервний зв'язок.

Розвиваються також математичні моделі оцінки впливу шумів та завад. Для електромагнітних полів застосовують класичні підходи (вагові коефіцієнти, ймовірнісний аналіз) і методи штучного інтелекту. Огляд показує, що жодна окрема модель не охоплює всі сценарії, тому пропонується об'єднувати кілька методик та залучати нейронні мережі для підвищення адаптивності оцінювання [2].

Приклади застосувань

У містах уже розгортаються розумні системи моніторингу шуму (IoT-сенсори, хмарні платформи), що аналізують шум в різних спектрах. На основі цих даних ухвалюють рішення – від коригування трафіку до встановлення додаткових шумозахисних екранів та пристроїв виявлення БПЛА. Розробляються й активні шумові бар'єри: пристрої з динаміками і датчиками, які в реальному часі генерують протифазний «антишум» для нейтралізації міського гуркоту. Хоч повномасштабне впровадження ANC у відкритому середовищі ще потребує досліджень, прототипи вже забезпечують зниження рівня транспортного шуму на кілька децибел [4]. У сфері електромагнітної безпеки активно застосовуються сучасні матеріали для екранування та фільтрації. Ефективні ЕМ-екрани можна створювати без суттєвого впливу на роботу пристроїв. Зниження випромінювання від гаджетів мінімізує ризик перехоплення даних і зменшує радіоперешкоди.

Висновки

Цифровий та електромагнітний шум – багатогранна проблема яка впливає як на навколишнє середовище так і на електроніку та комунікаційні системи. Актуальні дослідження спрямовані на стримування негативного впливу шумів на людей і природу при одночасному забезпеченні стійкості інформаційних систем. Поєднання активних і пасивних технологій (моніторинг, ANC, екранування тощо) разом із кіберзахистом дає найкращий результат. Комплексний підхід вже демонструє ефективність на практиці. Продовження досліджень у цій галузі є необхідним задля збереження довкілля та захисту інформації в умовах зростання джерел електромагнітного та цифрового шуму.

1. Estrella, I., Pacheco, A., Marin, W., Pacheco-Pumaleque, L., Cuba-Carbajal, N., Pucuhua-Revatta, F., Felix-Poicon, E., & Añaños-Bedriñana, M. (2024). Tackling Noise: Technology Integration for Improved Noise Pollution Monitoring. // *Environmental Health Insights*, 18.

2. Li, M.; Wei, G, A Review of Quantitative Evaluation of Electromagnetic Environmental Effects: Research Progress and Trend Analysis.// *Sensors* 2023, 23, 4257.

3. Antić, V.; Protić, D.; Stanković, M.; Prodanović, R.; Manić, M.; Ostojić, G.; Stankovski, S.; Kučević, D. Protecting Data at Risk of Unintentional Electromagnetic Emanation: TEMPEST Profiling. *Appl. Sci.* **2024**, 14, 4830.

4. Yang B, Yin J, Ye Z, Yang S, Wang L. Development and Testing of an Active Noise Control System for Urban Road Traffic Noise. *Applied Sciences*. 2024; 14(1):175.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

На сьогоднішній день аграрна сфера в Україні потребує впровадження сучасних технологій, які будуть підвищувати ефективність та продуктивність вирощування рослин. Одним з перспективних напрямів є розроблення та впровадження моделей і засобів для моніторингу процесів вирощування, які дозволяють оптимізувати використання ресурсів, підвищити якість продукції та знизити екологічне навантаження на довкілля. Моніторинг вирощування рослин із використанням IoT-технологій, сенсорних систем і програмного забезпечення дозволяє аграріям отримувати дані про вологість ґрунту, рівень освітлення, температуру, рН та інші важливі дані в режимі реально часу. Системи моніторингу сприяють економії ресурсів і підвищенню врожайності шляхом оптимізації управління, автоматизації процесів і прийняття рішень на основі точних даних.

У зв'язку з постійними кліматичними змінами, обмеженістю природних ресурсів та зростаючим попитом на продовольчі товари, розроблення та впровадження методів та засобів автоматизованого моніторингу вирощування рослин є надзвичайно актуальним завданням[3].

Моніторинг вирощування рослин є важливою складовою сучасного агрономічного управління. Тому на сьогоднішній день існує ряд технологій, які значно спрощують та полегшують процес моніторингу вирощування рослин та керування аграрними системами. Вони поділяються на традиційні методи моніторингу, технології сенсорного моніторингу, інтелектуальні системи, системи дистанційного зондування та IoT-системи.

До традиційних методів належить візуальний моніторинг – це один з найстаріших і найпростіших методів контролю стану рослин. Він передбачає регулярний огляд полів та теплиць агрономами чи техніками для виявлення видимих ознак проблем, наприклад: хвороб, шкідників, дефіциту поживних речовин або стресу у рослин [13]. Перевагами такого методу є те, що він не потребує складного обладнання або спеціальних навичок для виконання. Серед недоліків: результати залежать лише від досвіду та навичок спостерігача, що впливає на точність діагностики, процес потребує значних зусиль і часу для огляду великих площ.

До технологій сенсорного моніторингу відносять давачі вологості та температури ґрунту, а також бездротові сенсори і мережі. Давачі вологості та температури ґрунту використовуються для збору даних про умови вирощування в реальному часі. Вони можуть бути встановлені в різних точках поля і забезпечують дані про рівень вологості, температуру ґрунту, а іноді й інші параметри, такі як рН [12]. Перевагами таких технологій є те, що вони забезпечують точні дані про стан ґрунту та своєчасне надходження цих даних, що забезпечує оперативне управління ресурсами. Також ці технології можуть інтегруватися з системами автоматичного зрошення, що дозволяє своєчасно реагувати на зміну умов вирощування. До недоліків таких технологій можна віднести високу ціну обладнання та витрати на обслуговування і калібрування.

Бездротові сенсори передають дані про стан рослин через бездротові мережі, такі як Wi-Fi, LoRaWAN або ZigBee. Це дозволяє забезпечити зручну комунікацію між різними компонентами системи без потреби в проводах. Перевагами цієї технології є можливість встановлення сенсорів у будь-яких місцях та легкість у додаванні нових сенсорів до системи. Також значною перевагою є менші витрати на інфраструктуру. Проте недоліком є висока вартість бездротових сенсорів та мережевого обладнання, а також потреба в постійному енергозабезпеченні сенсорів [10].

Інтелектуальні системи автоматизованого моніторингу використовують передові технології штучного інтелекту (AI), машинного навчання (ML), а також аналіз великих даних для автоматизації та оптимізації процесів моніторингу у різних сферах, в тому числі й в аграрній сфері. Ці системи також можуть включати в себе такі елементи, як сенсори, дрони, системи дистанційного зондування та програмні рішення для аналізу даних.

AI-моделі використовуються для аналізу даних, зібраних сенсорами, з метою прогнозування врожайності, виявлення аномалій та автоматизації управлінських рішень. Це може включати використання алгоритмів машинного навчання для обробки великих обсягів даних і виявлення закономірностей. Аналіз великих даних, що включає в себе збір, зберігання та обробку великих обсягів даних, може бути використаний для виявлення тенденцій у змінах умов вирощування, оптимізації ресурсів і покращення загального управління процесами [3, 9].

Серед переваг таких моделей можна виділити можливість забезпечення високої точності прогнозів і рекомендацій на основі великих обсягів даних, можливість автоматизації процесів, таких як зрошення і підживлення, а також можливість виявлення складних взаємозв'язків і тенденцій у даних. Недоліками інтелектуальних систем є висока ціна і впровадження, а також потреба в потужному обчислювальному обладнанні. Крім цього, реалізація AI-моделей вимагає висококваліфікованих спеціалістів і може бути доволі складною.

До інтелектуальних систем автоматизованого моніторингу також належать дроніві технології і роботизовані системи. Дрони оснащені камерами і сенсорами, вони використовуються для збору зображень і даних про рослинність і умови середовища вирощування. Мультиспектральні та гіперспектральні камери дозволяють аналізувати стан рослин і визначати їхні потреби. Перевагою дроніві технологій є можливість отримання високоякісних зображень і відео, які дозволяють детально аналізувати стан рослин, а також швидко охоплення великих територій без фізичного контакту та здатність виявляти проблеми на ранніх стадіях росту рослин, завдяки мультиспектральному аналізу. Недоліком дроніві технологій є їхня висока вартість і витрати на обслуговування, а також необхідність у спеціальних навичках для управління дронами [4].

Роботизовані системи використовуються для автоматизації різних процесів у сільському господарстві, таких як висаджування, обробка ґрунту і збір врожаю. Роботи можуть бути оснащені сенсорами для моніторингу стану рослин та довкілля [11]. Перевага роботизованих технологій полягає в автоматизації робочих процесів, що зменшує потребу в ручній праці і підвищує продуктивність. Ці технології забезпечують високу точність виконання завдань, що можливо завдяки програмним алгоритмам. Недоліками роботизованих систем є висока ціна розробки і впровадження, а також витрати на обслуговування. Окрім цього, налаштування та програмування роботів є складним процесом, який вимагає висококваліфікованих спеціалістів.

Інтелектуальні системи автоматизованого моніторингу можуть бути інтегровані з іншими управлінськими системами, такими як автоматичні системи зрошення або платформи для управління енергетичними ресурсами. Це дає змогу створити комплексні рішення для управління агрогосподарством [7].

Ще одним методом моніторингу вирощування рослин є системи дистанційного зондування. Системи дистанційного зондування використовують супутники або літаки для збору даних про рослинність, ґрунт і кліматичні умови. Цей метод включає в себе створення супутникових знімків або даних, отриманих з літаків, що дозволяє отримати загальне уявлення про стан великих агрогосподарств. Перевагами систем дистанційного зондування є можливість моніторингу великих площ з мінімальними витратами часу та ресурсів. Окрім цього, цей метод може забезпечити дані в реальному часі або з частотою, що відповідає потребам господарства. Недоліками систем дистанційного збору є обмежена роздільна здатність зображень, що не дозволяє отримати детальні дані, а також висока вартість супутникових знімків [8].

IoT-системи використовують мережу підключених пристроїв і сенсорів для збору та обробки даних про стан рослин і середовища. Вони інтегруються з різними сенсорами, контролерами, платформами та технологіями для забезпечення автоматизованого моніторингу і управління. Перевагами IoT-систем є можливість об'єднання даних, отриманих з різних джерел, у єдиній системі для комплексного аналізу. Також ці системи дозволяють автоматизувати робочі процеси, що зменшує потребу в ручному втручанні. Окрім цього, така

система є досить гнучкою, оскільки є можливість масштабування системи шляхом додавання нових сенсорів та компонентів. Недоліком IoT-систем є потреба у забезпеченні безпеки даних і систем, а також висока ціна на початкове обладнання [7].

Існуючі IoT-системи, що застосовуються в сільському господарстві на сьогоднішній день, мають різну функціональність та використовують найрізноманітніші сенсорні і комунікаційні технології для моніторингу та управління вирощування рослин. Найпопулярнішими серед цих систем є CropX, John Deere FieldConnect, FarmBot, AgriEye.

CropX – це IoT-система для моніторингу ґрунту, яка використовує спеціалізовані сенсори для вимірювання вологості, температури та солоності ґрунту [5]. Вона забезпечує агрономів аналітичними даними про стан ґрунту та дає рекомендації щодо оптимального зрошення та добрив.

John Deere FieldConnect – це система для моніторингу зрошення, яка дозволяє фермерам контролювати вологість ґрунту і ефективно керувати системами зрошення [2]. Вона використовує давачі вологості, які попередньо встановлюються у різних зонах полів, та передає інформацію про стан ґрунту на центральну частину для аналізу, а також інтегрується з іншими продуктами компанії John Deere, такими як трактори та обприскувачі. Перевагами цієї системи є надійність і можливість масштабування, а також інтеграція з обладнанням для автоматизації робочих процесів агрогосподарств.

FarmBot – це роботизована IoT-система, яка забезпечує повну автоматизацію невеликих фермерських ділянок [6]. Вона включає в себе роботизовану платформу для висадки, поливу і догляду за рослинами, а також набір сенсорів для моніторингу ґрунту та кліматичних умов. Особливостями цієї системи є повна роботизація процесу вирощування, включаючи посів, полив та прополку, а також підтримка керування через веб-інтерфейс або мобільний додаток, та інтеграція з хмарними сервісами для збору і аналізу даних. До переваг системи FarmBot можна віднести повну автоматизацію всіх агрономічних процесів на малих ділянках та легкий у використанні інтерфейс. Недоліками цієї технології є висока вартість та орієнтація на малі господарства, що обмежує можливості його застосування.

AgriEye – це інноваційна система супутникової аналітики, що усуває інформаційну асиметрію в агробізнесі, дозволяючи комплексно оцінити поле – від 20-річної історії родючості й придатності до вирощування певних культур до ризиків перезволоження – та завдяки цьому уникати зайвих витрат ресурсів [1]. AgriEye – це IoT-система для моніторингу вирощування рослин, мета якої полегшити управління аграрними процесами за допомогою сучасних технологій. Вона пропонує широкий вибір інструментів для збору та аналізу даних, що допомагає аграрним господарствам оптимізувати робочі процеси та підвищити продуктивність. Особливостями цієї системи є використання дронів та супутникових знімків для аналізу стану посівів, виявлення захворювань та оцінки врожайності. Також система оснащена мережею бездротових сенсорів, які вимірюють параметри ґрунту, та хмарною платформою для збору, обробки та аналізу даних, зібраних з цих сенсорів. Окрім цього система AgriEye використовує штучний інтелект для аналізу даних, зібраних з сенсорів, для виявлення закономірностей, що у свою чергу допомагає в прогнозуванні потреб рослин у воді, добривах та інших ресурсах.

Перевагами системи AgriEye є автоматизація процесів збору даних та моніторингу стану полів, що значно економить час та ресурси аграріїв. Також значною перевагою цієї системи є інтеграція з супутниковими даними, що дозволяє отримати інформацію про великі площі полів у режимі реального часу. Недоліками цієї системи ж висока вартість дронів та супутникового моніторингу, а також потреба у стабільному інтернет-з'єднанні для синхронізації даних з хмарними сервісами.

Основні переваги використання систем автоматизованого моніторингу вирощування рослин полягають у точності даних, автоматизації робочих процесів, ефективності використання ресурсів та в засобах для аналізу і прогнозування врожайності. Такі системи дозволяють отримувати точні дані про умови вирощування, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції, зменшують потребу в ручному контролі та дозволяють

автоматизувати робочі процеси, а також допомагають уникнути надмірного використання води та добрив. Окрім цього, системи автоматизованого моніторингу вирощування рослин надають моделі і засоби для аналізу даних, отриманих з сенсорів, та надають рекомендації для покращення умов вирощування і прогнозування врожайності.

Аналіз сучасних методів та засобів моніторингу вирощування рослин показав, що кожен з них має переваги і недоліки. Комбінація різних технологій може забезпечити більш комплексний підхід до моніторингу і управління процесами вирощування рослин, а це у свою чергу допоможе оптимізувати ресурси та автоматизувати робочі процеси аграрних господарств.

1. Офіційний сайт AgriEye. (б. д.). AGRIEYE. <https://agrieye.tech>
2. Офіційний сайт john deere field connect. (б. д.). John Deere Field Connect. <https://www.deere.africa/en/technology-products/>
3. Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146. <https://doi.org/10.1890/120150>
4. Bechar, A. (Ред.). (2021). *Innovation in agricultural robotics for precision agriculture*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-77036-5>
5. *CropX agronomic farm management system*. (б. д.). CropX Digital Agronomy Platform and Farm Management System. <https://cropx.com>
6. *FarmBot | Open-Source CNC Farming*. (б. д.). FarmBot. <https://farm.bot>
7. Kose, U., Prasath, V. B. S., Mondal, M. R. H., Podder, P., & Bharati, S. (2022). *Artificial intelligence and smart agriculture technology*. Auerbach Publications. <https://doi.org/10.1201/9781003299059>
8. Lamine, S., Srivastava, P. K. K., Kayad, A., Arriola, F. M. M., & Pandey, P. C. (2022). *Remote sensing in precision agriculture*. Elsevier Science & Technology.
9. Liakos, K., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
10. Newman, S. (2015). *Building microservices*. O'Reilly Media, Incorporated.
11. Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: Opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839–848. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>
12. Qin, Z., & Karkee, M. (2021). *Fundamentals of agricultural and field robotics*. Springer International Publishing AG.
13. Zhang, Q. (Ред.). (2015). *Precision agriculture technology for crop farming*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19336>

Кобильник Тарас
Національний університет «Львівська політехніка»

ПРОГРАМУВАННЯ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ З TKINTER НА ПРИКЛАДІ ГРИ «FLIP-FLOP»

Основною характеристикою будь-якої програми з графічним інтерфейсом є її інтерактивність. Така програма не просто виконує обчислення від моменту запуску до завершення, її дії залежать від взаємодії з користувачем. По суті, графічний застосунок працює за принципом нескінченного циклу обробки подій. Програми з графічним інтерфейсом є подіє-орієнтованими: вони чекають на події, які надходять від інтерфейсу, та обробляють їх відповідно до визначених алгоритмів. Події виникають в елементах графічного інтерфейсу (віджетах) і опрацьовуються спеціальними обробниками. Віджети можуть мати різноманітні властивості,

як-от колір, розмір чи розташування, а також методи для доступу до свого стану. Основне завдання програміста – написати зміст обробників всіх повідомлень. Послідовність звернень до них чітко не визначена. Вона може бути змінена залежно від дій користувача та сигналів, які надходять від зовнішніх пристроїв.

Tkinter [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] – це стандартний модуль мови Python для створення графічного інтерфейсу GUI, використання якого надає можливість розробникам використовувати кнопки, меню, поля введення та інші елементи для взаємодії з користувачем. Перш за все зазначимо, що модуль tkinter є інтуїтивно зрозумілим для початківців, тому його часто використовують для створення нескладних програм з графічним інтерфейсом. Крім того, є можливість використання цього інструменту під управлінням сімейств операційних систем Windows, macOS і Linux. Tkinter, на відміну від, наприклад PyQt5 чи Pygame, входить у стандартну бібліотеку, тому не потрібно встановлювати додаткові пакети.

Модуль tkinter використовується для створення віконних застосунків, де реалізується стандартний інтерфейс користувача. Модуль надає можливість створювати ігри різної складності. Проте слід зауважити, що для розробки ігор з більш витонченою графікою, як правило, використовують інші модулі, наприклад Pygame. Проте для нескладних застосунків, таких як гра «FLIP-FLOP», засобів модуля tkinter цілком достатньо.

Гра «FLIP-FLOP» – це проста гра-головоломка, яка розвиває логічне мислення. Опишемо зміст гри. На ігровому полі, яке має форму квадрата розміром $n \times n$, розташовані двосторонні двоколірні фішки. При натисканні на фішку, вона сама та її сусіди по горизонталі та вертикалі перевертаються, внаслідок чого вони змінюють свій колір. Завдання полягає в тому, щоб досягти такого стану, коли всі фішки на полі будуть одного кольору.

На рис.1 наведено початковий варіант гри для ігрового поля 5×5 . Кінцева мета гри – натискаючи на фішку (у даному випадку у вигляді круга) зробити їх всі білими або синіми.

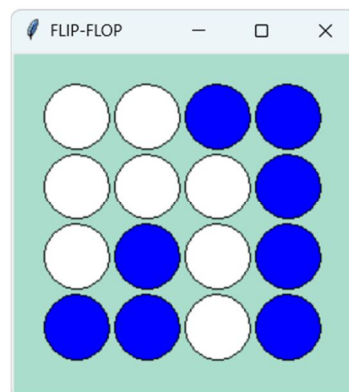


Рис. 1

Зауважимо, що не з кожної початкової позиції можна отримати бажаний результат. Якщо кольори фішок визначаються випадково, то досить часто задача може не мати рішення. Наприклад, коли на ігровому полі лише одна фішка відрізняється за кольором від інших. Щоб отримати позицію, з якої можна отримати бажаний результат, можна зробити так: спочатку усі фішки є одного кольору, а потім змодельовати кілька «ходів» гравця. Як наслідок, з отриманої позиції завжди можна отримати бажаний результат.

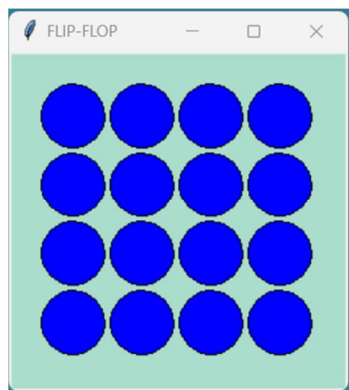
Для створення гри необхідно:

- визначити розмір ігрового поля (параметр n);
- розмір ігрового поля (параметр $size$ в пікселях);
- список кольорів для фішок (параметр $colors$)
- відступи від межі ігрового поля до фішки (параметр p).

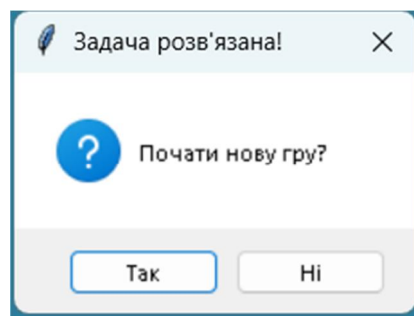
Для реалізації гри створимо класи Cell (клас фішки) та Game (клас гри).

Конструктор Cell отримує положення фішки та індекс її кольору у масиві кольорів $colors$, за методом $changeState$ «перевертається» фішка (змінюється колір фішки).

Конструктор Game створює двовимірний масив фішок «нульового» кольору» (колір, який є першим у списку кольорів *colors*). За методом *newgame* виконується кілька «ходів», щоб згенерувати позицію, з якої можна отримати бажаний результат. При цьому він викликає метод *reaction*, що фактично виконує один хід гравця. Цей же метод буде викликатися і в обробнику події миші. За методом *check* здійснюється перевірка, чи досягнуто бажаного результату (всі фішки одного кольору і гра завершена). Якщо всі фішки є одного кольору, то з'являється повідомлення із запитом про початок нової гри (рис.2).



а) Бажаний результат



б) Запит про початок нової гри

Рис. 2

Обробник події *onClick* визначає координати натискання миші та змінює колір фішки.

Програма використовує *Canvas* для графічного відображення фішок (кругів). Головний цикл *root.mainloop()* забезпечує неперервне виконання програми.

Наведемо кілька пояснень щодо гри. Гра реагує на натискання користувача, змінюючи стан фішок. Фішки зображуються як круги за допомогою *create_oval*. За методом *check* забезпечується логіка визначення завершення гри.

Розглянемо кілька важливих аспектів. Основною метою графічного інтерфейсу є полегшення взаємодії користувача з комп'ютером. Варто мінімізувати використання інструментів для створення інтерфейсу, обираючи лише ті, які найкраще підходять для конкретного випадку. Крім того, слід дотримуватися принципу «найменшого здивування»: форма інтерфейсу має відображати його поведінку, тобто бути інтуїтивно зрозумілою. Недосконалий інтерфейс здатен зіпсувати враження від програми, навіть якщо вона базується на ефективному алгоритмі. Інтерфейс має бути зручним для виконання типових дій користувача.

У грі «FLIP-FLOP», як і в багатьох інших застосунках, програма повинна реагувати лише на певний сигнал, тобто виконувати дію лише в разі настання конкретної події чи зміни стану.

Tkinter працює за принципом подіє-орієнтованого програмування: цикл обробки подій (програма чекає на події (наприклад, натискання кнопки) і виконує відповідні дії) та черга повідомлень (події додаються до черги, яка обробляється в циклі).

Події можуть бути викликані діями користувача, такими як робота з клавіатурою чи мишею, сигналами від зовнішніх пристроїв (наприклад, перехід принтера у стан готовності або отримання даних із мережі) чи повідомленнями від інших програм. У процесі виникнення подій об'єкти обмінюються повідомленнями між собою. Таким чином весь процес виконання програми визначається подіями, а не чітко заданим алгоритмом.

Звичайний режим роботи подіє-орієнтованої програми передбачає цикл обробки повідомлень. Усі повідомлення, зокрема від миші, клавіатури чи драйверів пристроїв введення-виведення, спочатку потрапляють до загальної черги повідомлень операційної системи. Крім того, операційна система створює для кожної програми окрему чергу, куди надсилає всі повідомлення, призначені саме для цієї програми.

Tkinter є частиною стандартного набору бібліотек Python, тому не потребує додаткового встановлення, легко інтегрується з Python, використовуючи об'єктно-орієнтований підхід. Tkinter містить набір основних віджетів для створення графічного інтерфейсу (кнопки – для виконання дій, мітки – для відображення тексту або зображення, поле введення – для введення тексту, меню – для створення меню і т.д.). Є можливість зміни їхніх властивостей (розмір, колір, шрифт тощо), підтримка подій (натискання клавіші, кліки миші). У tkinter реалізовано подіє-орієнтований підхід, де програма реагує на дії користувача через обробники подій.

Поряд з перевагами модуля Tkinter, вкажемо не деякі недоліки. Tkinter має обмежені можливості для створення сучасних інтерфейсів з витонченою графікою, відсутність підтримки складних анімацій чи 3D-графіки, є менш гнучким у порівнянні з іншими бібліотеками, такими як PyQt, Kivy чи Pygame.

1. Elder, J. *Tkinter Widget Quick Reference Guide*. Retrieved from <https://tkinter.com/books/TkinterWidgets.pdf>.

Король Тарас
Національний університет «Львівська політехніка»

КЛАСИФІКАЦІЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Зі зростанням урбанізації зростає й потреба в постійному моніторингу довкілля. Сучасні смартфони з вбудованими сенсорами (акселерометрами, мікрофонами, камерами, гіроскопами та GPS-модулями) дають змогу збирати, аналізувати й візуалізувати екологічні дані у реальному часі [1]. Це перетворює мобільні пристрої на потужні інструменти екомоніторингу, а спеціалізовані додатки на доступні засоби екологічної оцінки для широкого кола користувачів.

Однією з сфер, у якій додатки для смартфонів особливо ефективні, є моніторинг якості повітря. Завдяки вбудованим датчикам, таким як GPS, акселерометри та датчики зовнішнього освітлення, смартфони здатні надавати дані про якість повітря. Користувачі можуть використовувати ці додатки для отримання актуальної інформації про стан повітря у своєму районі, щоб вирішити, чи безпечно виходити на вулицю.

Не менш значущим є використання смартфонів для моніторингу шумового забруднення. Використовуючи мікрофон пристрою, вони можуть вимірювати рівень навколишнього шуму та визначати джерела надмірного шуму. Це не лише дає змогу користувачам уникати шумних місць, а й допомагає виявляти та фіксувати осередки шумового забруднення.

У сфері моніторингу води смартфони зі спеціальними сенсорами можуть використовуватись для оцінки якості водних джерел. Користувачі можуть збирати дані щодо таких параметрів, як рівень рН, каламутність і вміст розчиненого кисню, використовуючи зовнішні пристрої або вбудовані сенсори. Такий підхід до моніторингу якості води дозволяє користувачам активно долучатися до захисту водних ресурсів і повідомляє про забруднення чи зміни у воді.

Смартфони стають незамінними помічниками і в аналізі стану ґрунтів – важливого ресурсу для сільського господарства. Завдяки додаткам, які використовують дані з вбудованих або зовнішніх датчиків (наприклад, вологоміри або рН-метри), користувачі можуть швидко оцінювати ключові показники ґрунту. Серед них: рівень вологості, кислотність, вміст азоту, фосфору та інших поживних речовин.

Крім того, додатки для смартфонів відіграють суттєву роль у моніторингу погодних умов. Завдяки функції GPS пристрої можуть забезпечити точний прогноз погоди, надаючи користувачам локальні оновлення. Це особливо важливо при підготовці до надзвичайних ситуацій і реагуванні на них, оскільки дозволяє оперативно інформувати населення та ефективно планувати дії під час екстремальних погодних умов.

Інтеграція додатків для смартфонів у систему моніторингу довкілля допомагає формувати у людей відповідальне ставлення до навколишнього середовища. Додатки для смартфонів здійснили справжній прорив в галузі моніторингу довкілля, пропонуючи універсальні інструменти, які дозволяють людям активно долучатися до захисту довкілля. Ці додатки використовують можливості сучасних смартфонів – GPS, сенсори та підключення до мережі для збору, аналізу й поширення екологічних даних у реальному часі. Інтеграція технологій у сферу моніторингу довкілля зробила доступ до інформації відкритим, перетворивши звичайних користувачів на учасників наукових досліджень [1].

Одним із найважливіших аспектів використання додатків для смартфонів у моніторингу довкілля є оцінка якості повітря. Такі додатки, як *IQAir AirVisual*, *AQI (Air Quality Index)*, *Plume Labs* та *Airly*, використовують сенсори смартфонів для визначення концентрації забруднювальних речовин, вимірюючи зважені частки (PM – particulate matter), оксид азоту (NO₂) та озон (O₃). Користувачі можуть отримувати актуальну інформацію про якість повітря та повідомлення про небезпечні рівні забруднення.

Додатки для боротьби з шумовим забрудненням також займають важливе місце, оскільки ця проблема є поширеною в міському середовищі. Наприклад, *OpenNoise*, *Sound Meter*, *NoiseCapture* і *SoundPrint* використовують мікрофони смартфонів для вимірювання та нанесення на карти рівнів шуму. Користувачі можуть долучатися до створення шумових мап, підвищуючи обізнаність про вплив шуму на здоров'я та сприяючи формуванню тихішого міського середовища.

Оцінка якості води – ще одна важлива сфера, у якій додатки для смартфонів відіграють важливу роль. Програми *YDOR Water Quality*, *VuSitu Water Monitoring* та *HydroColor: Water Quality* дозволяють користувачам відслідковувати й оцінювати стан водних ресурсів, вводячи дані з тестів або за допомогою спеціальних сенсорів (вбудованих або зовнішніх). Це підтримує розвиток громадянської науки, даючи людям змогу фіксувати тенденції забруднення води та поширювати відповідальні підходи до її використання.

Додатки для відстеження біорізноманіття використовують GPS і камери смартфонів, дозволяючи користувачам фіксувати та ділитися спостереженнями за рослинами, тваринами й комахами. Платформи *Flora Incognita*, *PlantNet Plant Identification*, *iNaturalist* та *eBird* залучають громадян до збору даних про біорізноманіття, допомагають зберігати природу та надають цінну інформацію про поширення та стан різних видів.

Оцінка стану ґрунтів – ще одна важлива сфера, у якій мобільні додатки відіграють роль в екологічному моніторингу. Програми *Soil for Science*, *Digital Soil Classification*, *LandPKS Soil ID* та *Soils Classification* дозволяють користувачам оцінювати склад, вологість, pH і рівень поживних речовин у ґрунті. Збір даних здійснюється шляхом введення результатів аналізів або зчитування показників із зовнішніх сенсорів. Це сприяє ефективному управлінню земельними ресурсами, дозволяє своєчасно виявляти деградацію ґрунтів, оптимізувати використання добрив і води.

Додатки для моніторингу змін клімату надають користувачам дані про погодні умови, температурні тенденції та кліматичні явища. Програми *Погода & Радар: radar дощ*, *Windy.com*, *WhatWeather* та *Метеостанція* не лише інформують про поточні та прогнозовані зміни клімату, а й заохочують користувачів ділитися власними спостереженнями, створюючи платформу для колективного збору даних і підвищення екологічної свідомості.

На рис. 1. наведено діаграми, що ілюструють загальну кількість найпоширеніших екологічних додатків для України та їх розподіл за категоріями. Це дає змогу швидко оцінити популярність різних рішень серед користувачів і побачити, які напрями моніторингу довкілля найширше представлені на платформі. Водночас слід зазначити, що отримані дані є наближеними – вони зібрані за допомогою автоматизованого коду й відображають результати за певними пошуковими запитами, тому не охоплюють усіх додатків на Play Market [2].



Рис. 1. Розподіл кількості додатків за категоріями у Play Market.

Щоб полегшити порівняння додатків у сфері екологічного моніторингу, їх доцільно групувати за категоріями. Це дасть змогу користувачам зосередитися на тих, що найбільше відповідають їхнім інтересам. Запропоновано застосовувати різні підходи до класифікації мобільних додатків для моніторингу довкілля. У даному випадку було обрано дві категорії: за технологічною складністю та за типом взаємодії між користувачем і пристроєм [3].

1) Тип технології:

- Базові додатки для спостереження – найпростіші рішення, які працюють без додаткових пристроїв. Зазвичай це застосунки для фіксації фото чи відео з можливістю додати власні коментарі.
- Інтелектуальні додатки – більш «просунуті» застосунки, які використовують GPS, аналіз зображень або дані з карт для кращого розуміння того, що бачить користувач.
- Готові сенсори – зовнішні пристрої, які легко підключити до смартфона. Вони одразу починають працювати та показують конкретні показники – вологість, pH, шум тощо.

2) Рівень участі користувача:

- Краудсорсинг: просто зафіксуй – користувачі діляться даними (фото, аудіо), а подальшу аналітику виконують фахівці. Ідеально для участі у громадянській науці.
- Особистий помічник – додатки самостійно обробляють і подають зрозумілі результати, тож користувачу не потрібно бути експертом.
- Розумні підказки для рішень – додатки поєднують дані користувача й місцевості, щоби надати практичну інформацію для, наприклад, фермерства чи управління природними ресурсами.
- Мобільна лабораторія – рішення для тих, хто розуміється на темі: науковців, екологів, медиків. Такі пристрої дозволяють проводити комплексні вимірювання просто на місці події.

Застосування вищезазначеної класифікації наведено в Таблиці 1 з двома критеріями – технологічною складністю та типом взаємодії. У ній подано кожен категорію та приклади додатків, що їм відповідають.

Пропуски в таблиці зумовлені тим, що для деяких поєднань рівня технологічної складності й типу взаємодії не існує широкодоступних або масово використовуваних рішень.

Сучасні смартфони об'єднують різноманітні вбудовані (оптичні, акустичні, електрохімічні) та зовнішні сенсори, здатні збирати й обробляти дані в режимі реального часу. Саме завдяки цій гнучкій апаратно-програмній платформі мобільні додатки можуть охоплювати всі згадані категорії моніторингу та масштабуватися для участі користувачів у наукових дослідженнях. Ці технічні можливості закладають основу для формування справжніх мобільних лабораторій на базі смартфонів [4].

Класифікація мобільних додатків для моніторингу довкілля

Тип технології	Краудсорсинг	Особистий помічник	Розумні підказки	Мобільна лабораторія
Базові додатки	PlantNet Plant Identification;	Sound Meter;	Погода & Радар: радар дощу; Windy.com;	—
Інтелектуальні додатки	SoundPrint; iNaturalist; eBird;	OpeNoise; NoiseCapture; Flora Incognita; Метеостанція;	IQAir AirVisual; AQI (Air Quality Index);	HydroColor: Water Quality; Digital Soil Classification;
Готові сенсори	WhatWeather;	Plume Labs; Airly;	LandPKS Soil ID;	YDOR Water Quality; VuSitu Water Monitoring; Soil for Science; Soils Classification;

Мобільні додатки поєднують доступність широкої аудиторії з вбудованими сенсорами. Вони залучають окремих користувачів, громади та організації до активного збору й аналізу даних щодо якості повітря, води та стану біорізноманіття. Завдяки отриманню і обробці інформації в режимі реального часу такі рішення дають змогу швидко виявляти екологічні загрози й оперативно впроваджувати відповідні заходи.

Висновки

Смартфони стали зручним інструментом екологічного моніторингу завдяки вбудованим сенсорам, які дають змогу у реальному часі оцінювати якість повітря, рівень шуму, стан водних ресурсів, ґрунтів та погодні умови. Спеціалізовані додатки залучають користувачів до збору даних, перетворюючи їх на активних учасників громадянської науки. В тезах запропонована класифікація за технологічною складністю (від базових до професійних рішень) та рівнем участі (краудсорсинг, особистий помічник). Залучення смартфонів до моніторингу довкілля сприяє формуванню екологічної свідомості, оперативному виявленню загроз і забезпеченню стійкості міського середовища. Проведено огляд та аналіз можливостей сучасних додатків.

1. Wolniak, R., Jonek-Kowalska, I., & Grebski, W. (2023). Environmental monitoring in smart city – smartphone applications aspects. *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, 2023(185). <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.185.35>

2. Додатки Android у Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps?hl=uk> (дата звернення: 30.04.2025).

3. Aitkenhead, M., Donnelly, D., Coull, M., & Hastings, E. (2014). Innovations in environmental monitoring using mobile phone technology – A review. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 8(2), 42. <https://doi.org/10.3991/ijim.v8i2.3645>

4. Li, F., Bao, Y., Wang, D., Wang, W., & Niu, L. (2016). Smartphones for sensing. *Science Bulletin*, 61(3), 190–201. <https://doi.org/10.1007/s11434-015-0954-1>

Котляров Олександр, Бортнік Леонід
Національний університет «Львівська політехніка»

РОЛЬ СИСТЕМ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ОХОРОНІ ЕКОЛОГІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ІНФРАСТРУКТУР

В період активної цифровізації екологічна безпека дедалі більше залежить від роботи автоматизованих систем моніторингу довкілля. Йдеться про платформи збору та аналізу даних про якість повітря, води, стан ґрунтів, викиди CO₂, рівень радіації, управління відходами, енергоефективність у містах, а також раннє виявлення надзвичайних ситуацій, таких як

повені, пожежі, хімічні аварії тощо [1, 2]. Більшість таких систем функціонують у розподілених віртуалізованих середовищах із широким використанням IoT, SCADA, хмарних рішень та мобільних застосунків. У результаті вони стають вразливими до кіберзагроз, що можуть призвести до спотворення екологічних даних, блокування роботи сенсорних мереж або зриву роботи критичних об'єктів [3].

Захист екологічних IT-систем досягається впровадженням комплексної кібербезпекової архітектури:

1. Системи виявлення загроз.

- SIEM-системи (Security Information and Event Management), такі як Splunk або Wazuh [4], дозволяють централізовано збирати журнали подій з усіх елементів екологічної IT-інфраструктури, аналізувати їх у реальному часі та виявляти потенційні інциденти безпеки.

- Системи IDS/IPS, такі як Snort чи Suricata, аналізують мережевий трафік і виявляють спроби несанкціонованого доступу або підозрілу активність, запобігаючи компрометації систем SCADA чи IoT [5, 6].

2. Захист кінцевих точок.

- EDR-рішення (Endpoint Detection and Response), наприклад CrowdStrike або Microsoft Defender for Endpoint [7], використовуються для захисту серверів і робочих станцій, які обробляють екологічні дані. Ці рішення дозволяють виявляти загрози на рівні пристрою, проводити аналіз інцидентів, ізолювати зараження та виконувати відновлення системи.

3. Контроль доступу і трафіку.

- NGFW (Next-Generation Firewall), такі як Fortinet або Palo Alto [8], надають функції глибокої перевірки трафіку [9], фільтрувати пакети на рівні додатків, блокувати відомі експлойти та контролювати специфічні екосистеми (наприклад, протоколи IoT або SCADA).

- Рішення IAM (Identity and Access Management) забезпечують автентифікацію, авторизацію та аудит доступу, зокрема використання політик на основі ролей, багатофакторної автентифікації (MFA) та автоматичного блокування сесій [10].

4. Захист хмарних сервісів.

- CASB (Cloud Access Security Broker) контролює безпечний доступ до хмарних екосистем [11].

- CWPP (Cloud Workload Protection Platform) захищає робочі навантаження в хмарах, включно з віртуальними машинами, контейнерами і serverless-функціями.

5. Криптографічний захист і протоколи безпеки.

- Протоколи TLS, IPsec, SSH та VPN забезпечують захищене передавання даних між сенсорами і серверами [12].

6. Відповідність міжнародним стандартам.

- Стандарт ISO/IEC 27001:2022 передбачає впровадження СУІБ [10].

- Стандарт NIST CSF (Cybersecurity Framework) формує структуру захисту інформаційних активів в екологічній галузі [13].

7. Автоматизоване реагування.

- SOAR-платформи автоматизують реагування на кіберінциденти [14], а центри SOC забезпечують цілодобовий моніторинг [15].

Науково-прикладні проблеми кібербезпеки в екологічних інформаційних системах. Із впровадженням IoT, SCADA, хмарних сервісів та мобільних застосунків в екологічному моніторингу зростає не лише обсяг даних, але й поверхня атак. Сучасні виклики полягають у захисті поточкових даних у реальному часі, забезпеченні цілісності даних з польових сенсорів, автентичності джерел, а також у протидії перехопленню чи підміні критичної екологічної інформації.

До основних науково-прикладних завдань належать:

- Моделювання сценаріїв атак на екологічні мережі.
- Побудова кіберстійких екомоніторингових платформ.
- Адаптація інструментів SIEM, SOAR, IDS до специфіки екоданих.
- Розробка легких криптографічних протоколів для енергообмежених пристроїв.

До ключових ризиків кіберзахисту таких систем належать:

- Підміна даних моніторингу (data spoofing), що може призвести до прийняття хибних управлінських рішень (наприклад, приховування викидів або аварій).
- Несанкціонований доступ до сенсорних мереж – отримання контролю над фізичними пристроями моніторингу повітря, води, ґрунтів.
- Перехоплення екологічних даних у каналах зв'язку, особливо при слабких або застарілих методах шифрування.
- DDoS-атаки на хмарні сервіси, де зберігається аналітика або історія екологічних показників.
- Витік даних громадян, якщо екомоніторинг пов'язаний із мобільними застосунками для населення (напр., повідомлення про забруднення або оповіщення).
- Залежність від сторонніх API або відкритих джерел, які можуть бути підконтрольні стороннім структурам або стати вектором атаки.
- Вразливості у SCADA/PLC-компонентах, що застосовуються в автоматизованих екологічних або енергетичних системах.
- Відсутність процедури кіберінцидент-менеджменту – несвоєчасне реагування на спроби втручання.
- Фізичне знищення чи компрометація вузлів (edge computing devices) – як елемент гібридних загроз.

Висновок. Інформаційна та кібербезпека в сфері екологічного моніторингу набуває дедалі більшого значення, адже технологічна еволюція приводить до зростання складності цифрової інфраструктури, а також розширення поверхні потенційних атак. Уразливості IoT-пристроїв, відкритість каналів зв'язку, залежність від хмарних сервісів і взаємодія з мобільними користувачами створюють умови, за яких навіть незначний кіберінцидент може призвести до масштабних наслідків – від хибних екологічних рішень до зриву реагування на надзвичайні ситуації.

Комплексна архітектура безпеки, яка включає SIEM, SOAR, IDS/IPS, NGFW, EDR, CASB, CWPP та сучасні криптографічні протоколи, дозволяє не лише захистити інфраструктуру, а й забезпечити надійність екологічних даних, які є критично важливими для сталого розвитку, збереження довкілля і захисту здоров'я громадян. Важливо не лише впроваджувати технологічні рішення, але й адаптувати їх до специфіки екологічної галузі, дотримуватись міжнародних стандартів та розвивати процедури інцидент-менеджменту.

Таким чином, формування стійкої системи кіберзахисту в екологічних інформаційних системах має розглядатись як пріоритет на державному, регіональному та муніципальному рівнях – із залученням як державних органів, так і приватного сектору. Лише синергія технологій, політик безпеки та інституційної відповідальності дозволить забезпечити цифрову стійкість екологічної інфраструктури перед новими кіберзагрозами.

1. EU4DigitalUA. (2023). *Захист екологічних даних в умовах цифровізації: Аналітичний звіт*. URL: <https://eufordigital.ua/library/zahyst-ekologichnyh-danyh-v-umovah-czyfrovizacziyi>

2. КУБГ. (2019). *Інформаційні технології в екології: Навчальний посібник*. URL: <https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/eco/eco-it-book.pdf>

3. ENISA. (2023). *Threat Landscape for Information Systems*. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-for-information-systems>

4. Brandstaetter, S. (n.d.). *Understanding Wazuh*. URL: <https://osintph.medium.com/understanding-wazuh-for-security-monitoring-c3b7e83258e3>

5. Очеретний, С. О., Крижановський, В. Г. (2024). *Системи виявлення вторгнень: практики. Прикладні дослідження*. URL: <https://doi.org/10.12345/prikladni-doslidzhennia-ids>

6. IDS vs. IPS. (n.d.). *Definitions & Why You Need Both*. URL: <https://www.okta.com/identity-101/ids-vs-ips>

7. Шуліка, К. та ін. (2023). Метод використання сучасних систем EDR. URL: <https://edr-security.in.ua/shulyka>
8. Lamdakkar, O. et al. (2024). Toward a modern secure network based on next-generation firewalls. *Procedia Comp. Sci.* URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.111>
9. Coro. (n.d.). What is a Next-Generation Firewall? URL: <https://www.coro.net/blog/what-is-a-next-generation-firewall>
10. SO. (2022). ISO/IEC 27001:2022 – Інформаційні технології – Системи управління інформаційною безпекою. URL: <https://www.iso.org/standard/27001>
11. DeCarlo, A. L. (n.d.). CASB vs. CSPM vs. CWPP: Comparing cloud security tool types. *TechTarget*. URL: <https://www.techtarget.com/searchcloudsecurity/tip/CASB-vs-CSPM-vs-CWPP-Cloud-security-tools>
12. Жилін, А. В., Шаповал, О. М. (2021). Технології захисту інформації в IT-системах. Київ: Політехніка. URL: <https://library.kpi.ua/zakhyst-informatsii-politekhnika-2021>
13. NIST. (n.d.). Cybersecurity Framework. URL: <https://www.nist.gov/cyberframework>
14. Akhtar, S., Bhattacharya, S. (2021). Cyber Security Solutions for Financial Services. *IJBIR*. URL: <https://ijbir.com/cybersecurity-finance-2021>
15. Котляров, О. Ю., Бортнік, Л. Л. (2024). Порівняльний аналіз сучасних систем захисту віртуальних мереж та їх методології. *Сучасний захист інформації*, 4(60), 60–72. DOI: <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2024.040007>

Криштоп Євген
Державний біотехнологічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ: МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД

Сучасні екологічні виклики зумовлюють необхідність впровадження IT-рішень для моніторингу, прогнозування змін довкілля та підтримки управлінських рішень. Геоінформаційні системи, дистанційне зондування, моделі клімату, сенсори (IoT) і методи Big Data розширюють можливості екологічної науки. У тезах представлено аналіз міжнародного та українського досвіду застосування зазначених цифрових інструментів у сфері екологічного моніторингу, з акцентом на їх ефективність, доступність і потенціал для подальшого розвитку.

Геоінформаційні системи (ГІС) є основним інструментом екологічної інформатики, що забезпечує збір, зберігання, аналіз і візуалізацію просторових екологічних даних. ГІС підтримують інтегрований аналіз екосистем і просторове планування, сприяючи прийняттю рішень у природоохоронній сфері. Платформи на кшталт ArcGIS і QGIS дозволяють виконувати геостатистичний аналіз і моделювання екологічних ризиків [1].

В Україні ГІС активно впроваджуються у сферу екологічного моніторингу. Розроблено концепції національної ГІС-системи, що інтегрує дані про повітря, воду та ґрунти в єдину геопросторову базу [2]. Система передбачає об'єктивність, багаторівневість, сумісність показників і оперативне оновлення. На практиці, з використанням ГІС створено карти розподілу індексу якості повітря (AQI) для PM_{2.5}, що дозволяє виявляти зони забруднення та відстежувати їхню динаміку.

Сучасні тенденції розвитку ГІС передбачають їх інтеграцію з дистанційним зондуванням і веб-технологіями, зокрема для створення веб-порталів відкритих екоданих. Перспективним є включення ГІС до систем підтримки рішень, доповнених моделями та штучним інтелектом. Окрім просторових систем (ГІС), важливою складовою сучасного екологічного моніторингу є

дистанційне зондування Землі, яке забезпечує регулярне оновлення даних про довкілля з великого масштабу.

Дистанційне зондування Землі – це процес отримання інформації про об'єкти або явища на поверхні Землі без безпосереднього контакту з ними [3]. Нині технологія зазнала значного розвитку завдяки запуску нових супутників із високою роздільною здатністю (*Sentinel*, *Landsat*) [4, 5]. Відкритий доступ до супутникових даних дає змогу оперативно моніторити стан довкілля на різних просторових рівнях з високою точністю. Ці дані є ключовими для картування змін земного покриву, урбанізації та деградації екосистем, що сприяє своєчасному реагуванню й оцінці природоохоронних заходів.

В Україні найбільш поширеними джерелами супутникових даних є *Landsat* і *Sentinel* завдяки відкритому доступу, тривалому часовому ряду та прийнятній роздільній здатності [5]. Їх використовують для оцінки екологічних змін, зокрема після бойових дій, через розрахунок індексів (NDVI, NDWI, NDBI), що дозволяє кількісно характеризувати стан екосистем і виявляти деградацію. Окрім оптичних, все більшого значення набувають радарні дані (*Sentinel-1* та інші *PCA*-супутники), які забезпечують спостереження за поверхнею Землі за будь-яких погодних умов і вночі. У поєднанні з оптичними знімками це дозволяє комплексно оцінювати екологічний стан.

ДЗЗ в Україні реалізується на національному рівні через Національний центр управління космічними засобами та геопортали (наприклад, *Geoportal UA*), що надають супутникові знімки й аналітичні продукти. У 2022–2023 рр. ДЗЗ активно використовували для фіксації екологічних збитків від війни, що підкреслює його значення для моніторингу та відновлення довкілля.

Аналітичні інструменти ДЗЗ постійно вдосконалюються. Зокрема, платформа *Google Earth Engine* надає доступ до супутникових архівів і хмарних обчислень, що дозволяє ефективно моделювати екологічні зміни без потреби у власній інфраструктурі. ДЗЗ стало ключовим елементом систем моніторингу довкілля, забезпечуючи оперативність, масштабність і точність оцінок. Дані ГІС і ДЗЗ створюють основу для моделювання екологічних змін. Особливе значення має чисельне моделювання клімату, що дозволяє прогнозувати довгострокові наслідки антропогенного впливу.

Комп'ютерне моделювання клімату є критично важливим інструментом для розуміння довгострокових глобальних змін довкілля та прогнозування їх наслідків. Кліматичні моделі – це складні програми, які математично описують фізичні процеси в атмосфері, океані, на суходолі та в кріосфері і дозволяють провести чисельний експеримент: наприклад, з'ясувати, як зміниться кліматична система при подвоєнні концентрації CO₂ або за різних сценаріїв викидів парникових газів [6].

Моделі CMIP6, підтверджені Шостим звітом IPCC [7], свідчать про антропогенний характер потепління. За відсутності суттєвого скорочення викидів глобальна температура може перевищити +1,5 °C уже найближчим часом і сягнути понад 4 °C до кінця століття. Окрім глобальних, використовують регіональні моделі (зокрема CORDEX для України), які прогнозують підвищення температури, зміну опадів, посухи на півдні й сході, а також скорочення тривалості снігового покриву. Ці оцінки є основою адаптаційного планування.

Україна поки не має власних глобальних моделей, однак науковці беруть участь у міжнародних дослідженнях і аналізують результати на національному рівні. Варто згадати, що Український гідрометеорологічний інститут виконував моделювання можливих змін клімату в Україні за даними глобальних моделей – ці оцінки включені до Другого та Третього Національного повідомлення з питань зміни клімату (документи для РКЗ ООН).

Перспективним напрямом є використання машинного навчання для оптимізації кліматичних моделей. Розробляються гібридні підходи, де окремі процеси (наприклад, конвекція чи хмарність) параметризуються за допомогою нейронних мереж для підвищення швидкодії без втрати точності. Також досліджуються сурогатні ML-моделі, що замінюють повні симуляції для швидкої оцінки сценаріїв. Обидва підходи потребують подальшої валідації.

В цілому, кліматичне моделювання зараз – це синтез різноманітних інструментів та методик. Як зазначають Bordonì та ін. [6], для прориву в цьому напрямі важливо використовувати

комплекс різних підходів, адже жоден окремий шлях не дасть повної картини. Поєднання традиційних фізичних моделей з новими обчислювальними підходами (big data аналіз, машинне навчання) та міждисциплінарна співпраця відкривають шлях до більш достовірних прогнозів клімату і, як наслідок, більш обґрунтованих рішень для захисту довкілля в умовах змінного клімату. Хоча кліматичні моделі працюють на глобальному рівні, моніторинг на місцях забезпечується сенсорними мережами та IoT-пристроями, які фіксують зміни в реальному часі безпосередньо у середовищі.

Інтернет речей (IoT) та бездротові сенсорні мережі здійснили значні зміни в зборі екологічних даних *in situ*. Традиційні системи моніторингу (наприклад, метеостанції чи пости спостереження за якістю води) зазвичай малорухомі, дорогі і розріджені. Натомість сучасні датчики малого розміру, оснащені бездротовим зв'язком і живленням від батарей або сонячних панелей, можна розгорнути у великій кількості, створивши щільну мережу вимірювань у режимі реального часу [8]. Концепція IoT передбачає підключення таких пристроїв до інтернету для автоматичного передавання даних на сервери, де вони зберігаються і аналізуються.

Сенсорні мережі широко застосовують для моніторингу міського середовища. У містах сенсори фіксують основні параметри якості повітря, шуму та мікроклімату. Такі системи вже працюють у багатьох мегаполісах, забезпечуючи деталізовану інформацію про якість повітря на рівні районів і вулиць.

В Україні також зростає кількість громадських ініціатив з розміщення датчиків якості повітря (наприклад, мережа *SaveEcoBot Air*): хоча ці сенсори менш точні, їх велика кількість і відкритість даних дозволяють виявляти проблемні зони і оперативно реагувати на інциденти (пожежі на сміттєзвалищах, викиди на підприємствах тощо). IoT-технології застосовують для моніторингу водних систем: датчики у річках і прибережних зонах фіксують pH, вміст кисню, електропровідність і хімічні домішки, що дозволяє оперативно виявляти забруднення. Бездротові сенсорні мережі особливо ефективні у важкодоступних і небезпечних зонах. У заповідниках вони фіксують рух або звук для виявлення тварин чи бракон'єрів. У вулканології та гідрології датчики попереджають про зсуви й повені.

IoT-системи генерують великі обсяги телеметричних даних, які обробляються на хмарних платформах для забезпечення оперативного реагування на екологічні зміни. У сфері екології це дозволяє автоматично реагувати, наприклад, через сповіщення про перевищення допустимих рівнів забруднення. Подібні рішення вже застосовують для моніторингу викидів на промислових об'єктах.

З 2021 року в Україні розпочато впровадження IoT для екологічного моніторингу. Так, у Києві запущено пілотну систему контролю якості повітря (~50 датчиків). Подібні рішення впроваджуються для моніторингу викидів у кількох містах, зокрема у Львові, Дніпрі та Маріуполі. В аграрному секторі великі компанії інтегрують сенсори погодних умов і стану ґрунтів в IT-системи. Перспективним напрямом є створення національних мереж, зокрема автоматизованого моніторингу вод, що наразі перебуває на етапі розробки.

Усі ці приклади свідчать про зростаючу роль цифрових технологій в охороні довкілля не лише на локальному, а й на глобальному рівні. Ці технології доповнюють класичні методи, створюючи динамічну систему екологічного нагляду. Серед основних викликів – сумісність пристроїв, кібербезпека та обробка великих обсягів даних. Водночас переваги – підвищена інформованість і ефективність реагування – роблять IoT невід'ємною складовою сучасних екологічних інформаційних систем.

Акумуляування інформації про стан довкілля з різноманітних джерел (супутники, датчики, спостереження, моделі) сприяло формуванню великих даних (Big Data) у сфері екології. Обробка таких обсягів інформації традиційними засобами стає дедалі менш ефективною, тому дедалі більшу увагу привертають алгоритми машинного навчання (ML) та штучного інтелекту (AI). Світовий досвід демонструє ефективність поєднання IoT з інструментами AI для підвищення точності, достовірності та інформативності екологічних спостережень. Шляхом обробки сигналів з численних датчиків за допомогою ML-алгоритмів можна фільтрувати шум, калібрувати

вимірювання, та, що найважливіше, – трансформувати неструктуровані дані у релевантну інформацію для прийняття рішень.

Дослідники зазначають [9], що поєднання IoT з AI вже ефективно використовується для моніторингу стану довкілля. Зокрема, AI-системи на базі сенсорних мереж здатні виявляти забруднюючі речовини та аналізувати їх джерела в режимі реального часу. Це забезпечує своєчасне реагування на екологічні ризики, мінімізуючи шкоду для екосистем і здоров'я людей. В екологічних дослідженнях останніх п'яти років спостерігається стрімке зростання застосування ML – від екології популяцій до кліматології [10].

Великі дані в екології охоплюють як структуровану (метеоспостереження), так і неструктуровану інформацію (зображення, аудіо, тексти), що відзначається обсягом, швидкістю та різноманітністю. Для їх аналізу застосовують методи ML: кластеризацію, дерева рішень, нейронні мережі. Глибоке навчання дає змогу автоматизувати біомоніторинг – розпізнавати види тварин, виявляти вирубки, ідентифікувати голоси. У кліматології ML забезпечує підвищену роздільність прогнозів (суперрезолюція) та створення гібридних моделей. В екоотоксикології воно допомагає виявити зв'язки між забрудненням і станом здоров'я, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень у сфері довкілля та охорони здоров'я.

Попри потенціал, застосування ML в екології має низку обмежень. Алгоритми часто функціонують як «чорні ящики», що ускладнює інтерпретацію результатів – важливо не лише прогнозувати, а й розуміти причинно-наслідкові зв'язки. Бракує якісних навчальних даних для рідкісних видів чи віддалених регіонів, а моделі, навчені на одній території, можуть не працювати в інших умовах. Якість вхідних даних критично важлива: неточна або неповна інформація знижує достовірність результатів. Ці виклики долають шляхом розвитку пояснюваного AI, вдосконалення збору даних та інтеграції ML із традиційними моделями [9].

Українські дослідники починають впроваджувати ML в екологічні задачі. З'являються роботи, де методами машинного навчання аналізується якість води у річках, прогнозується ріст популяцій рідкісних видів, класифікуються типи землекористування на супутникових знімках тощо. На практиці ML вже допомагає, наприклад, автоматизувати перевірку екологічних звітів: за даними ПРООН, в Україні алгоритми ML були застосовані для перевірки тисяч звітів про пошкодження інфраструктури з метою оцінки екологічних збитків війни, що значно прискорило цей процес [11]. Великі дані та штучний інтелект стають ключовими елементами сучасної екологічної науки. Вони дозволяють аналізувати складні масиви інформації, покращувати прогнози та підвищувати ефективність моніторингу. Хоча ML-моделі потребують ретельної валідації, вже зараз вони допомагають краще розуміти довкілля та оптимізувати природоохоронні дії [12]. У перспективі очікується ще глибша інтеграція AI – від систем підтримки рішень до автономних платформ для екологічного нагляду.

Таким чином, інтеграція цифрових технологій формує комплексну систему моніторингу довкілля, що охоплює просторовий аналіз, моделювання, прогнозування та оперативне реагування. Інтегроване використання ГІС, ДЗЗ, IoT і ML формує нову екологічну аналітику, що є критично важливим для забезпечення сталого природокористування, адаптації до змін клімату та відновлення екосистем після війни.

1. Le Hoang Tu et al. (2023). GIS Application in Environmental Management: A Review. VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, 39(2). <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4957>

2. Bondarenko E., Yatsenko O. (2020). GIS in environmental monitoring tasks. Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Серія Географія, (76/77), с. 79–86. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.14>

3. Альперт, С. І. (2024). Новітні методи обробки даних дистанційного зондування Землі. Системи та технології, 68(2), 140-146. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2024-2-68.16>

4. Пасічник, Д. Я. Є., & Онойко, Ю. Ю. (2024). Найважливіші супутникові системи дистанційного зондування Землі та їх можливості. Наукові записки молодих учених, (13). <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/2143/2188>

5. Kryvokhyzha Y., Kutia M., Khmeliianchyshyn Y., Hrytsyk O., Hlevaskiy V. (2024). Applications of Earth Remote Sensing for Natural Resource Monitoring in Ukraine. *Nativa (Brazil)*, 12(4), 744–754. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i4.18355>
6. Bordoni S., Kang S.M., Shaw T.A., Simpson I.R., Zanna L. (2025). The futures of climate modeling. *npj Climate and Atmospheric Science*, 8:99. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00955-8>
7. IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC* (eds. V. Masson-Delmotte et al.). Cambridge Univ. Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
8. Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of monitoring and control systems based on internet of things. *Applied Sciences*, 14(19), 8943. <https://doi.org/10.3390/app14198943>
9. Popescu S.M. et al. (2024). Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management. *Frontiers in Environmental Science*, 12:1336088. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1336088>
10. Pichler M., Hartig F. (2023). Machine learning and deep learning – A review for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(4), 994–1016. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14061>
11. Завдяки алгоритму машинного навчання і великим даним перевіряють звіти і збирають відомості про пошкоджену війною інфраструктуру в Україні. <https://www.undp.org/uk/ukraine/blog/ukraine-machine-learning-algorithms-and-big-data-scans-used-identify-war-damaged-infrastructure>
12. Богайчук П., Рудніченко М., Отрадська Т. (2024). Розробка інформаційної системи з аналізу екологічних даних на базі машинного навчання. Матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф. «Education and Science of Today: Intersectoral Issues and Development of Sciences» (Кембридж, 18.10.2024), с. 232–236. <https://doi.org/10.36074/logos-18.10.2024.053>

^{1,2}Олег Кузик, ²Олеся Даньків, ¹Леся Угрин

¹ *Навчально-науковий інститут просторового планування та перспективних технологій Національного університету «Львівська політехніка»,*

² *Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка*

ВИКОРИСТАННЯ WOLFRAM MATHEMATICA ТА ГЛИБИННОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СЕНСОРІВ ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ТОЧОК

Сучасні екологічні проблеми, пов'язані зі змінами клімату, забрудненням навколишнього середовища, виснаженням природних ресурсів та втручанням людини у природні екосистеми, вимагають застосування інструментів для моделювання, аналізу та прогнозування стану довкілля. Одним із таких інструментів є Wolfram Mathematica – потужне середовище для математичного моделювання, візуалізації та симуляцій, яке дозволяє ефективно розв'язувати прикладні задачі екології.

Wolfram Mathematica широко використовується для створення математичних моделей екологічних процесів: від моделювання змін популяцій у біоценозах до аналізу забруднення повітря, ґрунтів та водних ресурсів. Програмне середовище дозволяє легко будувати системи диференціальних рівнянь, проводити чисельні експерименти, використовувати методи статистики та машинного навчання для аналізу екологічних даних.

Одним із базових напрямків застосування Wolfram Mathematica є моделювання динаміки екосистем. Наприклад, для вивчення взаємодії хижаків та жертв застосовується класична модель Лотки-Вольтерри, яка дозволяє аналізувати зміну чисельності видів залежно від часу та зовнішніх факторів. Mathematica надає зручні інструменти для побудови графіків, фазових діаграм та анімацій, що візуалізують ці процеси.

Ще одним важливим прикладом є моделювання розповсюдження забруднювачів у природних середовищах. Використовуючи диференціальні рівняння переносу маси та тепла, засобами Mathematica можна описати поведінку шкідливих речовин у повітрі, воді чи ґрунті. Це дозволяє оцінити екологічні ризики, планувати природоохоронні заходи й розробляти системи моніторингу навколишнього середовища.

Завдяки вбудованим базам даних і можливостям імпорту реальних вимірювань Mathematica дозволяє інтегрувати польові або лабораторні дані в моделі. Наприклад, дані зі станцій спостереження за якістю повітря можуть бути використані для побудови прогнозів поширення забруднень, виявлення джерел викидів і оптимізації розташування систем очищення.

Крім того, Mathematica активно використовується у моделюванні кліматичних змін. Тут зазвичай застосовуються складні математичні моделі, що включають взаємодію атмосфери, океанів, льодовиків та біосфери. Mathematica дає змогу будувати багаторівневі моделі, що враховують різні часові й просторові масштаби, а також інтегрувати чисельні розрахунки з графічною візуалізацією результатів.

Особливу цінність Mathematica становить для створення інтерактивних демонстрацій, які дозволяють дослідникам, викладачам та студентам змінювати параметри моделі в реальному часі, спостерігаючи за наслідками цих змін. Це сприяє глибшому розумінню складних екологічних процесів і дозволяє наочно пояснювати явища, які важко спостерігати в реальності.

Також Mathematica активно використовується для оптимізації використання природних ресурсів. Використовуючи методи математичної оптимізації, можна знаходити найкращі варіанти розподілу ресурсів за умови дотримання екологічних стандартів. Інструменти машинного навчання, вбудовані в Mathematica, дозволяють аналізувати великі обсяги даних, виявляти тренди й аномалії, будувати прогностичні моделі щодо змін довкілля.

Не менш важливо, що Mathematica підтримує моделювання процесів впливу людини на природу (урбанізація, промислове виробництво, зміна землекористування). Завдяки моделюванню таких процесів стає можливим оцінити екологічні наслідки управлінських рішень, проводити екологічний аудит проєктів і планувати заходи щодо пом'якшення антропогенного навантаження.

Сучасні екологічні виклики потребують високотехнологічних рішень для оперативного виявлення і контролю рівня забруднення навколишнього середовища. Одним з перспективних підходів є використання сенсорів на основі квантових точок (КТ), які здатні реагувати на різні хімічні забруднювачі через зміну своїх оптичних властивостей. Завдяки високій чутливості та селективності квантові точки є зручним інструментом для створення новітніх сенсорних систем [1, 2].

Основний принцип роботи таких сенсорів полягає в тому, що при взаємодії квантових точок з молекулами забруднювачів повітря відбувається зміна люмінесцентного сигналу: як зсув довжини хвилі випромінювання, так і зменшення або посилення інтенсивності світіння. Ці оптичні зміни можуть бути точно зафіксовані й використані як вихідні дані для автоматичного аналізу.

Щоб підвищити ефективність розпізнавання забруднювачів та автоматизувати оцінку їх концентрації, доцільно використовувати штучні нейронні мережі. У цьому контексті Wolfram Mathematica виступає потужним інструментом, який дозволяє не тільки обробляти спектральні дані сенсорів, а й будувати та навчати власні нейромережі для прогнозування рівня забруднення [3].

Серед переваг використання Wolfram Mathematica слід відзначити інтегроване середовище для обробки числових і графічних даних, гнучкі інструменти для побудови моделей машинного навчання, а також готові модулі для візуалізації результатів і автоматизації експериментів. Завдяки цьому можливо створити повний цикл: від збору експериментальних даних до навчання нейронної мережі та впровадження моделі в систему моніторингу забруднення повітря в реальному часі.

Такий підхід дозволяє значно підвищити точність і швидкість виявлення токсичних газів або шкідливих домішок, зменшити потребу в ручній обробці даних та відкрити нові можливості для розробки інтелектуальних систем екологічного контролю.

Результати моделювання показують, що навіть прості нейронні мережі здатні з високою точністю передбачати концентрацію забруднювачів на основі оптичних сигналів квантових точок. Таким чином, комбінація квантових сенсорів, нейронних мереж та середовища Wolfram Mathematica відкриває перспективи для створення компактних, автономних і високоточних систем моніторингу стану повітря, які можуть бути використані у побутових умовах, промислових зонах або лабораторіях.

1. Pavlicek, A., Neubauer, S., Zafiu, C., Huber-Humer, M., Ehmoser, E.-K., Part, P. (2023). The use and detection of quantum dots as nanotracers in environmental fate studies of engineered nanoparticles. *Environmental Pollution*, 317, 120461.

2. Whiteside, M.D., Treseder, K.K., Atsatt, P.R. (2009). The brighter side of soils: quantum dots track organic nitrogen through fungi and plants. *Ecology*, 90(1), 100: 1–8.

3. Peleshchak, R., Lytvyn, V., Peleshchak, I., Vysotska, V. (2021). Development of an artificial neural network with oscillatory neurons for recognition of spectral images. *Information systems and networks*, 7, 16–23.

Лагун Ярослав, Стахів Роман
Національний університет «Львівська політехніка»

ВІДКРИТІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Інтернет речей (IoT) стає важливим інструментом екологічного моніторингу, дозволяючи здійснювати оперативне стеження за якістю повітря, водних ресурсів, шумового забруднення, кліматичних умов тощо. Особливе значення в сучасних екологічних дослідженнях набувають відкриті програмні платформи, які забезпечують гнучкість, прозорість та можливість співпраці між різними спільнотами та дослідниками.

Архітектура рішень. Архітектурно такі рішення реалізуються через Edge Computing (обчислення на краю мережі), що дозволяє швидко обробляти первинні дані безпосередньо на пристроях, та Cloud Computing – для аналізу, візуалізації та тривалого зберігання інформації. Гібридні підходи, що поєднують ці дві моделі, є найпоширенішими, як, наприклад, у платформах ThingsBoard та Mainflux.

Підтримувані протоколи зв'язку. Основними протоколами зв'язку, які застосовуються у відкритих IoT-платформах, є [1] MQTT, CoAP, HTTP/REST та WebSockets, що забезпечують сумісність різноманітних пристроїв та ефективне управління потоками даних. Для підключення застарілих пристроїв часто використовують додаткові шлюзи, наприклад, ThingsBoard Gateway, який підтримує Modbus, OPC UA та Zigbee.

Основні відкриті IoT-платформи (світовий досвід). В екосистемі IoT існує кілька базових відкритих платформ, які широко застосовуються, зокрема і для екологічного моніторингу. Серед популярних відкритих платформ можна виділити наступні:

- ThingsBoard [2] – гнучка платформа з можливістю хмарного та локального розгортання, потужним механізмом rule engine та налаштовуваними панелями візуалізації. Для екологічних проєктів платформа пропонує готові приклади: моніторинг якості повітря (AQI), погоди, рівня води, шуму тощо – з можливістю налаштування порогів тривоги і геоприв'язки сенсорів на карті. ThingsBoard використовується в багатьох країнах; зокрема, повідомляється про розгортання для моніторингу погоди навіть в Антарктиді та контролю якості повітря у великих містах.

- DeviceHive [3] – відкрита платформа для IoT/машинного спілкування, розроблена компанією DataArt. Має контейнерну мікросервісну архітектуру (Docker, Kubernetes) з

можливістю гнучкого масштабування від одного вузла до кластеру. Особливістю DeviceHive є інтеграція з технологіями Big Data, підтримує різноманітні протоколи та має гнучку контейнерну архітектуру.

- Каа IoT [4] – middleware-платформа, яка дозволяє масштабувати рішення до десятків тисяч пристроїв, забезпечує налаштування інтерфейсів. Має модульну мікросервісну архітектуру та надає все необхідне для побудови IoT-рішення за принципом End-to-End. Каа дозволяє реалізувати повний цикл: від збору даних метеостанцій або давачів якості води – до презентації на мобільному додатку або веб-панелі з індивідуальними контрольними панелями та сповіщеннями для користувачів.

- Mainflux [5] – мультипротокольна високопродуктивна платформа, що забезпечує високий рівень безпеки даних і гнучкість розгортання. Важливою особливістю є багатопротокольність: платформа не прив'язана до конкретного типу пристроїв або протоколів і виступає універсальним брокером. Для задач екологічного моніторингу Mainflux надає переваги у безпеці та масштабованості. Ці рішення можна розгорнути як у хмарі, так і локально.

- Node-RED [6] – візуальний редактор, який широко використовується для обробки поточкових даних на пристроях Edge-рівня. У екологічних проєктах Node-RED часто використовують на рівні шлюзу або сервера для збору даних з сенсорів, первинної фільтрації та агрегування, а також пересилання даних до хмарного сховища.

- ThingSpeak [7] – відкрита IoT-платформа для зберігання і аналізу часових рядів. Спеціалізується на зберіганні телеметрії та надання простого REST API для запису/читання даних з сенсорів. У ній є вбудовані засоби візуалізації графіків та інтеграція з MATLAB для проведення аналізу та розрахунків прямо в хмарі

- OGC SensorThings API [8] – стандарт для уніфікації та інтеграції сенсорних даних, який активно підтримується у глобальних екологічних ініціативах.

Українські платформи та проєкти. В Україні також формується своя екосистема відкритих рішень для екологічного моніторингу, часто на громадських засадах або за участі IT-спільноти:

- EcoCity (SaveDnipro) [9] – відкрита мережа для моніторингу якості повітря. Дані з станцій SaveDnipro/EcoCity відкриті – їх може переглядати будь-хто через карту або API, а також вони інтегровані до загальнонаціонального екопорталу SaveEcoBot [10]. Ці станції також співпрацюють з глобальною ініціативою Luftdaten/Sensor.Community [11], що дозволяє передавати українські виміри до світової мапи відкритих даних.

- SaveEcoBot [10] – агрегатор відкритих екологічних даних, що об'єднує інформацію з різних джерел, у тому числі державних.

- AirC (GlobalLogic) [12] – пристрій з відкритим програмним кодом та документацією, який використовується для моніторингу забруднення повітря вздовж автомобільних шляхів.

Науково-прикладні проблеми ефективної обробки IoT-даних у екологічному моніторингу. Незважаючи на прогрес технологій, реалізація IoT-систем для екологічного моніторингу стикається з низкою викликів. Основні проблемні напрямки, які є предметом досліджень і прикладних рішень [13, 14]:

- Інтеграція різноманітних даних через відсутність єдиних стандартів та протоколів. Різні сенсорні мережі та платформи можуть використовувати різні протоколи, формати даних та моделі представлення інформації. Для створення цілісної картини довкілля потрібно об'єднувати гетерогенні дані, що ускладнюється відсутністю єдиних стандартів. Загальним вирішенням проблеми є встановлення відкритих стандартів та протоколів для екологічних даних. Проміжним рішенням є розробка шлюзів та брокерів даних, які можуть приймати інформацію в різних форматах, трансформувати її та уніфіковано передавати до центрального сховища.

- Забезпечення високої якості сенсорних даних, які часто мають шуми та неточності, що вимагає застосування алгоритмів очищення, калібрування та верифікації.

- Необхідність мінімізації затримок в обробці даних для оперативного реагування на екологічні події, що досягається за допомогою Edge Computing та стрімінгових платформ. Це значно знижує і затримки, і навантаження на мережу та дозволяє обробляти дані на льоту.

- Уніфікація моделей представлення екологічних даних, для чого використовуються стандарти OGC SensorThings API та FIWARE Smart Data Models.
- Потреба у зрозумілій візуалізації даних, яка має забезпечуватися інструментами типу Grafana та інтерактивними веб-картами. Перспективним також є поєднання IoT з технологіями штучного інтелекту для покращення збору екологічних даних і глибшого їх аналізу.
- Забезпечення кібербезпеки та конфіденційності даних IoT-систем, що є критичним фактором довіри до технологій. потрібно вирішувати, щоби користувачі та організації довіряли таким системам і не боялися, що відкритість обернеться уразливістю.

Висновок. Отже, застосування відкритих програмних засобів у екологічному моніторингу дозволяє створювати ефективні, прозорі та надійні IoT-екосистеми, здатні оперативно реагувати на екологічні виклики та підтримувати прийняття рішень для збереження довкілля.

1. IoT Protocols (n.d.). *A Comprehensive Guide to IoT Protocols*. URL: <https://www.emnify.com/blog/guide-iot-protocols>
2. ThingsBoard. (n.d.). *ThingsBoard – Open-source IoT (Internet of Things) Platform*. URL <https://thingsboard.io/>
3. DeviceHive. (n.d.). *DeviceHive – Open Source IoT Data Platform with the wide range of integration options*. URL <https://devicehive.com/>
4. Kaa IoT. (n.d.). *Edge-to-cloud IoT solutions with Kaa IoT Platform*. URL <https://www.kaaiot.com/advantages/edge-to-cloud-iot-solutions>
5. Mainflux. (n.d.). *Mainflux Open Source IoT Platform*. URL <https://mainflux.com/>
6. Node-RED. (n.d.). *Node-RED*. URL <https://nodered.org/>
7. ThingSpeak. (n.d.). *ThingSpeak – IoT analytics platform*. URL <https://thingspeak.mathworks.com/>
8. Open Geospatial Consortium (OGC). (n.d.). *SensorThings API*. URL <https://www.ogc.org/standards/sensorthings/>
9. SaveDnipro. (n.d.). *SaveDnipro*. URL <https://www.savednipro.org/>
10. SaveEcoBot. (n.d.). *Платформи – SaveEcoBot*. URL <https://www.saveecobot.com/platforms>
11. Sensor.Community. (n.d.). *Sensor.Community*. URL <https://sensor.community/ua/>
12. Dou.ua. (2023). *Як ми створили AirC – пристрій для моніторингу якості повітря на дорогах в реальному часі*. URL <https://dou.ua/forums/topic/35107>
13. Sathyamoorthy, S., Matthew, U.O., Adekunle, T.S., & Okafor, N.U. (2024). *Advances and Challenges in IoT Sensors Data Handling and Processing in Environmental Monitoring Networks*. *HAFED POLY Journal of Science, Management and Technology*, 5(2). <https://doi.org/10.4314/hpjsmt.v5i2.3>
14. Episensor. (n.d.). *The Future of Environmental Monitoring: IoT and Big Data Analytics*. URL <https://episensor.com/knowledge-base/the-future-of-environmental-monitoring-iot-and-big-data-analytics/>

DIGITAL TRANSFORMATION IN FORESTRY: LEVERAGING IOT, MACHINE LEARNING, AND NEW TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ECOSYSTEM MANAGEMENT

Nowadays, forestry sees multi-tiered and mounting challenges, such as those induced by climate change, biodiversity loss and resource degradation. Conventional forest monitoring and management approaches, although fundamental, cannot capture the complexity and dynamic nature of modern forests. They are generally laborious and time-consuming and cannot respond in real-time. The convergence and harmonization of digital technologies, including the IoT and ML, offer great potential to transform forest monitoring, analysis, and management. By enabling the capturing, storage, processing, and analysis of large datasets, these are tools that enable adaptive, data-driven management approaches that can deliver ecologically and economically sustainable outcomes.

The technology behind IoT helps monitor forest ecosystems constantly in real time with a series of interconnected sensors. These sensors capture various environmental data such as temperature, humidity, soil moisture, air quality, tree growth parameters and so on. Unlike traditional monitoring methods that involve periodic field surveys, IoT has made it possible to keep an eye on forest health and conditions in real time. This live stream of data is crucial in order to respond early to threats, like forest fires, pest spills, or illegal lumbering. For example, sensors that are able to sense quick modifications in temperature or gas release can give us an alert if a wildfire is emerging and we should act quickly to minimize the level of destruction. Likewise, anomalies in soil moisture or the frequency of tree growth may identify pest infestations and dictate preventive measures before significant damage is incurred. The handheld wireless device is probably the most well-suited battery-powered IoT technology for forest management [1].

In addition to IoT, ML is a powerful tool for decoding the large amount of data from sensor networks and remote sensing. ML approaches can automatically discover subregular patterns, detect deviations from these regularities, generalize from limited training data, and project forward from the past and present. In forestry, ML models have been successfully designed to identify early symptoms of disease outbreaks, nutrient deficiencies, and environmental stressors in trees. Such capacities enable the shift of forest managers from reactive management to proactive interventions in order to maintain the resilience and the health of the forest ecosystems [2]. Based on the data collected by, for example, a flyover of a satellite or UAV, the ML approach can identify the species of trees, estimate the health of the canopy and track changes in the ecology with a high degree of confidence, offering a means of sustaining the forest in the future.

Another technologically revolutionary approach, supportive to IoT and ML applications, is the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV's) carrying hyperspectral imaging sensors. They produced hyperspectral imagery data across hundreds of spectral bands, and reached well beyond traditional camera abilities, which can now be used to assess forests in great detail. Drones enable fast and flexible data collection, allowing an efficient surveying of extensive or otherwise-inaccessible forested areas. High-spatial resolution hyperspectral images permit tree species composition, canopy structure analysis, and biomass prediction at unparalleled scale and precision. Research showed that UAV-acquired hyperspectral monitoring can improve significantly the spatial and spectral resolution of forestry data, allowing for the detection of more subtle variations in forest ecosystems [3]. These technological developments are critical for more comprehensive biodiversity assessment, estimates of carbon stock and evaluation of the health of forested landscapes.

Blockchain is rapidly rising as an effective tool in contemporary forestry to promote transparency and sustainability. Conventional certification and traceability processes are also inefficient and vulnerable for abuse, hence enabling illegal logging activities to continue. The

blockchain provides a decentralized, tamper proof log system to which every transaction in the timber supply chain is written and can be verified. Origin of wood, status of certification or transportation history can thus be safely accessed by all partners in the value chain, be it producer, regulator or consumer. That kind of transparency not only helps fight crime, but it also helps consumers make wise, friendly consumer choices. The inclusion of blockchain in forestry functions provides for increased trust, improved regulation adherence and rewards for sustainable management of ecosystems [4]. Also, integrating with IoT sensors or other blockchain technology that is easy to apply with sensors such as RFID tag inside of logs, you can also trace all lifecycles of timber product automatically and safely.

Precise forest carbon stock monitoring is a further key topic where digital technologies have a strong impact. Forests are important carbon pools, and their preservation is one of the cornerstones in face of global climate changes on Earth. LiDAR-based and AI-assisted models have drastically improved the accuracy of biomass and carbon stock estimates. LiDAR can produce high-resolution 3D maps of forest structure, and thus accurate measurement of tree height, canopy density, and volume, which are all crucial for estimating carbon sequestration capacity. Involvement in carbon markets – where verified emissions reductions can be cashed in- relies on the robustness of assessments. Sophisticated monitoring tools validate the truthfulness of carbon credits, and as such, provide economic rewards to the conservation and sustainable management of forests [5]. Therefore, technological advances play a critical role in aligning ecological preservation with financial viability.

These methods already have found practical applications with some success. For instance, machine learning has also been used to identify illicit deforestation resulting from illegal mining throughout the amazon basin, which allows enforcement agencies to step in before considerable environmental damage occurs [6]. In a parallel effort—an approach utilizing remote sensing data, the Canopy Stability Index, has been employed in monitoring boreal forest disturbances and their stability over time, and has helped guide adaptive management protocols [7]. These examples demonstrate how digitalization in forestry is not an abstract idea but a practical and effective solution to actual environmental challenges.

On the horizon, the future possibilities for digitalization in forestry are expanding even more with improvements in autonomous systems, edge computing, and the coming of new generation machine learning algorithms. Longer term, we can also imagine the use of self-organizing sensor networks that could autonomously oversee large forest areas without human assistance, and the employment of predictive models that not only identify but predict events like fires, droughts, or disease. Secondly, better incorporation of digital forestry data into global carbon trading markets and climate adaptation strategies, such as REDD+ interventions, can lead to a substantial increase of economic value for sustainably managed forests. But to fulfil this potential, challenges such as the upfront cost of technology deployment, data security, and technical capacity within forest management must be addressed. Investments in research, capacity-related activities and policy will be vital to take good advantage of the ecology and the economic potential of digitalization in forestry.

The combined use of IoT, ML, UAV-based hyperspectral imaging, blockchain technology, and state-of-the-art carbon assessment methodologies introduces a step-change in how forestry is managed. The IOT provides continuous real-time monitoring of the environment through sensor networks, which facilitates early detection of threats such as forest fires and pest infestations. ML improves the interpretation of large amounts of environmental data, which allows for forecasting and proactive intervention in the ecosystem. UAVs equipped with hyperspectral sensors provide high-resolution data for species identification, canopy structure analysis, and biomass estimation. The blockchain provides transparency and traceability in the timber supply chain, enhancing compliance and sustainability. LiDAR and AI-based models improve carbon stock estimates, supporting participation in carbon markets. These are hardware and software technologies that help the transition from reactive forest management to proactive forest management, where fact-based insights guide for sustainable decisions. Digitalization in forestry has enormous ecological and

economic value in that it opens up new scopes to protect biodiversity, strengthen ecosystem services, and promote sustainable economic development. Further research, technological development and cooperation experimentation are required to realize these benefits fully and to contribute to the global challenges, which are directly related to the promotion of sustainable forest management.

1. Zakari, R. Y., Shafik, W., Kalinaki, K., & Iheaturu, C. J. (2024). Internet of Forestry Things (IoFT) Technologies and Applications in Forest Management. In *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy* (pp. 275–295). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003434269-15>
2. Estrada, J. S., Fuentes, A., Reszka, P., & Auat Cheein, F. (2023). Machine learning assisted remote forestry health assessment: A comprehensive state of the art review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1139232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1139232>
3. Li, Y., Wang, Y., Zhang, X., & Chen, J. (2023). Evaluation of Scale Effects on UAV-Based Hyperspectral Imaging for Forest Monitoring. *Remote Sensing*, 17(6), 1080. <https://doi.org/10.3390/rs17061080>
4. Kumar, N., Singh, R., & Sharma, A. (2022). Blockchain Applications in Forestry: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 12(8), 3723. <https://doi.org/10.3390/app12083723>
5. Sylvera. (2023). Pioneering research and data collection for effective carbon markets. <https://www.sylvera.com/research>
6. Monitoring of the Andean Amazon Project (MAAP). (2024). Machine learning to detect mining deforestation across the Amazon. <https://www.maaprogram.org/maap-212-machine-learning-to-detect-mining-deforestation-across-the-amazon/>
7. Mackey, B., Hugh, S., Norman, P., Rogers, B. M., & Dellasala, D. (2024). Insights into Boreal Forest Disturbance from Canopy Stability Index. *Land*, 13(10), 1644. <https://doi.org/10.3390/land13101644>

Надія Максименко, Ольга Пархоменко
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ІНТЕРАКТИВНА КАРТА НА ПЛАТФОРМІ ArcGIS АКТУАЛЬНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ УКРАЇНИ

Національні природні парки (НПП) України є ключовими територіями екологічної мережі, які забезпечують збереження ландшафтного та біорізноманіття. Для ефективного управління НПП необхідно мати унормоване функціональне зонування, яке полягає у виділенні зон в межах парку з різним рівнем природоохоронного режиму. Державним нормативом, що регулює формування зон є ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» [1]. Згідно з цим документом, при проектуванні територій НПП повинні виділятися наступні функціональні зони:

- Заповідна зона (не менше 20% від загальної території парку) – це зона суворої охорони, де дозволено лише наукове спостереження і мінімальне втручання людини. Основне завдання цієї зони – збереження природних екосистем в їх природному стані, без людського впливу.
- Зона регульованої рекреації (35% і більше від площі НПП) – включає території, які можуть бути використані для активного відпочинку та туризму, але з певними обмеженнями для збереження екологічного балансу.
- Зона стаціонарної рекреації (не менше 10% території парку) – може функціонувати інфраструктура, що забезпечує комфортне перебування відвідувачів, але з дотриманням природоохоронних вимог.
- Господарська зона (15-35% площі парку) – охоплює території населених пунктів, комунальних і інфраструктурних об'єктів.

Втім, вітчизняна практика організації територій НПП засвідчує, що їх фактичне зонування часто не відповідає встановленим нормативам, що послаблює природоохоронну ефективність їх роботи, та спричиняє численні екологічні і правові суперечності. Для виявлення невідповідності існуючого зонування в НПП України встановленим нормативам і, як з'ясувалось, таких НПП, що не мають або не оприлюднюють зроблене зонування, проведено дослідження всіх НПП. У рамках дослідження проаналізовано доступність та актуальність інформації про площі функціональних зон у 53 НПП України [2]. Виявилося, що лише 19 парків надають чітку інформацію про площу зон на своїх офіційних сайтах, ще 5 парків мають такі дані у відкритих джерелах, 11 парків надали лише картосхеми без конкретних цифр, а для решти 18 парків інформація відсутня взагалі. Для ознайомлення з цією інформацією широкого кола зацікавлених осіб використано інформаційні технології.

Візуалізація даних є ключовим інструментом для глибшого розуміння просторових процесів, особливо у сфері екології та охорони природи. У контексті аналізу зонування національних природних парків (НПП) України, графічне представлення інформації дозволяє не лише узагальнити значні обсяги просторових даних, а й зробити їх доступними для інтерпретації як фахівцями, так і широкою аудиторією. Візуалізація сприяє виявленню диспропорцій у розподілі функціональних зон. На основі опрацьованого графічного, звітнього та картографічного матеріалу створена інтерактивна карта на платформі ArcGIS, що демонструє актуальний стан зонування усіх НПП України (Рис.1 та Рис.2).

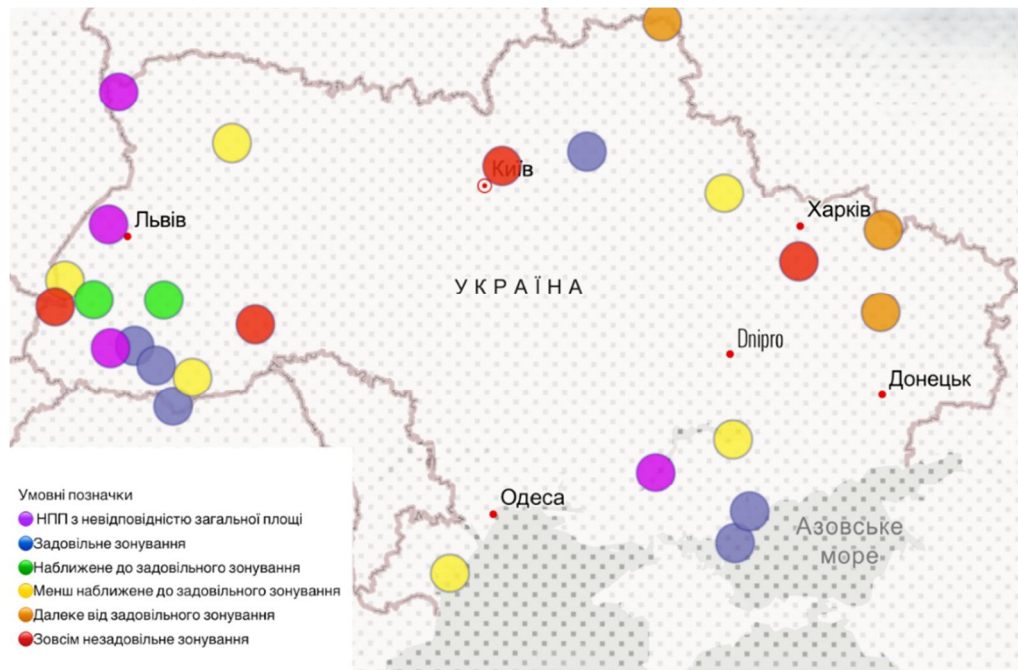


Рис. 1. Карто-схема просторового розміщення НПП з різним рівнем виконання вимог зонування за ДБН Б.2.2-12:2019

Рис. 1 демонструє карто-схему, створену за допомогою платформи ArcGIS з нанесеними пунсонами – НПП, які надали інформацію про зонування, залежно від їх географічного розташування. Кольори точок несуть інформацію про відповідність площ функціональних зон нормативним.

Рис. 2 демонструє карто-схему, створену за допомогою платформи ArcGIS з нанесеними червоними трикутниками залежно від їх географічного розташування – НПП, які не надали інформацію про зонування.

Аналіз показав, що більшість НПП України мають проблеми із якістю функціонального зонування. Задовільне або наближене до задовільного зонування переважає в Карпатському

регіоні та на півдні України. Натомість центральні та східні області мають значну кількість парків із незадовільним або дуже незадовільним зонуванням.

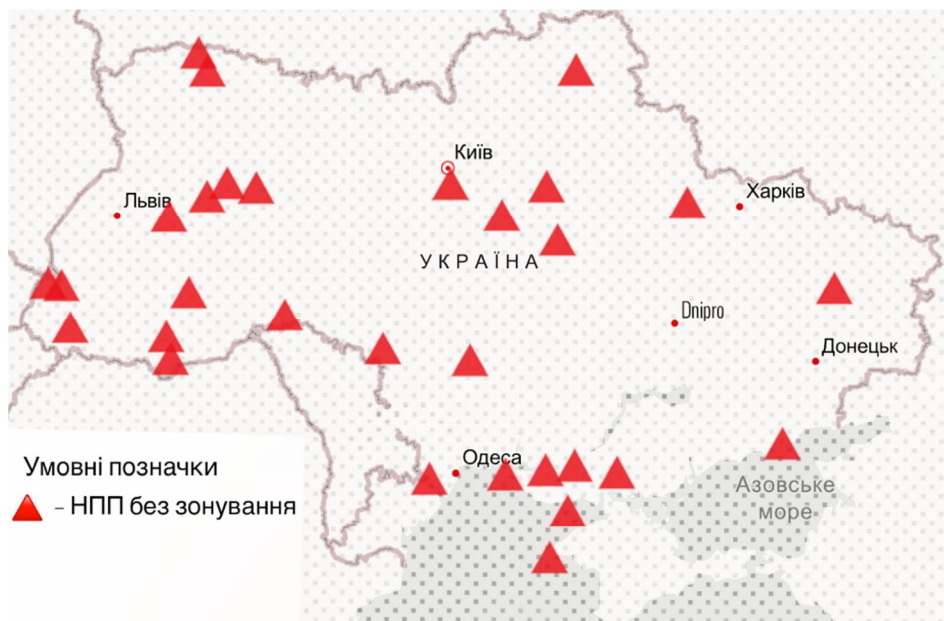


Рис. 2. Карто-схема просторового розміщення НПП зонування яких не представлено в доступних джерелах.

Окрім інформації щодо просторового розміщення і категорій НПП, створена інтерактивна карта дає можливість дізнатися про реальне (при наявності) та розрахункове (нормативне) зонування, натиснувши на будь-яке з умовних позначень, які відповідають кожному парку. Натискання на позначку відкриває віконце з назвою НПП та фрагментом з таблиць 1, 2 або 3, відповідно до кожного об'єкту. Приклад віконця з інформацією можна побачити на Рис.3.

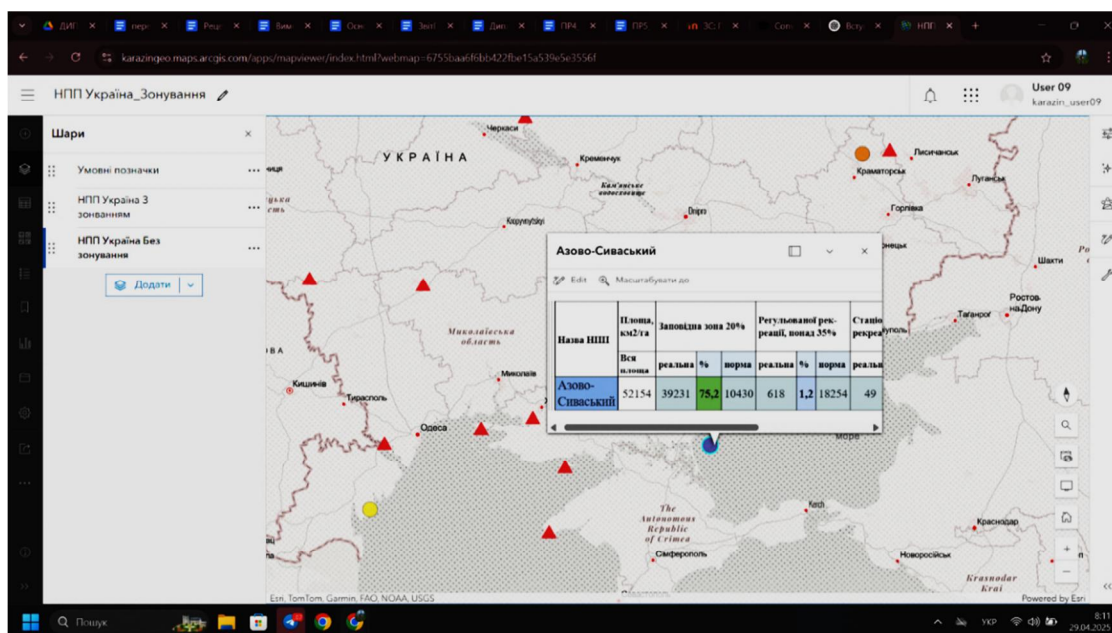


Рис. 3. Приклад «віконця» з інформацією про реальні і нормативні площі функціональних зон кожного парку.

Отримані результати свідчать про необхідність удосконалення системи подання інформації про функціональні зони НПП. Запровадження єдиного підходу до звітності та забезпечення відкритого доступу до цих даних сприятиме кращому управлінню природоохоронними територіями та підвищенню їх відповідності правовим нормам.

1. Планування та забудова територій. ДБН Б.2.2-12:2019. URL : <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBN-B22-12-2019.pdf>

2. Природно-заповідний фонд України. URL: <https://wownature.in.ua/oberihaymo/pryrodno-zapovidnyy-fond/>

Машевська Марта, Куліш Богдан
Національний університет «Львівська політехніка»

ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СЛІДУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ СУБ'ЄКТАМИ МАЛОГО БІЗНЕСУ

У сучасних умовах розвитку суспільства та економіки дедалі більше уваги приділяється питанням сталого розвитку та мінімізації негативного впливу людської діяльності на довкілля. Використання енергії, транспортування, споживання води та утворення відходів є ключовими аспектами, що значно впливають на стан екосистем. Особливо важливо зменшити екологічний слід, пов'язаний із діяльністю малого бізнесу, який, будучи значною частиною економіки, також суттєво впливає на екологічну ситуацію.

Екологічний слід відображає вплив людини або організації на навколишнє середовище через споживання ресурсів та виробництво відходів. Розуміння та управління цим впливом є важливим завданням для досягнення сталого розвитку. У малому бізнесі це питання часто ускладнюється відсутністю доступних та ефективних інструментів оцінювання екологічного сліду. Як наслідок, підприємці можуть не повною мірою усвідомлювати наслідки своєї діяльності, що ускладнює впровадження екоефективних рішень [1].

Актуальність цієї роботи зумовлена потребою створення інтегрованої платформи, яка надає можливість оцінювати екологічний слід на основі ключових параметрів: споживання електроенергії, палива, води та утворення відходів. Сучасний підхід до вирішення цієї проблеми включає використання алгоритмів нечіткої логіки для автоматизації розрахунків та надання персоналізованих рекомендацій. Такий підхід дозволяє підприємствам не лише оцінювати свій вплив на довкілля, а й зменшувати його шляхом впровадження раціональних та екологічно дружніх рішень.

Мета роботи полягає у створенні платформи для оцінки екологічного сліду малого бізнесу з використанням сучасних алгоритмів аналізу. Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання: здійснити аналіз сучасних методів оцінки екологічного сліду, розробити модель на основі нечіткої логіки, спроектувати структуру модульного моноліту для системи та впровадити зручний інтерфейс користувача для автоматизації процесів.

Об'єктом дослідження є діяльність малого бізнесу, пов'язана зі споживанням ресурсів та утворенням відходів. Предметом дослідження є процес розробки платформи, що об'єднує розрахункові та аналітичні інструменти для зменшення екологічного сліду. Загалом, ідея роботи полягає у створенні інтегрованого рішення, яке дозволяє не лише аналізувати вплив діяльності, а й автоматично пропонувати ефективні заходи для його зниження.

Запропонована система спрямована на підвищення екологічної обізнаності суб'єктів малого бізнесу та сприяння їхньому переходу до сталих практик, що має вагоме значення для гармонійного співіснування економічного розвитку та збереження довкілля.

Розробка платформи для оцінки екологічного сліду від використання альтернативних джерел енергії суб'єктами малого бізнесу є актуальним завданням, що спрямоване на

зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та сприяння сталому розвитку. Основна мета проєкту полягає у створенні сучасного, зручного та ефективного інструменту, який дозволить підприємствам оцінювати свій екологічний слід, отримувати рекомендації щодо його зменшення, а також підтримувати процес впровадження енергоефективних технологій.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити кілька ключових завдань, що охоплюють розробку функціоналу системи, її технічну реалізацію, а також інтеграцію з існуючими бізнес-процесами.

Одним із важливих аспектів є забезпечення простого та безпечного процесу реєстрації та авторизації користувачів. Система повинна дозволяти підприємцям легко створювати облікові записи, вводячи базову інформацію про свій бізнес. Реєстрація має передбачати верифікацію електронної пошти для підтвердження коректності даних. Авторизація повинна бути захищеною, з можливістю відновлення пароля у разі його втрати. Такий підхід гарантує безпечне зберігання даних користувачів та запобігає несанкціонованому доступу.

Другий важливий аспект полягає у зборі даних від користувачів. Платформа має підтримувати введення інформації про енергетичні системи підприємства, включаючи як альтернативні, так і традиційні джерела енергії. Користувачі повинні мати можливість вводити детальну інформацію про тип джерела енергії, потужність обладнання, кількість та тип використовуваних компонентів. Також важливо враховувати дані про транспортування, використання води та утворення відходів. Ці дані слугують основою для точного розрахунку екологічного сліду.

Центральним завданням платформи є автоматизований розрахунок екологічного сліду. Система повинна використовувати введені дані для обчислення викидів CO₂, обсягу використаних ресурсів, а також враховувати регіональні коефіцієнти абсорбції. Це дозволить користувачам отримати об'єктивну оцінку впливу своєї діяльності на довкілля. Особливу увагу слід приділити порівнянню екологічного сліду при використанні традиційних та альтернативних джерел енергії. Такий підхід дозволяє підприємствам оцінити ефективність своїх заходів зі зменшення впливу на навколишнє середовище.

Для забезпечення прозорості та зручності аналізу даних платформа повинна пропонувати засоби візуалізації. Генерація графіків, діаграм та інших інтерактивних візуалізацій допоможе користувачам краще зрозуміти результати розрахунків. Наприклад, лінійні графіки можуть демонструвати зміни екологічного сліду з часом, тоді як кругові діаграми надають уявлення про частки різних джерел енергії у загальному сліді.

Особливе місце у функціоналі системи займають персоналізовані рекомендації. На основі зібраних даних платформа має пропонувати індивідуальні поради, спрямовані на оптимізацію використання енергії, води та управління відходами. Наприклад, це можуть бути рекомендації щодо переходу на більш енергоефективні технології, впровадження відновлюваних джерел енергії, оптимізації транспортних маршрутів або зменшення водоспоживання. Також доцільно включити пропозиції щодо інноваційних технологій, які можуть стати доступними для малого бізнесу.

Окрім цього, важливо передбачити можливість аналітичного аналізу ефективності альтернативних джерел енергії. Це дозволить користувачам не лише оцінити поточний стан, але й порівняти ефективність різних джерел енергії у контексті своїх бізнес-процесів. Наприклад, підприємство зможе визначити, чи є доцільним встановлення сонячних панелей замість використання газового обладнання.

Платформа має бути побудована на основі сучасних технологій, які забезпечують її продуктивність, масштабованість і безпеку. Технологічний стек повинен включати .NET Core 8 для серверної частини, ReactJS для клієнтської частини та MSSQL для бази даних. Використання модульної монолітної архітектури забезпечить легкість у розширенні функціоналу та подальшому супроводі системи.

Таким чином, розробка цієї платформи вимагає реалізації широкого спектра функціональних можливостей, спрямованих на створення зручного та ефективного інструменту для оцінки екологічного сліду малого бізнесу. Платформа повинна надавати користувачам повну

інформацію про вплив їхньої діяльності на довкілля, пропонувати шляхи його зменшення, а також підтримувати процес прийняття рішень у напрямку сталого розвитку.

I. M. Dholariya, A. Patel, C. Dalal, H. Patel (2025). The Role of Renewable Energy in Achieving Sustainable Energy Goals. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. pp. 171-175. DOI: 10.48175/IJARSCT-25033.

Мельник Богдан, Чишинська-Глибович Ліліана
Національний університет «Львівська політехніка»
Львівський національний університет імені Івана Франка

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЕДІНКОВИХ МОДЕЛЕЙ БДЖОЛИНИХ КОЛОНІЙ

Для вживання адекватних, раціональних заходів щодо забезпечення якісного захисту людей у зонах потенційного радіаційного зараження необхідно не лише контролювати поточний радіаційний стан у цих зонах, але й робити прогнози цього стану на певні майбутні періоди часу. Якщо для поточного моніторингу радіаційного стану довкілля достатньо створити і налагодити відповідну технічну систему, зокрема систему віддаленого дозиметричного контролю [1], то для прогнозування необхідно розробити відповідні математичні моделі.

Будемо вважати, що на радіаційний стан певної території впливають кілька незалежних джерел радіаційного випромінювання (ДРВ). Тоді рівень випромінювання, який фіксується давачем системи моніторингу, розміщеного у певній точці цієї території (точка моніторингу, ТМ) є результатом суперпозиції впливу цих джерел, який залежить від кількох чинників. Основними такими чинниками, на нашу думку, є інтенсивність випромінювання у джерелі I , відстань між ДРВ і ТМ R , комплексний природний чинник (чинник, який враховує різні параметри природного середовища в околі ТМ – розу вітрів, базові температури, склад повітря тощо) C . Враховуючи ці чинники запишемо залежність рівня випромінювання в ТМ у вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^N [\alpha_{i1} \cdot \varphi_1(I_i) + \alpha_{i2} \cdot \varphi_2(R_i) + \alpha_{i3} \cdot \varphi_3(C_i)], \quad (1)$$

де i – порядковий номер ДРВ, N – загальна кількість ДРВ, α_i – певні коефіцієнти, $\varphi_s(\bullet)$ – певні функції ($s = \overline{1,3}$), які визначають вплив відповідних чинників на рівень випромінювання [2].

Для отримання більш повної картини радіаційного стану довкілля на усій території моніторингу необхідно слідкувати за рівнем випромінювання в багатьох ТМ. У цьому разі скалярне рівняння (1) перетворюється у подібне за структурою векторне рівняння.

Рівняння (1) описує статичний випадок, коли рівень випромінювання у ТМ визначають у поточний момент часу. Щоб проводити прогнозування варто застосовувати динамічні моделі. Для дискретного випадку динаміку процесу описують за допомогою різницевого рівняння [3].

Сформуємо вектори вхідних змінних визначених в k -ий момент часу $\vec{x}_i^k = [I_i^k, R_i^k, C_i^k]^T$, ($i = \overline{1, N}$). Для нашого випадку модель у вигляді різницевого рівняння буде мати такий загальний вигляд [2]:

$$P^k = \vec{f}^T(P^{k-d}, \dots, P^{k-1}, \vec{x}_i^0, \dots, \vec{x}_i^k) \cdot \vec{g}, \quad (k = \overline{d, K}), \quad (2)$$

де P^k – рівень випромінювання у певній ТМ у k -ий момент часу, $\vec{f}(\bullet)$ – вектор базисних функцій, $\vec{g}$ – вектор коефіцієнтів різницевого рівняння – параметри моделі, K – загальна кількість дискретних моментів часу, які враховують для побудови моделі.

Побудова моделі передбачає її структурну і параметричну ідентифікацію, яку проводять на підставі прямо чи опосередковано отриманих експериментальних даних. У нашому випадку даними, отриманими безпосередньо у результаті спостереження, є рівень випромінювання в ТМ, інтенсивність випромінювання у ДРВ, відстань між ДРВ і ТМ, Комплексний природний чинник

обчислюють на підставі спостережень за параметрами природнього середовища в околі ТМ, які беруть до уваги.

Структурна ідентифікація полягає у визначенні структури складових вектора базисних функцій $\vec{f}(\bullet)$. Вона, зазвичай, є найбільш складною задачею у процесі побудови моделі і передбачає додаткове дослідження процесів, які описує модель [3]. Для спрощення процедури структурної ідентифікації у нашому випадку варто використати як структурні елементи функції $\varphi_s(\bullet)$ ($s = \overline{1,3}$).

Задачею параметричної ідентифікації моделі є визначення її параметрів, які є компонентами вектора $\vec{g}$. Параметри моделі визначають шляхом розв'язування оптимізаційної задачі. Функція мети для цієї задачі зокрема може мати такий вигляд [3]:

$$Q(\vec{g}) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (\tilde{P}^k - P^k)^2, \quad (3)$$

де $\tilde{P}^k$ – спостережувані значення рівня випромінювання, P^k – значення рівня випромінювання, отримані за допомогою моделі (2).

Формалізований опис оптимізаційної задачі такий:

$$Q(\vec{g}) \xrightarrow{\vec{g}} \min. \quad (4)$$

Одним із найбільш ефективних підходів для структурної і параметричної оптимізації складних нелінійних математичних моделей нині вважають застосування методів, які ґрунтуються на моделях мультиагентної взаємодії, зокрема поведінкової моделі бджолоїної колонії [2]. В основу таких моделей закладено принципи самоорганізованої взаємодії багатьох суб'єктів певної популяції живих організмів (комах, птахів, риб, тварин тощо). Саме алгоритми самоорганізації дають змогу підвищити такі показники ефективності оптимізаційних процедур як їх обчислювальна складність, швидкість оптимізації, точність розв'язку оптимізаційної задачі [3].

Розглянемо застосування поведінкової моделі бджолоїної колонії для розв'язування нашої задачі параметричної ідентифікації. Метою цієї задачі є знаходження таких параметрів моделі (2), за яких функція мети (3) досягне точки глобального мінімуму.

В бджолоїній колонії нас цікавить поведінка трьох функціональних груп бджіл: робочих бджіл, бджіл дослідників і бджіл розвідників. Поведінку, характерну для кожної групи бджіл, можна описати як окрему фазу у процесі збирання колонією нектару. Стосовно нашої задачі це фази пошуку глобального мінімуму функції мети.

Процес пошуку джерел нектару і його збору бджолами є безперервним. Однак, для спрощення міркувань будемо розглядати поведінку бджіл з певного фіксованого моменту. Нехай на цей момент для колонії відомо певний ареал знаходження джерел нектару. Стосовно нашої задачі це означає, що визначено початкову точку для початку пошуку глобального мінімуму, тобто визначено початкові значення параметрів моделі (2) (компонент вектора $\vec{g}$). Цю фазу пошуку назвемо фазою ініціалізації.

У фазі робочих бджіл робочі бджоли збирають нектар з невеликого околу відомих їм джерел до відносно повного виснаження цих джерел. Стосовно нашої задачі в околі визначеної на попередньому етапі точки здійснюють пошук мінімального у цьому околі значення функції мети. Виснаження джерела нектару у нашому сенсі необхідно асоціювати з досягненням точки локального мінімуму.

Для того, щоб робочі бджоли і надалі збирали у необхідній кількості нектар в околі відомих їм джерел, необхідно розширяти цей окіл. Розширення цього околу здійснюється завдяки зусиллям бджіл дослідників. У відповідній фазі збору нектару вони здійснюють пошук нових джерел нектару в околі відомих для робочих бджіл джерел. Стосовно нашої задачі фаза бджіл дослідників означає пошук шляхів виходу з локального мінімуму, а отже, продовження руху в пошуках точки глобального мінімуму.

У разі, коли пошук нових джерел нектару в околі відомих джерел не дає позитивного результату (вийти з локального мінімуму не вдається), потрібно повністю змінити локалізацію

нових джерел нектару. Пошуком нового ареалу джерел займаються бджоли розвідники. Стосовно нашої задачі у фазі бджіл розвідників здійснюється пошук точки пошуку, яка лежить поза зоною притягання локального мінімуму, що був досягнутий на попередньому етапі після виконання фаз робочих бджіл і бджіл дослідників.

Після фази бджіл розвідників повертаються до фаз робочих бджіл і бджіл дослідників. Під час розв'язування оптимізаційної задачі процес змін фаз ітераційно продовжується до моменту, коли виникає умова закінчення процедури оптимізації. Такою умовою може бути досягнення точки, яку можна вважати глобальним мінімумом. Іншою умовою закінчення процедури оптимізації є перевищення встановлених показників обчислювальних затрат. Тоді під глобальним мінімумом розуміють найменший з отриманих на усіх етапах пошуку локальний мінімум.

Самоорганізація в бджолиній колонії відбувається шляхом передачі інформації між різними бджолами у середині однієї групи і між бджолами різних груп. Це дає змогу раціонально використовувати потенціал колонії і підтримувати високу продуктивність збирання нектару. З огляду на переваги процедур самоорганізації, застосування поведінкової моделі бджолиної колонії для розв'язування задач оптимізації дає змогу під час пошуку глобального мінімуму, зокрема, уникати повернення у раніше пройдені точки на траєкторії пошуку, що зменшує загальні часові затрати на отримання кінцевого результату.

1. Мельник Б., & Рудий Ю. (2024). Система віддаленого дозиметричного контролю. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології у сфері захисту довкілля”* (с. 114-116). Львів: Видавництво Львівської політехніки. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/jun/34920/>

2. Дивак М.П., Пукас А.В., Порплиця Н.П.Є, & Мельник А.М. (2021). *Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів*. Тернопіль: ВПЦ “Університетська думка”.

3. Стахів П. Г., Козак Ю. Я., & Гоголюк О. П. (2014) *Дискретне макромодельовання в електротехніці та суміжних областях*. Львів: Видавництво Львівської політехніки.

Мокрий Володимир

Національний університет «Львівська політехніка»

Казимира Ірина

Національний університет «Львівська політехніка»

Арустамян Едуард

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України

Бондарь Валерія

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МОДУЛЬНА СТРУКТУРА ФОРМУВАННЯ СОЗОЛОГІЧНИХ БАЗ ДАНИХ НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»

Реалізація суспільством підходів до охорони біологічного різноманіття є його важливою цивілізаційною характеристикою і маркером зрілості. Урядами багатьох країн світу розробляються програми сповільнення або й зупинки деградації природних угруповань, втрат видів чи популяцій з їхніми унікальними генетичними особливостями – від перегляду національних природоохоронних законодавств до участі в міждержавних угодах та виділення фінансування з метою захисту біологічного різноманіття на всій планеті. Такі зусилля насамперед зорієнтовані на охорону і збереження раритетних видів і їхніх оселищ як найуразливіших компонентів екосистем.

Світова та вітчизняна практика використання інформаційних технологій у дослідженнях довкілля базується на використанні великих масивів даних є неодмінним атрибутом комплексного пізнання об'єктів та явищ природи, зокрема і рослинності [1]. В науково-технічній літературі

накопичено чимало інформаційних описових даних рослинних угруповань. Вони є основою фітоценотичної різноманітності, структури та функціонування екосистем. Інформація стосовно спільного зростання рослин на певній території, їхня кількісна та якісна характеристика, що зібрана у конкретні геоботанічні описи, є специфічними даними про біорізноманіття.

Актуальність проблеми созологічної характеристики флори Національного природного парку (НПП) «Північне Поділля» обумовлена необхідністю ідентифікації у її складі рідкісних та зникаючих видів. Природоохоронним територіям відводиться головна роль у збереженні раритетних видів рослин та рідкісних рослинних угруповань. Тому виділення раритетної компоненти флори при інвентаризаційних дослідженнях, для збереження та розвитку їх генофонду, є надзвичайно важливою проблемою сталого розвитку суспільства.

Об'єктом дослідження є рослинні угруповання у різних кліматичних і ґрунтово-геологічних умовах їх зростання на території НПП «Північне Поділля».

Мета – обґрунтування алгоритмів створення фітоценотичної бази даних (фітоценоотеки) НПП «Північне Поділля», її фактичного наповнення, багатомодульної структури організації та аналіз можливостей автоматизації синтаксономічної діагностики, з використанням евристичного алгоритму. Завдання – розроблення методології формування моделі фітоценоотеки у середовищі універсальних систем керування базами даних для созологічної оцінки НПП «Північне Поділля» в контексті міжнародних конвенцій [2].

НПП «Північне Поділля» створено (2010 р.) для збереження цінних природних та історико-культурних комплексів і об'єктів Гологоро-Вороняцького кряжу, розміщеного у середній частині Гологоро-Кременецького структурно-ерозійного кряжу на північному уступі Подільської височини [3]. У системі національної екологічної мережі парк є складовою Галицько-Слобожанського екологічного коридору, забезпечує функціонування Північноподільсько-Опільського макроекокоридору регіональної екомережі. Важливе значення парк має для охорони верхів'їв басейну р. Західний Буг. Основним орогідрографічним елементом НПП є лінія Головного Європейського вододілу, яка розділяє периферійні області стоку Балтійського і Чорного морів. Територія парку має кластерну структуру, що знижує природоохоронну ефективність його функціонування. В кластерах заповідної зони, оточених господарськими територіями, внаслідок постійного антропогенного впливу підвищується загроза зниження біологічного та ландшафтного різноманіття.

Згідно з фізико-географічним районуванням України (Екологічна енциклопедія, 2006), територія парку знаходиться в межах Широколистої зони, Західноукраїнського краю, Розтоцько-Опільської горбогірної області та Західноподільської височинної області, з такими фізико-географічними областями і районами: Миколаївсько-Бережанського та Гологірського районів Розтоцько-Опільської височинної області; Вороняцького і Зборівсько-Теребовлянського районів Західноподільської височинної області; Радехівсько-Бродівського і Куликівсько-Бузького районів області Малу Полісся. За геоботанічним районуванням (Національний атлас України, 2007) парк знаходиться в межах Європейської широколистянолісової області, Центрально-європейської провінції, Південнопольсько-Західноподільської підпровінції, Опільсько-Кременецького округу букових, грабово-дубових лісів, справжніх та остепнених лук і лучних степів та евтрофних боліт.

Созологічна оцінка рослинного покриву необхідна для збереження біотичного різноманіття Північного Поділля в контексті сталого розвитку регіону. У рослинному покриві парку переважає лісова рослинність [4]. Найбільші площі займають мезофітні неморально-лісові ценози з домінуванням бука звичайного, дуба звичайного, граба звичайного. Велике созологічне значення у регіоні мають кальцефільні букові ліси. У парку представлені також грабово-дубові ліси, переважно з домінуванням дуба звичайного. Порівняно незначні площі займають ліси сосни звичайної. На дуже обмеженій площі наявний фрагмент соснового деревостану з типом угруповань, характерним для дюн Середньої Європи. Також на території парку представлені фрагменти соснових лісів, які перебувають на різних стадіях демураційних сукцесій, оскільки корінні ценози цього типу деградували протягом агрокультурного періоду. Невеликими фрагментами на території парку представлені грабово-дубово-соснові ліси. У

Колтівській улоговині представлені угруповання сосново-дубових лісів. Трапляються у парку гігрофільні ліси вільхи чорної. Є також ліси берези пухнастої.

Лучно-степовий тип рослинності на території парку представлений ценозами з переважанням осоки низької. Угруповання мезофітних лук представлені ценозами двох типів, це ксеро-мезофітні луки і мезофітні лісові луки.

Особливу фітосозологічну цінність мають гігрофільні трав'яні ценози прибережно-водної, болотної та болотно-лучної рослинності. Найбільші за розмірами й найкраще збережені болотні масиви на території парку знаходяться у верхів'ях рр. Західний Буг, Золочівка, Стир. Для верхів'я р. Західний Буг у межах Колтівської улоговини характерні карбонатні болота. Прибережно-водна й водна рослинність представлена лише фрагментарно угрупованнями, які трапляються у старицях Західного Бугу, ставах і меліоративних каналах. У Колтівській улоговині представлена унікальна рослинність незакріплених піщаних дюн.

Флора парку за попередніми даними нараховує близько 1100 видів, які належать до 470 родів, 113 родин, 6 класів та 5 відділів [4]. З цього числа 16 видів є ендеміками різного рангу, близько 240 видів ростуть на межах своїх ареалів, або в локалітетах, відірваних від основного ареалу. На територіях парку росте 82 види судинних рослин, які включені до Червоної книги України (2009 р.). Чотири види судинних рослин включені до Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи (МСОП). Чотири види занесені до Європейського Червоного списку. Вісім видів включені до Додатку I Бернської конвенції. Територія парку представлена кількома десятками розрізнених фрагментів. Тому, використання заснованого на базах даних підходу до зберігання просторової інформації созологічного аналізу, необхідне для формування інформаційної основи обґрунтування природоохоронного влаштування території, шляхом оптимізації функціонального зонування парку.

Сучасні фітоценотеки передбачають наявність оригінальних описів, які вводяться безпосередньо авторами з польових щоденників, а також літературних та архівних даних. Фітоценотичні дані являють собою значний масив інформації. Це геоботанічні описи, екологічні та географічні показники окремих видів, їх таксономічна належність і т. п. Для обробки і впорядкування великої кількості інформації, сьогодні успішно використовуються різноманітні бази даних (БД). Вони різняться своїми завданнями, предметною галуззю і технікою комп'ютерної реалізації. У БД раціонально зберігається великий масив геоботанічної інформації, ефективно здійснюється його поповнення та аналіз.

Високу ефективність демонструють програми, побудовані за модульним принципом, які складаються з окремих самостійних частин, переробка кожної з яких не вимагає переробки всієї системи. Платформою для реалізації модульного принципу створення фітоценотичних баз даних (фітоценотеки) є доцільна MS Access 97. Це достатньо гнучка, популярна і потужна за своїми можливостями оболонка для проектування баз даних. Хоча розробка авторів [5] знаходиться на стадії вдосконалення, але її ідеологія майже сформувалася і вже довела свою працездатність на багатьох прикладах. Тому її доцільно використовувати для формування созологічної бази даних в науково-дослідній роботі НПП «Північне Поділля».

Основною відмінністю пропонованої БД рослинності від подібних існуючих систем є широкий спектр завдань: від простого введення геоботанічних описів і створення вибірки геоботанічних описів за вказаним критерієм до проведення багатопараметричного аналізу синтаксонів. Це забезпечується особливою ідеологією організації БД – багатомодульним принципом. Модуль – це відносно самостійна логічна частина БД, призначена для досягнення певної мети. Модульна організація БД рослинності представлена в табл. 1.

Модульна організація БД дозволяє ефективно аналізувати велику кількість даних, шляхом наповнення модулів (табл.1). Цей аналіз може здійснюватися в площині будь-якого параметру чи параметрів. Серед зазначених вище модулів БД основними є модулі географічного, екологічного, біоморфологічного і ценотичного аналізу.

Модуль географічного аналізу ставить за мету визначення міри тяжіння видового складу певного синтаксону чи окремого фітоценозу до тих чи інших географічних регіонів. Можливий експорт і візуалізація даних – у ГІС Mapinfo.

Модульна організація БД рослинності

Модульна організація БД рослинності							
Модуль «Фітоценоз»				Модуль «Екологія»			
1	Номер опису	5	Деревостан	1	Термоклімат	6	Вологість
2	Автор опису	6	Травостій	2	Кріорежим	7	Мінеральний азот
3	Дата опису	7	Видовий склад	3	Омброрежим	8	Освітленість
4	Літературні джерела.			4	Засоленість	9	Гумус
				5	Кислотність		
Модуль «Синтаксономія»				Модуль «Геодата»			
1	Валідна назва синтаксону	4	Діагностичні види синтаксону	1	Зональне районування	3	Ботаніко-географічні райони України
2	Синоніми	5	Константні види синтаксон	2	Флористичне районування.		
3	Ієрархічна підпорядкованість синтаксону	6	Характерні види синтаксону				
Модуль «Біоморфа»				Модуль «Таксономія»			
1	Типи біоморф за К. Раункієром	3	Класифікація розеткових біоморф.	1	Валідна назва виду	3	Автор виду
2	Типи біоморф за І. Г. Серебряковим			2	Синонімічні назви виду	4	Таксономічна належність
Модуль «Антропоєкологія»							
1	Види Червоної книги України	3	Види Європейського Червоного списку	5	Урбанofільність		
2	Види Бернської конвенції	4	Гемеробність видів.	6	Фітоценотип		

Модуль екологічного аналізу ставить за мету проведення фітоіндикаційної оцінки за видовим складом. В основі розрахунків лежить принцип зваженого середнього, де додатками є оцінки видів в екологічних шкалах. Розрахунок можливий за 14 екологічними чинниками. Результатом є фітоценотичні показники, що визначають екологічний центр синтаксону.

Модуль біоморфологічного аналізу ставить за мету встановлення спектра (співвідношення) різних життєвих форм у складі ценофлори. За базову прийнято класифікацію життєвих форм К. Раункієра. При розрахунках устанавлюється відносний уміст видів різної життєвої форми, що визначає морфологічну та фізіономічну структуру фітоценозів. Також проводиться аналіз за традиційною системою класифікації життєвих форм І. Г. Серебрякова та за типом підземної сфери.

Модуль синтаксономічної ідентифікації ставить за мету визначення фітоценотичного спектра, котрий являє співвідношення в складі певного фітоценозу флористичних елементів різних синтаксонів. Наявність у БД інформації щодо діагностичних видів різних синтаксонів дозволяє проводити розрахунок фітоценотичного спектра автоматично і таким чином визначати ті синтаксони, до яких у найбільшій мірі тяжіє той чи інший фітоценоз.

Структура БД являє систему таблиць, у кожній з яких зберігаються дані окремого модуля фітоценотеки. Між собою таблиці зв'язані в реляційну структуру за спільними полями. Поля з обох боків реляційного зв'язку індексуються для прискорення пошуку і виконання запитів до БД. Коло цих запитів надзвичайно широке за призначенням, від створення вибірки описів за певним критерієм (автором, датою опису, наявністю певного виду у фітоценозі), до фітоіндикаційних

розрахунків та автоматичної класифікації. Основними індексними полями є номер опису для модуля «Фітоценоз» назва виду для таксономічного модуля

Висновки і перспективи подальших досліджень передбачають актуалізацію бази даних з просторовими та атрибутивними характеристиками для соціологічної оцінки територій і об'єктів НПП «Північне Поділля». Введення та накопичення інформації у великих фітосоціологічних базах за уніфікованим флористичним списком є досить проблематичним і водночас вкрай необхідним. Максимально правильно і чітко введені дані та сформовані на їх основі вибірки, дозволять проводити коректні метааналізи, що на порядок підвищить об'єктивність та точність отриманих результатів.

1. Ємельянова С.М., Куземко А.А. (2017). Національна фітосоціологічна база даних рослинності України (UKRVEG): актуальність створення та проблеми розбудови. *Класифікація рослинності та біотопів України як наукова основа збереження біорізноманіття: матеріали другої науково-теоретичної конференції* (с.24-37). Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. <https://www.researchgate.net/publication/323581800>.

2. Mokryi V.I., Arustamyan E.M., & Bondar V.I. (2024). Концептуальна модель соціологічної бази даних біологічного різноманіття НПП "Північне Поділля. *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects. International Science-Practical Conference, October 23-25, 2024, Lviv, Ukraine*. <https://doi.org/10.36930/conf150.4.14>.

3. НПП «Північне Поділля». <https://park-podillya.com.ua/>.

4. Кагало О.О. (2012). В.А. Онищенко і Т.Л. Андрієнко (Ред). *Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки*. (с.381-394). Київ: Фітосоціоцентр.

5. Гончаренко І. В. Модульна організація баз даних для цілей фітоценотичного аналізу (2008). *Екологія та ноосферологія, Т. 19, № 1-2*, 31-44. <https://goo.gl/prurea>.

Олександр Несторенко
Сілезька академія, м. Катовіце, Польща
Кіра Черниш
Бердянський державний педагогічний університет, м. Запоріжжя, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ФІНАНСОВОГО УПРАВЛІННЯ БІЗНЕСОМ

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки інформаційні технології стали невід'ємною частиною управління бізнесом. Особливо це стосується фінансового управління, де точність, оперативність і доступ до актуальної інформації мають критичне значення (Піперков та ін., 2021). ІТ-рішення змінюють спосіб планування, контролю та аналізу фінансових потоків, підвищуючи ефективність прийняття рішень. Фінансове управління – це основа стабільності та розвитку будь-якого бізнесу. В умовах глобалізації, конкурентного тиску та високої динаміки ринку важливо мати гнучкі інструменти для моніторингу витрат, доходів, інвестицій та ризиків. Саме ІТ дають змогу бізнесу адаптуватися, оптимізувати процеси, приймати стратегічно виважені рішення (Лебідь, 2023), оцінити ризики при прийнятті інвестиційних рішень (Несторенко, & Сердюк, 2010).

Мета дослідження полягає в визначенні ролі інформаційних технологій у фінансовому управлінні бізнесом, виявленні основних напрямів їх застосування та оцінці впливу на ефективність управління фінансами, аналізі переваг цифрових рішень для обліку, планування та аналізу.

Фінансове управління охоплює облік, планування, контроль та аналіз фінансової діяльності підприємства. Усі ці процеси потребують точності, своєчасності та доступності даних. Саме інформаційні технології стали інструментом, який дозволяє ефективно вирішувати ці завдання в умовах високої конкуренції та динамічного середовища (Рябенко та ін., 2024).

ІТ забезпечують оперативний збір, обробку та зберігання фінансової інформації, що дає змогу в режимі реального часу аналізувати фінансовий стан підприємства, проводити оцінку ризиків, контролювати витрати, визначати дохідність інвестицій. Вони також сприяють забезпеченню прозорості фінансової діяльності та дотриманню вимог законодавства та стандартів. У сфері фінансового управління використовується велика кількість ІТ-рішень, які умовно можна поділити на кілька груп:

ERP-системи (Enterprise Resource Planning) інтегрують усі підрозділи компанії в єдину інформаційну систему. Наприклад, SAP, Oracle ERP Cloud дозволяють вести облік, формувати фінансову звітність, автоматизувати облік витрат, нарахування зарплати, управління складом та інші процеси. Вони забезпечують централізацію даних, що сприяє точності та узгодженості інформації;

системи бізнес-аналітики (BI) – наприклад, Power BI, Tableau, QlikView дозволяють візуалізувати фінансові показники, аналізувати тенденції та аномалії, будувати прогнози на основі великих обсягів даних. Завдяки цим інструментам керівники отримують можливість приймати обґрунтовані фінансові рішення на основі актуальної аналітики;

хмарні бухгалтерські системи, наприклад, такі як QuickBooks, Xero, Wave, дають можливість вести бухгалтерію онлайн, що особливо зручно для малого та середнього бізнесу. Дані зберігаються в хмарі, доступ до них можливий з будь-якого пристрою, що забезпечує гнучкість і мобільність у фінансовому менеджменті;

системи бюджетування та фінансового планування дозволяють формувати бюджети на різні рівні, контролювати їх виконання, аналізувати відхилення та прогнозувати майбутні фінансові потоки;

цифрові платіжні платформи – такі як PayPal, Stripe, Square, Monobank, Revolut тощо, значно спрощують проведення міжнародних розрахунків, електронних платежів, інтеграцію з інтернет-магазинами, що підвищує ефективність фінансових операцій.

До переваг використання ІТ-технологій у сфері фінансового управління бізнесом можна віднести наступне:

1) автоматизація процесів, внаслідок чого зменшується кількість рутинних операцій, що виконує персонал (формування звітності, проведення транзакцій, облік витрат тощо). Це економить час і зменшує витрати на оплату праці;

2) підвищення точності обліку, тому що використання ІТ-технологій мінімізує вплив людського фактору і ймовірність помилок, забезпечує контроль за повнотою та правильністю фінансових операцій;

3) прозорість та контроль, завдяки яким керівництво отримує доступ до аналітики у режимі реального часу. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни, приймати ефективні фінансові рішення, уникати нецільових витрат;

4) прогнозування та планування – сучасні ІТ-системи дають змогу будувати фінансові моделі, симуляції, здійснювати сценарне планування, що є надзвичайно важливим у турбулентному середовищі;

5) оптимізація витрат, яка відбувається завдяки аналізу витрат, маржинальності та рентабельності бізнесу. ІТ-технології дозволяють знайти точки зниження витрат та збільшення прибутковості.

Майбутнє фінансового управління пов'язане з активним використанням штучного інтелекту (AI) – для прогнозування ринкових змін, виявлення фінансових шахрайств, автоматичної обробки даних; роботизованої автоматизації процесів (RPA), яка дозволяє створювати “віртуальних співробітників” для виконання стандартних завдань; блокчейн-технологій, які забезпечать вищий рівень безпеки, прозорості та достовірності транзакцій; фінансових мобільних застосунків та віртуальних асистентів, що зроблять управління фінансами доступним і простим навіть для малого підприємця (Пітел, 2024).

Таким чином, у ході дослідження було встановлено, що інформаційні технології відіграють вирішальну роль у трансформації фінансового управління бізнесом. Їх викорис-

тання забезпечує автоматизацію рутинних операцій, підвищення точності обліку, оперативність у прийнятті рішень та прозорість фінансових процесів.

По-перше, сучасні ІТ-рішення – ERP-системи, ВІ-платформи, хмарні бухгалтерські сервіси – суттєво покращують функціонування підприємств, забезпечуючи цілісне бачення фінансового стану та оптимізацію фінансових потоків. Завдяки цьому компанії здатні швидко реагувати на зміни ринку, контролювати витрати та планувати прибутки.

По-друге, ІТ-рішення дають змогу перейти від реактивного управління до проактивного, тобто замість реагування на фінансові проблеми – передбачати їх і вчасно запобігати. Прогнозна аналітика, моделювання сценаріїв, оцінка ризиків стали доступними не лише великим корпораціям, а й середньому та малому бізнесу.

По-третє, цифровізація фінансів відкриває нові горизонти для розвитку підприємств, особливо в умовах цифрової економіки. Використання штучного інтелекту, блокчейн-технологій, мобільних додатків для управління фінансами забезпечує конкурентні переваги тим, хто швидко адаптується до змін.

Разом із тим, впровадження ІТ-технологій супроводжується певними викликами: високими витратами на запуск систем, потребою у кваліфікованому персоналі, ризиками кібербезпеки. Проте ці виклики можна подолати за умови стратегічного підходу до цифрової трансформації бізнесу.

Отже, впровадження інформаційних технологій у фінансове управління – це не лише необхідність, а й потужний інструмент підвищення ефективності, стабільності та інноваційності бізнесу. Компанії, які інтегрують ІТ у свої фінансові процеси, отримують довгострокову конкурентну перевагу та потенціал для сталого розвитку у цифрову епоху.

1. Лебідь, О. (2023). Цифрові та інформаційні технології в управлінні підприємством: реальність та погляд у майбутнє. *Економіка та суспільство*, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-19>.

2. Несторенко, Т.П., & Сердюк, О.В. (2010). Методи оцінки ризику при прийнятті інвестиційних рішень у рекреаційній сфері. *Вісник Сумського національного аграрного університету, серія "Фінанси і кредит"*, 2, 171-178.

3. Піперков, Д.А., Несторенко, Т.П., & Покуса, Т. (2021). Роль інформаційно-комунікаційних технологій у розвитку банківських систем України та Польщі. Європейський вектор модернізації економіки: креативність, прозорість та сталий розвиток: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції, 21-22.04.2021. Харківський нац. ун-т будівництва та архітектури, 94-96. Доступно з: <https://cutt.ly/KO4GNlj>.

4. Пітел, Н.С. (2024). Використання цифровізації для підвищення ефективності публічного управління під час воєнного стану. *Конкурентоспроможна модель інноваційного розвитку економіки України* : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Кропивницький, 07-08 лист. 2024 р. ЦНТУ, 96-98. Доступно з: <https://kntu.kr.ua/file/content/13532/zbirnyk-tez.pdf>

5. Рябенко, Г., Верланов, О., Звягінцева, О., & Клименко, С. (2024). Антикризове фінансове управління підприємством: теоретичний аспект. *Сталий розвиток економіки*, (1(48)), 125-128. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-17>

6. Nestorenko, T., & Ostenda, A. (2019). Public Internal Audit: International Scope. *Journal of Modern Economic Research*, 1(4), 33-43. Retrieved from <https://cutt.ly/IYcCqzm>

РОЗРОБКА UI/UX ДИЗАЙНУ ДОДАТКУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСТА

In today's climate change, urbanization, and increasing number of natural disasters, there is a need to introduce innovative information technologies to monitor the environment. The report presents an example of the design of the Green Guard environmental mobile application created to monitor the environmental situation in Uzhhorod using various technologies. The application combines IoT sensors, digital analytics, drones, AI forecasting modules, and a user-friendly interface for several types of users, which allows for operational monitoring of air quality, temperature changes, noise levels, and other environmental indicators. The study reviewed global practices of using similar digital tools, as well as a comparative analysis and consideration of military instability. Particular attention is paid to a personalized approach to environmental awareness of citizens, as well as the prospects for scaling such solutions to other cities of Ukraine.

Keywords: the app, Internet of Things, interface, climate, environmental monitoring, data analysis, drones.

У сучасних умовах змін кліматичної ситуації, урбанізації та зростання природних катастроф виникає потреба у впровадженні інноваційних інформаційних технологій для моніторингу стану довкілля. У дослідженні представлено приклад реалізації дизайну екологічного мобільного додатку Green Guard, створеного для моніторингу екологічної ситуації в місті Ужгород з використанням різних технологій. Додаток поєднує в собі IoT-сенсори, цифрову аналітику, застосування дронів, AI-модулі прогнозування та зручний інтерфейс для декількох типів користувачів, що дозволяє здійснювати оперативне спостереження за станом повітря, температурними змінами, рівнем шуму та іншими екологічними показниками. Під час дослідження було переглянуто світові практики використання схожих цифрових інструментів, а також зроблено порівняльний аналіз та врахування умов воєнної нестабільності.

Особлива увага приділяється персоналізованому підходу до екологічного інформування громадян, а також перспективам масштабування подібних рішень для інших міст України.

Ключові слова: додаток, Інтернет речей, інтерфейс, клімат, екологічний моніторинг, аналіз даних, дрони.

Наразі в світі надзвичайно актуальним постає питання сталого розвитку міст, в тому числі – управління станом довкілля. Ефективне управління екологічною ситуацією потребує не лише доступу до достовірної інформації, але й створення гнучких, адаптивних інструментів, які можуть у реальному часі збирати, обробляти й аналізувати дані, здійснюючи моніторинг навколишнього середовища.

Метою дослідження стало об'єднання передових інформаційних технологій, таких як Інтернет речей (IoT) [1], технології розумного дому, розумного міста, а також БПЛА та їх можливостей для побудови екологічної платформи для міста Ужгород. Попри інтенсивний розвиток концепції розумного міста [2], увага здебільшого приділяється питанням електрифікації, оптимізації трафіку та цифровізації послуг, в той час як екологічна безпека часто залишається недостатньо опрацьована. Це вимагає впровадження новітніх рішень, спрямованих на захист довкілля і здоров'я громадян. Сучасні наукові дослідження визначають певні напрями розвитку систем моніторингу довкілля. Інтеграція Інтернету речей (IoT) і великих даних (BigData), які дозволяють встановлювати мережі сенсорів, що збирають інформацію про стан атмосфери, води, ґрунту в режимі реального часу. За даними дослідження [3], використання IoT у моніторингу підвищує оперативність збору даних на 40% у порівнянні з традиційними методами. Водночас обробка великих обсягів даних із застосуванням хмарних технологій та штучного інтелекту (AI) дає змогу прогнозувати екологічні зміни і вчасно попереджати про небезпеку. Це також можна використати і в українському досвіді, коли відбувається повна руйнація міст, датчики є набагато ефективніші ніж метеостанції та центри вимірювань. Мобільні технології стали важливим каналом донесення екологічної інформації, це є ще один основний напрям. За

даними World Economic Forum (2022), близько 68% населення у містах розвинених країн використовує мобільні додатки для отримання даних про якість повітря [4]. Прикладами є додатки IQAir AirVisual і BreezoMeter, які поєднують дані із супутникових джерел, наземних станцій і персональних сенсорів. Проекти типу Smart Citizen Kit (Барселона, Іспанія) дозволяють жителям міста самостійно встановлювати датчики і долучатися до створення екологічних карт (Balestrini et al., 2017), що також не можливо оминути і в контексті вітчизняного розвитку. Однією з функцій додатку є часткове поширення даних для науковців та студентів певних спеціалізацій. Конкретними світовими прикладами є ініціатива Smart Nation у Сінгапурі, де в рамках проекту було запущено мобільний додаток myENV, який надає громадянам доступ до інформації про екологічний стан довкілля. У США набув розголосу додаток AirVisual від компанії IQAir, який надає глобальні карти забруднення повітря, побудовані на основі даних із супутників та наземних сенсорів (IQAir, 2020) [5]. Користувачі отримують індивідуальні повідомлення про ризики для здоров'я залежно від місцезнаходження. У Європі діють різноманітні ініціативи в межах програми Green Deal, що передбачають встановлення спеціальних мереж в містах. Зокрема, проект Air Quality Platform в Іспанії дозволяє в реальному часі відстежувати концентрації основних забруднюючих речовин (European Commission, 2022) [6].

Недоліками в такому випадку можуть бути агреговані дані з різних джерел – супутникових знімків, сенсорів, метеорологічних моделей, в той час як Green Guard використовуватиме більшість даних з власних датчиків та дрони, які можуть проводити додаткові виміри. Більшість додатків орієнтовані на загальні показники для великих зон, а не для конкретної вулиці або мікрорайону. Варто врахувати і слабку інтеграцію із науковими дослідженнями (результат – закритість даних) та, на мою думку, один з найкритичніших факторів проблеми з кібербезпекою і приватністю (додатки збирають дані про геолокацію користувача для прогнозів, але часто не пояснюють, як ці дані захищаються або ким ще можуть бути використані).

В Україні екологічний моніторинг лише починає набирати популярності та уваги. Найвідомішим прикладом є платформа SaveEcoBot, яка об'єднує дані державних і комерційних станцій моніторингу повітря. Проте ці рішення переважно орієнтовані на візуалізацію даних і мають обмежені можливості для аналітики та наукової обробки інформації. Також варто згадати проект Luftdaten у Києві, де ентузіасти встановлюють самостійно зібрані датчики для вимірювання якості повітря (Luftdaten Kyiv, 2022) [7]. Проте такі системи часто страждають на нестачу точності та недостатню стандартизацію даних. Серед основних проблем, які притаманні вітчизняним екологічним додаткам, можна виокремити: Відсутність єдиної централізованої системи збору екологічних даних; Відсутність спеціалізованих сервісів для різних категорій користувачів (зокрема алергіків, дітей, людей з обмеженнями). Тому передбачення недоліків для покращення нового мобільного додатку, здатне підвищити ефективність функціонування навіть у складних умовах, зокрема під час воєнного стану.

У відповідь на все вище зауважене, є рішення – це створення інноваційного мобільного додатку під назвою Green Guard. На відміну від багатьох існуючих систем, Green Guard буде опиратися переважно на дані власного збору, що підвищить точність, актуальність та незалежність інформації. Унікальність проекту полягає в деталізованих даних до рівня окремих вулиць або мікрорайонів міста Ужгород, що дозволить мешканцям оперативно отримувати інформацію саме про свій район. Використання безпілотників дозволить проводити регулярні вимірювання, уточнювати певні дані, а також стане перспективою розвитку нових літальних апаратів. Дизайн та інтерфейс додатку спеціально розроблені для максимальної зручності користувачів: легка навігація, яскраві інфографіки, інтерактивні мапи з можливістю накладення різних екологічних показників, адаптивність під різні пристрої. У контексті кібербезпеки та захисту приватності, Green Guard передбачатиме повну прозорість політики збору та використання даних. Геолокаційні дані користувачів будуть використовуватись лише з їхньої згоди та не надаватимуться для сторонніх джерел чи використання для покращення додатку.

Архітектура цього проекту включає інтеграцію IoT-пристроїв, дронів, хмарних технологій та штучного інтелекту для прогнозування змін екології. Мобільний додаток відображає дані, дозволяючи користувачам одержувати прогнози та візуалізувати результати

моніторингу, що забезпечить масштабованість системи та надасть перспективи для подальшого розвитку. І це тільки один з планів, як може бути реалізований проект. Після опису технічних аспектів варто вказати перспективи та його значення. Завдяки такій архітектурі, Green Guard стане важливим інструментом для моніторингу екологічного стану міста, надаючи жителям та органам місцевого управління точну та своєчасну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень. Проект має великий потенціал для перенесення в інші міста, що дозволить покращити екологічний моніторинг на національному рівні та сприяти сталому розвитку урбаністичних територій.

У підсумку дослідження, проект Green Guard є інноваційним рішенням, яке може змінити екологічну безпеку в міських умовах. Завдяки використанню новітніх інформаційних технологій, розробка подібного додатку сприятиме покращенню обізнаності населення щодо стану довкілля, підвищенню особистої безпеки громадян та стимулюванню розвитку екологічної культури. Для науковців та студентів це стане важливим кроком у напрямі розвитку STEM-освіти, дослідницьких проєктів та інноваційних екологічних рішень. Для держави та громад – створення ефективних механізмів швидкого реагування на екологічні загрози.

1. Statista. (2023). *Number of Internet of Things (IoT) Connected Devices Worldwide*. <https://www.statista.com/topics/987/internet-of-things-iot>
2. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). *Internet of Things for Smart Cities*. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
3. Katie, B. (2024). *Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring*. *International Journal of Computing and Engineering*, 6(3), 29-42. <https://www.carijournals.org>
4. World Economic Forum. (2022). *The Future of the Smart City: Challenges and Opportunities for Sustainable Urban Development*. <https://www.weforum.org/agenda/2022/03/future-smart-city-2022/>
5. IQAir. (2020). *World Air Quality Report 2020*. <https://www.iqair.com/dl/pdf-reports/world-air-quality-report-2020-en.pdf>
6. European Commission. (2022). *Zero Pollution Outlook 2022*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/zero-pollution-outlook-2022-0_en
7. Luftdaten Kyiv. (2022). *Luftdaten Project in Kyiv: Citizen-led Air Quality Monitoring*. <https://www.luftdaten.info/kyiv>

Олексюк Ганна, Попадинець Назарій, Лагун Андрій
Навчально-науковий інститут просторового планування та перспективних
технологій Національного університету «Львівська політехніка»

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ МІСТОМ

Інтегрований екологічний простір сучасного міста являє собою складну неадитивну систему, де всі компоненти – екологічні, соціальні, економічні – взаємопов'язані. Згідно з містобудівною документацією, територіальні громади функціонують у межах закритих систем, що, однак, активно взаємодіють із відкритими просторами (економічним, соціальним, екологічним тощо). Основна проблема управління цими системами полягає у необхідності комплексної оцінки впливу антропогенних процесів на довкілля з урахуванням синергії, яка може мати як позитивний, так і негативний ефект.

Геосоціосистема – термін, що використовується для позначення тісної взаємодії природного, соціального та економічного середовищ – виступає фундаментом для інтеграційного

екологічного аналізу [1]. Впливи, зумовлені забудовою, зростанням чисельності населення, відходами, транспортом, енергетикою, змінами у флорі й фауні, формують поліструктурний синергетичний простір, який не можна досліджувати лише через сукупність окремих факторів.

Будівництво, зокрема житлове, у сучасних українських містах, що активізувалось у зв'язку з війною та переміщенням населення, створює позитивний соціально-економічний ефект, але водночас зумовлює втрати природних ландшафтів, зменшення поглинаючої здатності ґрунтів, збільшення підтоплень і навантаження на екологічну систему. Щільна забудова без урахування екологічних стандартів спричиняє зниження якості повітря, води, порушення флори й фауни.

Зростання кількості транспорту, з одного боку, свідчить про підвищення рівня життя населення, а з іншого – створює навантаження на дорожню інфраструктуру, спричиняє перевищення допустимих рівнів викидів, шуму, зношення покриття. Подібно, відходи від будівництва та життєдіяльності населення створюють потребу у новій інфраструктурі з очищення, переробки, утилізації, якої часто бракує.

Виробництво тепла і використання електрогенераторів у відповідь на енергетичну кризу породжують окремий негативний синергетичний вплив, пов'язаний із забрудненням повітря та шумовим навантаженням. Відсутність регламентацій для встановлення генераторів підсилює безконтрольне забруднення середовища.

Паралельно, потенціал міської флори і фауни зменшується, що загрожує втратами біорізноманіття. Саме тому, системна екологічна оцінка вимагає використання сучасних інформаційних технологій та цифрових платформ моніторингу.

Узагальнений синергетичний ефект оцінюється з урахуванням кількісних показників, ступеня шкідливості та ймовірності граничного впливу для шести ключових напрямів: будівництво, відходи, транспорт, виробництво тепла, альтернативна енергетика, флора і фауна. Комплексний показник екологічних проблем дозволяє здійснити аналітичну оцінку екологічної ситуації в місті.

Розвиток web- і мобільних додатків для екологічного моніторингу дозволяє оперативно виявляти екологічні загрози та прогнозувати їх наслідки. Використання таких ІТ-рішень у поєднанні з алгоритмами нечіткої логіки та Big Data-аналітики стає основою цифрового екологічного управління.

Таким чином, сучасне місто потребує нової парадигми екологічного управління, що базується на системності, синергетичному підході та цифрових технологіях. Такий підхід дозволяє не лише діагностувати екологічні проблеми, а й формувати стратегічні рішення для сталого розвитку міських екосистем.

І. Голубець, М. А., Гнатів, П. С. (2007). Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону. Львів: Поллі, 288 с.

Охріменко Андрій

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

ВПЛИВ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

У контексті глобальних викликів, пов'язаних із зміною клімату, деградацією земельних ресурсів, зростанням потреб у продовольстві та необхідністю досягнення Цілей сталого розвитку, дедалі більшого значення набуває екологізація сільськогосподарського виробництва. Одним із ключових чинників забезпечення екологічної трансформації аграрного сектору є впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) як основи для формування інноваційних та сталих моделей ведення сільського господарства.

Інформаційні технології створюють інтелектуальне середовище, що дозволяє аграрним виробникам приймати науково обґрунтовані рішення, спрямовані на оптимальне використання природних ресурсів, мінімізацію екологічного навантаження та збереження біорізноманіття. До найважливіших інструментів, які забезпечують екологічну ефективність, належать: геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), технології точного землеробства, системи моніторингу ґрунтів, водних ресурсів і метеоумов, блокчейн, великі дані (Big Data), Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект (AI) [1].

Впровадження ГІС і ДЗЗ у сільському господарстві дає змогу здійснювати просторовий аналіз екологічного стану землі, моніторинг сільськогосподарських угідь, виявлення деградованих ділянок, контролювати водозбірні басейни та забезпечити адаптивне планування використання ресурсів. Ці технології дозволяють не лише виявляти проблемні ділянки, а й створювати геопросторові карти, що інтегрують екологічні, економічні та технологічні показники, що значно підвищує ефективність управлінських рішень.

Технології точного землеробства, які базуються на застосуванні сенсорів, супутникової навігації та цифрових аналітичних платформ, сприяють скороченню використання мінеральних добрив, пестицидів та гербіцидів, знижуючи рівень забруднення ґрунтів і водних об'єктів. Дозоване внесення засобів захисту рослин та добрив, контроль вологості, кислотності й структури ґрунту сприяють збереженню родючості земель та мінімізації негативного антропогенного впливу.

Системи моніторингу та прогнозування метеоумов дозволяють сільгоспвиробникам адаптувати свою діяльність до зміни клімату, оптимізувати строки посіву та збору врожаю, знижуючи ризики втрат та забезпечуючи стабільність виробництва. Інтернет речей (IoT), інтегрований у системи агрометеорологічного моніторингу, дає змогу в режимі реального часу фіксувати зміну екологічних параметрів на полях, в теплицях, на фермах, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які екосистемні збої [2].

Штучний інтелект, у свою чергу, використовується для моделювання та прогнозування екологічних наслідків сільськогосподарської діяльності. На основі аналізу історичних та поточних даних AI-системи можуть прогнозувати сценарії розвитку агроєкосистем, оцінювати ризики ерозії, виснаження ґрунтів, зміни біорізноманіття та пропонувати адаптивні управлінські стратегії. Інструменти штучного інтелекту також використовуються для аналізу зображень з дронів та супутників, що сприяє ранньому виявленню хвороб культур і прогнозуванню врожайності з урахуванням екологічних факторів.

Особливої уваги заслуговує використання блокчейн-технологій у забезпеченні екологічної прозорості ланцюгів постачання агропродукції [3]. Вони дозволяють створити надійні бази даних щодо походження продукту, способів його вирощування, використаних засобів захисту рослин та добрив, що є критично важливим для контролю екологічної безпеки, органічного виробництва та сертифікації продукції. Така прозорість формує довіру споживачів, стимулює впровадження стандартів екологічної відповідальності та забезпечує сталу конкурентоспроможність аграрного сектору.

Крім того, Big Data забезпечують комплексний аналіз екологічних даних у сільському господарстві, що дозволяє виявити довгострокові закономірності, оцінити вплив кліматичних змін, створити інтегровані моделі взаємодії природних і техногенних факторів. Це є підґрунтям для формування стратегічного бачення сталого розвитку аграрного виробництва.

Запровадження IT-рішень має суттєвий вплив і на соціальний вимір екологізації аграрного виробництва: воно сприяє підвищенню освітнього рівня сільського населення, формуванню нових компетенцій у сфері цифрового землеробства, зменшенню ручної праці та покращенню умов праці на селі. Доступ до інформаційних технологій відкриває нові можливості для малого та середнього аграрного бізнесу, зокрема через платформні рішення, мобільні додатки, онлайн-сервіси агроконсультацій та цифрового моніторингу.

Отже, вплив IT-технологій на екологічний розвиток сільського господарства є багатовимірним, охоплюючи технологічну, економічну, соціальну та природоохоронну площини. Вони сприяють переходу до моделі сталого, адаптивного, екологічно відповідального виробництва,

що враховує не лише потреби сьогодення, а й безпеку майбутніх поколінь. У сучасних умовах цифрової трансформації аграрного сектору, саме інформаційні технології виступають ключовим чинником підвищення екологічної ефективності та інноваційного розвитку сільського господарства.

1. Бабійчук, С. М. (2024). Впровадження технологій дистанційного зондування Землі в освітній процес Малої академії наук України: ретроспектива, сучасний стан і перспектива. *Наукові записки Малої академії наук України*, 2(30), 13–22. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2024-30-02>

2. Дугінець, Г., & Ніжейко, К. (2023). Цифровізація аграрного сектору ЄС: досвід для України. *Економіка та суспільство*, (56). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-148>

3. Мазур, Ю., Фротер, О., Длугоборська, Л., & Пархоменко, Л. (2023). Використання штучного інтелекту в галузях економіки (сільське господарство, промислове виробництво, переробка продукції). *Наука і техніка сьогодні*, (3 (17)). [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-3\(17\)-566-575](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-3(17)-566-575)

Maria Rashkevych
Lviv Polytechnic National University

JOINT AND DOUBLE DEGREE PROGRAMMES AS A TOOL FOR THE INTERNATIONALIZATION OF HIGHER EDUCATION

The article explores joint and double degree programmes as an effective tool for internationalizing higher education. It analyzes European quality assurance standards, recommendations for joint degree recognition, and the latest Ukrainian Ministry of Education and Science guidelines. The role of academic mobility, institutional coordination, and digital technologies in programme implementation is emphasized.

Keywords: joint programmes, double degrees, internationalization, education quality, international cooperation.

The image of the modern higher education system is inseparable from its internationalization. In global practice, joint and double degree programmes have become essential tools for expanding academic exchanges, enhancing the quality of education, and fostering intercultural cooperation.

According to the 6th Global Report on the Internationalization of Higher Education by the International Association of Universities (IAU, 2024), 63% of higher education institutions worldwide implement joint or double degree programmes. Among them, 56% offer two diplomas awarded by partner institutions, while 49% implement integrated joint programmes. A significant aspect of modern internationalization is the role of virtual mobility, particularly through COIL (Collaborative Online International Learning) or online exchanges, which has become a trend for 80% of higher education institutions [1].

The quality assurance of joint programmes is governed by the European Approach for Quality Assurance of Joint Programmes, adopted in 2015 [2]. This European approach sets common quality evaluation criteria for joint programmes, regardless of the national accreditation systems of the participating countries. It simplifies the accreditation process, avoids duplication, and ensures international trust in joint degrees. The approach emphasizes transparency, the involvement of all partner institutions, and a focus on learning outcomes.

Another significant document is the Recommendation on the Recognition of Joint Degrees, adopted under the Lisbon Recognition Convention in 2016 [3]. The recommendation aims to simplify the recognition procedures for joint degrees by confirming their legal validity and equivalence on an international level. It underscores the need for mutual recognition of academic achievements and fosters increased academic mobility for graduates.

In Ukraine, an important step in the development of joint programmes was the approval of the Methodological Guidelines for the Implementation of Agreed Joint Educational Programmes (Ministry of Education and Science Order No. 518, dated 27.03.2025) [4], which outlines the main organizational, academic, and legal aspects of cooperation between Ukrainian and foreign higher education institutions.

These guidelines serve as a key regulatory framework for universities planning to implement or already running joint or double degree programmes. The guidelines highlight the following key provisions:

- **Types of Programmes:** The distinction between joint and double degree programmes. A double degree programme involves the awarding of separate diplomas by each side, while a joint programme involves a single diploma issued by several partner institutions.
- **Contractual Agreements:** The requirement to establish a detailed agreement between partner institutions that clearly defines the programme structure, language of instruction, assessment mechanisms, distribution of responsibilities, and legal aspects of mutual recognition of study periods.
- **Academic Mobility:** Special attention is given to student mobility, which is an integral part of joint programmes. The document stipulates that at least 30% of the academic workload should be completed at the partner institution.
- **Quality Assurance:** The need for a joint internal quality assurance system based on ESG (Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area). The guidelines require partner institutions to conduct a joint evaluation of learning outcomes, examination boards, and final assessments.
- **Degree Documents:** In the case of a double degree programme, each institution issues its own diploma with a reference to the partner programme. In a joint programme, a single diploma template is developed, approved by both parties.
- **Language of Instruction:** Requirements regarding foreign language proficiency and the possibility of teaching certain courses in a foreign language, as agreed by the partners.

The guidelines aim to harmonize the Ukrainian higher education system with the European Higher Education Area (EHEA). Their adoption addresses the needs of universities for clear, legitimate rules for implementing internationally recognized programmes. This also stimulates the formation of partnerships based on academic trust, transparency, and shared quality standards.

Conclusions

The development of joint and double degree programmes is a key tool for the internationalization of Ukrainian universities. The presence of regulatory frameworks, particularly the Ministry's Methodological Guidelines [4], creates favorable conditions for developing programmes that align with European standards. At the same time, successful implementation of these programmes requires strategic partnerships, effective coordination between educational institutions, and preparation of faculty for intercultural interaction and the use of digital technologies. Moving forward, it is important to disseminate best practices, strengthen institutional capacity, and ensure the sustainability of cooperation.

1. International Association of Universities (IAU). (2024). 6th Global Survey on Internationalization of Higher Education.

2. EQAR. (2015). European Approach for Quality Assurance of Joint Programmes. URL: <https://www.eqar.eu/kb/joint-programmes/>

3. Lisbon Recognition Convention Committee. (2016). Recommendation on the Recognition of Joint Degrees. URL: https://www.enic-naric.net/fileusers/JointDegrees_Recommendation_Adopted2016.pdf

4. Ministry of Education and Science of Ukraine. (2025). Methodological Guidelines for the Implementation of Agreed Joint Educational Programmes (Order No. 518, dated 27.03.2025). URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2025/04/01/518.pdf>

Віталій Ромака
Дрезденський технологічний університет, Дрезден, Німеччина
Баран Мар'яна
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут просторового планування та перспективних технологій
Васькович Ростислав
Стрийський ліцей імені Героя України Андрія Корчака

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ У МІСТАХ

Автотранспорт є значним забруднювачем атмосфери в містах, і обсяг викидів від нього зростає з 2013 року через стан інфраструктури та систем контролю. Він істотно впливає на навколишнє середовище, спричиняючи викиди парникових газів, забруднення повітря та води, ерозію ґрунту, деградацію землі та шумове забруднення. Транспорт відповідає за значну частку світових викидів парникових газів, що змушує уряди встановлювати суворіші стандарти для транспортних засобів. Основним парниковим газом є вуглекислий газ, але також викидаються оксиди азоту, неметанові вуглеводні та тверді частинки, які погіршують якість повітря, сприяють зміні клімату та шкодять здоров'ю людей.

Для вирішення цих проблем уряди підвищують стандарти викидів парникових газів, заохочуючи використання ефективніших транспортних засобів з меншими викидами. Вживаються заходи, такі як встановлення мінімальних стандартів економії палива, стимулювання електричних і гібридних транспортних засобів, а також надання податкових пільг для екологічних транспортних рішень.

Зважаючи на шкідливий вплив викидів парникових газів, важливо знаходити способи зменшення впливу автомобільного транспорту, який є другим за величиною джерелом цих викидів, становлячи майже чверть від загальної кількості. Моніторинг якості повітря є важливим для її покращення, захисту здоров'я населення та забезпечення відповідності нормам, а також для визначення джерел забруднення, моніторингу зміни клімату та підтримки досліджень. Тому одним з актуальних питань є дослідження екологічного впливу автомобільного транспорту на атмосферне повітря в містах, надання інформації про стан повітря у великих містах, прогнозування та розрахунок забруднення повітря.

На основі аналізу існуючих рішень для створення системи, яка б ефективно досліджувала вплив автомобільного транспорту на забруднення повітря було відібрано найефективніші технології та інструменти. Для створення бази даних було використано MySQL з графічним інтерфейсом MySQL Workbench. Програмна реалізація здійснена мовою C# з застосуванням MVC ASP.NET для веб-додатку. Основні вимоги, які ставилися до системи: аналіз факторів забруднення, методів оцінки, розробка моделі оцінки ризику на основі нечіткої логіки, вибір технологій для реалізації, створення бази даних, розробка системи контролю впливу транспорту та опис інтерфейсу.

Для створення системи було використано систему відстеження транспортних засобів і моніторингу забруднення (VTPM). VTPM – це система вимірювання забруднення навколишнього середовища, інтегрована з системою відстеження транспортних засобів, яка забезпечує необхідні функції відстеження транспортних засобів (сумісна з AIS-140) разом із вбудованим модулем вимірювання забруднення, який вимірює в реальному часі [1].

Для розроблення моделі системи було використано нечітку логіку. У роботі чітко описано процес розроблення моделі для контролера нечіткої логіки: обрані лінгвістичні змінні, процедуру фазифікації, правила логічного виведення. Після цього, було реалізовано розроблену модель за допомогою нейронечіткого контролера.

Для системи було сформовано інформаційну модель дослідження. Були описані вхідні та вихідні дані, параметри розроблюваної моделі; методи отримання інформації проєктованої системи та засоби вимірювання показників. Проаналізовано технології для розробки сайту.

Серед вибраних технологій було розглянуто ML.NET, C#, ASP.NET MVC, HTML, CSS, JS, SQL, як оптимальні технології та засоби реалізації завдання.

Для системи було розроблено базу даних (рис. 1). Зв'язок між таблицями “Місто” та “Координати” є обов'язковий один до багатьох, тобто без міста неможливо буде додати дані в таблицю координат. Так само без значення координат, користувач не зможе створити висновок згідно свого моніторингу у таблиці “Висновок”. Ідентичний зв'язок є між “Показники” та “Висновок”. Між таблицею “Служба” та “Показники” є зв'язок один до багатьох, але він є необов'язковим. Тобто, без даних служби може існувати запис показників. Таблиця “Клієнти” не має з'єднань з іншими таблицями.

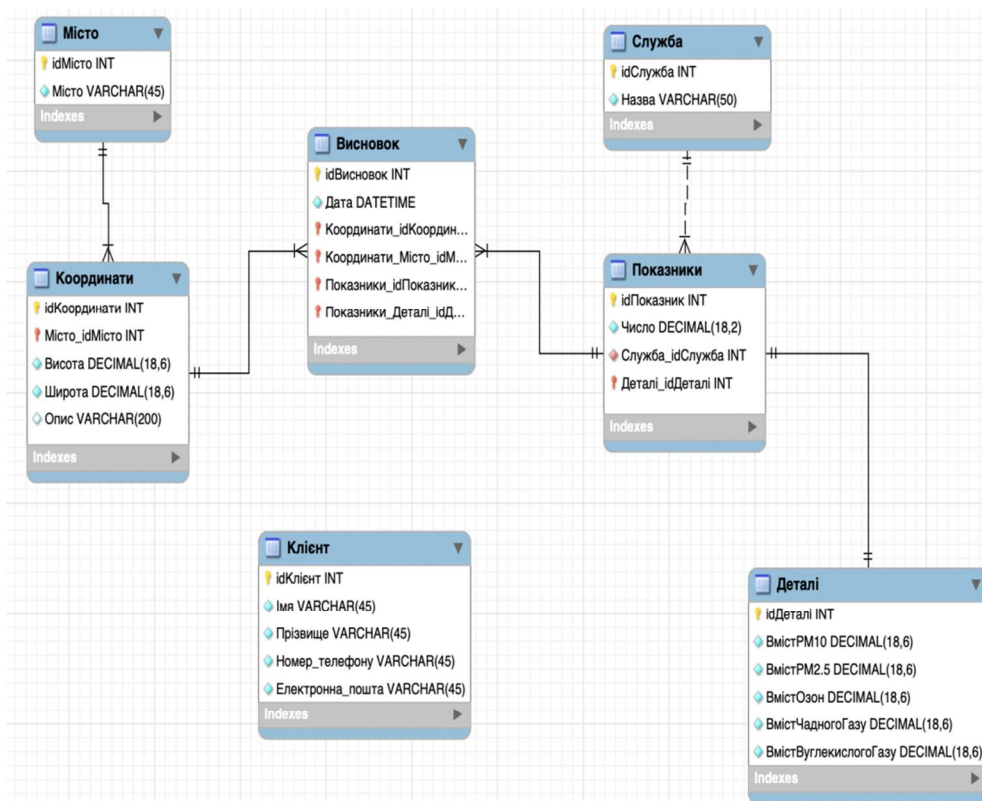


Рис. 1. Діаграма бази даних

Результати реалізації системи дослідження впливу викидів автомобільного транспорту було реалізовано за допомогою веб-застосунку, на якому користувач може переглянути онлайн-карту з містами, координати яких зазначені у базі даних, і відповідно з їхніми показниками забруднення. Для кожного міста проставлена позначка, натискаючи на яку, користувачу відкривається сторінка з детальною інформацією про забруднення саме цього міста.

Система успішно була протестована і було виправлено усі помилки.

Отже, у роботі було створено систему для дослідження екологічного впливу автотранспорту на атмосферу за допомогою Visual Studio з використанням ASP.NET, MVC та C#. У системі було реалізовано вимоги: аналіз ключових факторів забруднення; аналіз наявних методів оцінки забруднення повітря; розробка моделі оцінки рівня ризику на основі нечіткої логіки; реалізація програмного забезпечення для моніторингу забруднення повітря.

Описано функціонал та інтерфейс системи, модулі та класи програмного комплексу. Протестовано компоненти системи та описано етапи тестування.

Отже, система дослідження впливу викидів автомобільного транспорту дозволяє відстежувати рівень забруднення повітря, що сприяє виявленню проблемних зон та прийняттю заходів для їх усунення. Дані, отримані за допомогою такої системи, можуть бути використані для розробки та впровадження ефективних екологічних норм і стандартів для автомобільного транспорту. Система може надавати інформацію про стан повітря в реальному часі, щоб люди

приймали обґрунтовані рішення щодо своєї поведінки, наприклад, про вибір більш екологічного виду транспорту.

1. Bertram O'Neal (2017). *Air quality monitoring and control strategies*, USA: Larsen and Keller Education.

Садовий Роман
Львівський національний лісотехнічний університет

БЛОКЧЕЙН І ЕКОНОМІКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЄВРОСОЮЗУ

У сучасному світі економіка сталого розвитку вимагає прозорості, етичності, ефективного управління ресурсами та зменшення негативного впливу на довкілля. Блокчейн, як децентралізована технологія з високим рівнем безпеки і прозорості, має великий потенціал підтримати ці цілі. Мною проаналізовано 10 кейсів, де блокчейн вже сьогодні стає рушієм сталого розвитку в країнах Європи [1].

Одним з найпоширеніших шляхів інтеграції технології блокчейн є відстеження ланцюгів постачання. Блокчейн дозволяє створити незмінний запис усіх етапів виробництва та транспортування товару – від сировини до кінцевого споживача. Це забезпечує прозорість і дає змогу уникати поставальників, що порушують права працівників або забруднюють довкілля. IBM Food Trust використовує блокчейн для відстеження шляхів постачання продуктів, таких як м'ясо чи фрукти, гарантуючи їх якість і етичність [3].

Іншим цікавим кейсом є торгівля вуглецевими кредитами з допомогою криптовалюти. Блокчейн забезпечує автоматичний, прозорий облік і торгівлю вуглецевими квотами, що стимулює компанії скорочувати викиди CO₂. Платформа KlimaDAO використовує блокчейн для токенизації вуглецевих кредитів, дозволяючи інвесторам напряму підтримувати екологічні проєкти [1].

Проєкт Power Ledger в Австралії дає змогу домогосподарствам продавати надлишок сонячної енергії сусідам через блокчейн. Таким чином, блокчейн може слугувати інфраструктурою для децентралізованої торгівлі електроенергією з відновлюваних джерел між споживачами [4].

Використання блокчейну також гарантує прозорість і чесність роботи благодійних та інших фондів, гарантує що пожертви доходять до конкретних проєктів без корупційних схем і з можливістю перевірки. Giveth – платформа, яка відстежує благодійні пожертви і дозволяє спонсорам бачити, як використовуються їх кошти є яскравим для цього прикладом [2].

З проблемами незаконної міграції в Європі та світі деякі організації вдаються до присвоєння іммігрантам блокчейн ідентифікаторів. Мільйони людей не мають доступу до банків чи державних послуг через відсутність ідентифікаційних документів. Блокчейн-ідентичність допомагає інтегрувати ці групи в економіку. ID2020 Foundation створює цифрову ідентичність на блокчейні для біженців і незареєстрованих громадян [2].

З допомогою токенизації можна стимулювати переробку відходів та обмін ресурсами, створюючи замкнені економічні цикли. Платформа Plastic Bank винагороджує людей криптовалютою за зібране і здане пластикове сміття [5].

Етичне фермерство і справедлива торгівля теж є побічною реакцією використання блокчейн реєстрів. Фермери можуть реєструвати свої партії продукції на блокчейні, що дозволяє споживачам упевнитися, що вони купують етично вироблений товар. Vext360 відстежує походження кавових зерен і забезпечує справедливую оплату праці фермерів. Блокчейн може також автоматизувати облік водоспоживання, прозорість субсидій і моніторинг якості води. У Південній Африці тестують систему, яка на блокчейні фіксує розподіл води між громадами для запобігання конфліктам [2].

У Нідерландах впроваджують розумні контракти для "зеленого" будівництва. Будівельні проєкти можуть використовувати смарт-контракти для контролю за дотриманням екологічних стандартів та ефективності використання матеріалів. У Європі тестують використання блокчейну для аудиту "зелених" сертифікатів у будівництві [7].

На рівні місцевих громад у Німеччині тестують впровадження електронного голосування. Децентралізоване голосування дозволяє приймати рішення щодо розподілу місцевих бюджетів, екологічних ініціатив тощо без фальсифікацій. Проєкт Aragon дозволяє організаціям створювати автономні спільноти з прозорою системою прийняття рішень. Холдери токenu мають право голосу при прийнятті рішень. Ці практики можуть бути розширені до глобальних масштабів – як от, кожен хто володіє громадянством країни – отримує у володіння токен, котрий у свою чергу дає право голосу в межах країни, котра на блокчейні виступає як DAO (Decentralized Autonomous Organization) [6].

Як висновок – блокчейн – це не лише про криптовалюту. Його можливості у сфері сталого розвитку – величезні. Від енергетики до переробки, від прозорої торгівлі до екологічного моніторингу – технологія здатна радикально змінити механізми управління і довіри. Інтеграція блокчейну в економіку сталого розвитку дозволяє створити більш відповідальне, справедливе і стійке майбутнє на шляху до виконання цілей сталого розвитку в межах концепції до 2030 року.

1. World Economic Forum (WEF) -. (2020, June 1). *Blockchain for sustainable and inclusive finance* – інтернет джерело. Режим доступу: <https://www.weforum.org>
2. United Nations Development Programme (UNDP (n.d.). *“Blockchain for Sustainable Development”* – інтернет джерело. Режим доступу: <https://www.undp.org>
3. IBM.Com *IBM Food Trust – Blockchain for food supply*. – інтернет джерело. Режим доступу: <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust>
4. **Power Ledger** – *Enabling the energy transition with blockchain technology*. – інтернет джерело. Режим доступу: <https://www.powerledger.io>
5. **Plastic Bank platform** *Empowering the world to stop ocean plastic*. – інтернет джерело. Режим доступу: <https://plasticbank.com>
6. **ID2020 Alliance** – *A digital identity for everyone* – інтернет джерело. Режим доступу: <https://id2020.org>
7. Climate Ledger Initiative. (n.d.). *Harnessing the potential of blockchain to address climate change* – інтернет джерело. Режим доступу: <https://www.climateledger.org>

Сенета Зоряна
Національний лісотехнічний університет України,
Національний університет «Львівська політехніка»
Сенета Мар'яна
Національний університет «Львівська політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ТУРИСТИЧНІЙ ІНДУСТРІЇ

У сучасну епоху цифрових трансформацій туристична індустрія зазнає кардинальних змін. Одним із найдинамічніших напрямів її розвитку є впровадження технологій віртуальної (англ. *Virtual Reality, VR*) та доповненої реальності (англ. *Augmented Reality, AR*). Ці інноваційні інструменти не лише змінюють спосіб, у який туристи планують подорожі, але й створюють абсолютно новий для них досвід. Завдяки технологіям VR користувачі мають можливість «відвідати» віддалені куточки світу, не виходячи з дому, а AR доповнює реальне середовище цифровими елементами, збагачуючи сприйняття локації під час мандрівки. Варто зауважити, що саме завдяки цим технологіям потенційні туристи, які у даний момент з тих чи

інших причин не можуть подорожувати, а також люди з обмеженими можливостями можуть побувати у важкодоступних місцях різних куточків світу і насолодитися подорожами до різноманітних місцевостей.

Технології віртуальної та доповненої реальності стають невід’ємною частиною розвитку сучасного туризму, сприяючи створенню інноваційних продуктів, покращенню клієнтського досвіду та розширенню доступності туристичних послуг. Впровадження VR та AR відкриває нові можливості для розвитку туристичної галузі та задоволення різноманітних потреб мандрівників.

Віртуальна реальність (VR) – це технологія, що дозволяє людині взаємодіяти зі змодельованим тривимірним середовищем за допомогою спеціальних пристроїв (окулярів, контролерів або сенсорних пристроїв). Таке середовище створюється за допомогою комп’ютерного обладнання та програмного забезпечення та імітує фізичну присутність користувача в іншому місці [1].

Доповнена реальність (AR) – це модифікована версія реального світу, створена за допомогою технологій. Доповнена реальність використовує програми, консолі, екрани та проекції, щоб накладати або поєднувати цифрову інформацію з реальним середовищем [2].

На сьогоднішній день віртуальна реальність знаходиться на новому етапі розвитку. Спочатку вона використовувалася переважно у галузі геймінгу, але зараз, завдяки застосуванню віртуальних окулярів, користувач може відчувати себе на борту літака, у готельному номері, у музеї чи навіть на повноцінному круїзному лайнері, використовуючи інструменти сприйняття (3D, VR), щоб зануритися в атмосферу будь-якого туристичного об’єкту та відчувати його реальність. Доповнена реальність дає туристам можливість не лише бачити те, що доступно звичайному погляду на місці відвідування, а й завдяки спеціальним пристроям (окуляри та смартфони) подивитися, як цей об’єкт виглядав у минулому (на початковому етапі) [3, с. 170].

Розвиток віртуальної та доповненої реальності у туристичній галузі є результатом еволюції цифрових технологій, що поєднують інженерні, інформаційні та гуманітарні підходи до створення нових форматів туристичного досвіду. У сучасному світі туризм перестає бути виключно фізичною подорожжю, його також доповнюють і трансформують цифрові технології. Ці інструменти стають новим форматом взаємодії туристів з культурними, природними та історичними об’єктами.

Значення цифрових технологій набуло значного поширення у період появи COVID-19, який радикально змінив поведінку туристів. Віртуальний туризм перетворився з нішевого на масовий: музеї, національні парки, виставки перейшли в онлайн-формат. Це сприяло інтеграції VR/AR у стратегічне планування галузі. У період війни в Україні VR/AR-технології використовуються для збереження культурної спадщини, створення цифрових реконструкцій зруйнованих пам’яток, просування туристичного іміджу України та розвитку інклюзивного цифрового туризму. Це виступає важливою складовою майбутнього повоєнного відновлення туристичної інфраструктури України.

Порівняння технологій віртуальної та доповненої реальності наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння технологій віртуальної та доповненої реальності

Характеристика	Віртуальна реальність (VR)	Доповнена реальність (AR)
Навколишнє середовище	Повністю штучне, віртуальне	Реальне середовище + цифрові елементи
Пристрої	VR-шоломи, окуляри	Смартфони, AR-окуляри, планшети
Рівень занурення	Повне занурення	Часткове, збереження контакту з реальністю
Використання в туризмі	Віртуальні тури, музеї, тренажери	Навігація, гіді, інтерактивні виставки

Варто зауважити, що Україна має можливості для впровадження сучасних технологій для розвитку туристичної індустрії. Особливо це набуває актуальності у період воєнного стану адже існують значні обмеження для відвідування певних регіонів і територій. Також, з огляду на безпекову ситуацію, відвідування України іноземними туристами значно скоротилося. Саме тому, для ефективного функціонування та розвитку галузі туризму необхідно:

- цифровізувати туристичні сервіси (мобільні гіді; QR-коди на пам'ятках; туристичні чат-боти, які підказують локації, маршрути, графіки роботи);
- впровадження AR/VR технології музеями і туристичними компаніями для розширення використання віртуальних турів, AR-гід і цифрові реконструкції;
- розвиток смарт-інфраструктури в містах (доступність мережі Internet, навігація, електронні сервіси, туристичні додатки). Такі технології стимулюватимуть розвиток внутрішнього туризму;
- сталий туризм і великі дані (*Big Data*). Дані з мобільних додатків, соціальних мереж, онлайн-бронювань можуть допомогти управлінню туристичними потоками, оскільки вони стають у допомозі для кращого розуміння поведінки туристів, допомагають прогнозувати пікові навантаження, оптимізувати маршрути, а також можуть надавати інформацію в режимі реального часу. Аналітика поведінки туристів дає змогу створювати персоналізовані маршрути та пропозиції.

Поряд з перспективами розвитку галузі туризму також постають і певні виклики, до них відносять:

- недостатнє фінансування: смарт-рішення потребують інвестицій і технічної підтримки;
- нерівномірний розвиток регіонів: великі міста рухаються вперед, але сільські або менш туристичні регіони відстають;
- низький рівень цифрової грамотності у частини бізнесу і населення;
- безпекова ситуація спричинена війною знижує в'їзний туризм, але стимулює внутрішній і його цифровізацію.

У сучасній туристичній індустрії технології віртуальної та доповненої реальності відіграють дедалі важливішу роль, створюючи нові можливості для взаємодії з туристичними об'єктами, покращення обслуговування та розширення доступу до культурної спадщини. Їх застосування сприяє підвищенню привабливості туристичних послуг, оптимізації вибору маршрутів для здійснення подорожей та збагаченню користувацького досвіду.

Для успішного розвитку туристичної галузі України необхідні такі умови:

- ефективна державна підтримка, яка включатиме цільові програми з цифровізації туризму;
 - публічно-приватне партнерство: співпраця IT-компаній, міст та туристичних операторів;
 - залучення грантів ЄС (європейські проекти часто фінансують смарт-туризм);
- підтримка і впровадження чітких ініціатив у містах.

Перспективи розвитку технологій VR/AR у туристичній галузі наведено на рис. 1.

Технології VR дають змогу здійснювати повноцінні віртуальні подорожі до визначних місць, музеїв, природних заповідників та інших туристичних об'єктів без необхідності фізичної присутності. Це дозволяє людям з обмеженими можливостями отримати пізнавальний і емоційний досвід подорожі у комфортних та безпечних умовах. Особливе значення мають VR-тури, адаптовані з урахуванням потреб різних категорій користувачів (наприклад, з порушенням зору або слуху). Таким чином VR сприяють розвитку інклюзивного туризму, забезпечуючи віртуальний доступ до популярних місць особам з обмеженими можливостями.

AR-технології також сприяють доступності туризму. Вони можуть бути використані як навігаційні засоби, що допомагають людям з обмеженими можливостями орієнтуватися в туристичних локаціях, або як інструменти персоналізованого супроводу, які подають інформацію з урахуванням специфічних потреб (субтитри, аудіо-описи тощо). Через мобільні додатки або AR-

окуляри користувачі можуть отримати додаткові дані про об'єкти (історичні факти, візуальні реконструкції), орієнтуватися в просторі та взаємодіяти з цифровим контентом. Технології VR і AR активно використовуються у сфері маркетингу туристичних продуктів, в організації навчання персоналу (через симуляції) та у збереженні нематеріальної культурної спадщини (через 3D-реконструкції зруйнованих пам'яток).

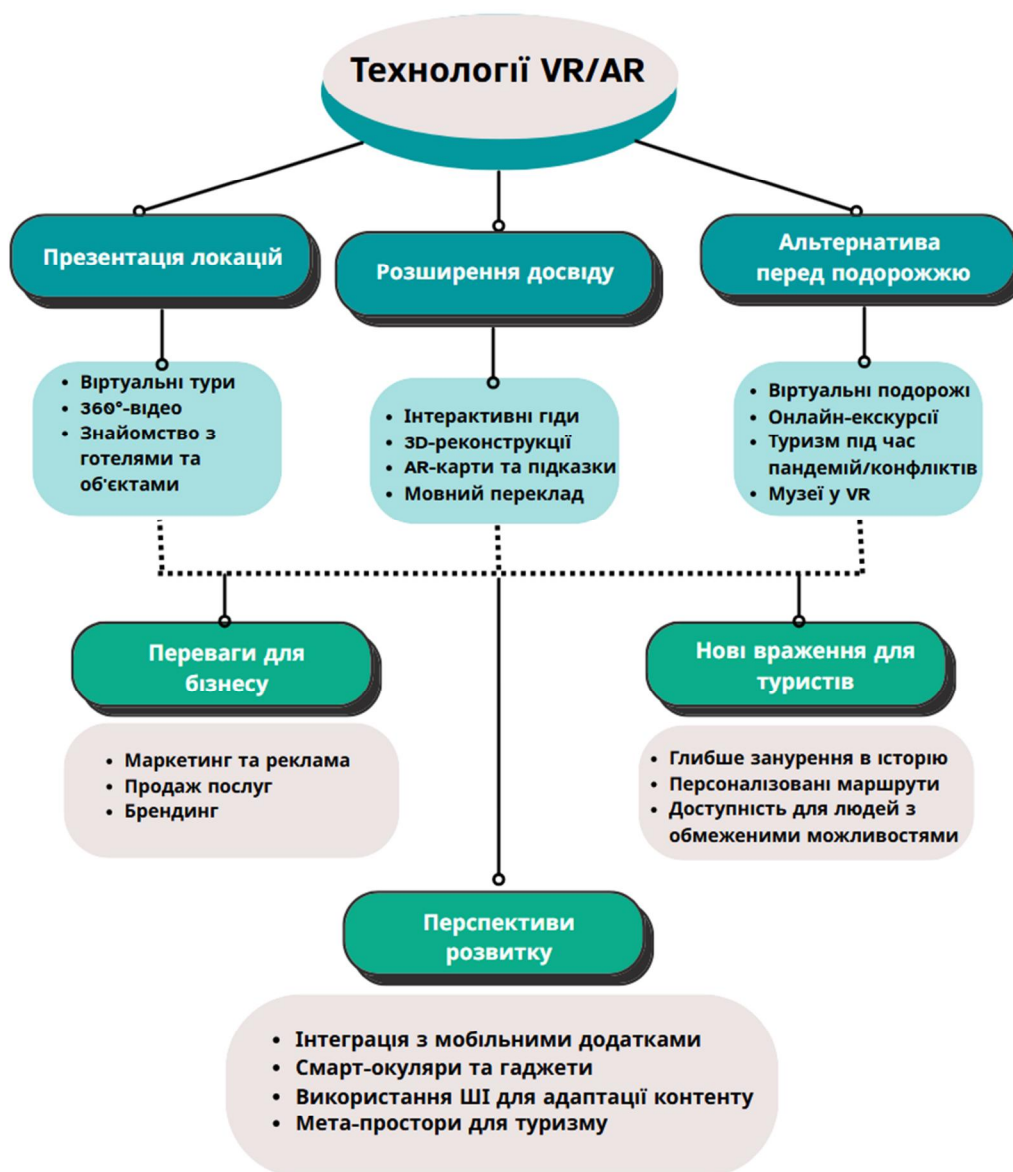


Рис. 1. Перспективи розвитку технологій VR/AR у туристичній галузі

Інтеграція VR та AR у туристичну сферу сприяє не лише розвитку інноваційних сервісів, а й трансформації усього туристичного досвіду, що відповідає вимогам сучасного цифрового суспільства. Впровадження технологій віртуальної та доповненої реальності в туристичну галузь відкриває нові можливості для людей з обмеженими фізичними можливостями, сприяючи розвитку інклюзивного туризму. Традиційно подорожі можуть бути обмежені для таких осіб через фізичні бар'єри, нестачу доступної інфраструктури або ризику для здоров'я. У цьому контексті VR та AR виступають інструментами, що долають ці обмеження.

У контексті війни в Україні сфера туризму зазнала суттєвих змін і втрат, зокрема – через руйнування інфраструктури, обмеження на пересування та загрозу безпеці життя та здоров'ю громадян. У таких умовах технології віртуальної та доповненої реальності стають не лише альтернативними інструментами підтримки туристичної активності, а й засобами збереження культурної спадщини, просування іміджу України за кордоном та підготовки до

повоєнного відновлення держави. Їх впровадження може стати фундаментом для відновлення та переосмислення туристичної галузі України у післявоєнний період.

За допомогою технологій віртуальної реальності (VR) потенційні клієнти мають можливість здійснювати віртуальні подорожі до відомих та важкодоступних місць, що особливо актуально в умовах обмежень на поїздки. Це сприяє розвитку нової форми туризму, яка не залежить від фізичної присутності. AR-технології надають можливість туристам отримувати додаткову інформацію про об'єкти в реальному часі, що покращує їхній досвід та може стати конкурентною перевагою для туристичних компаній. Створення віртуальних платформ, які відтворюють реальні міста, дозволяє туристам взаємодіяти з гідами та постачальниками послуг без фізичної присутності, що відкриває нові горизонти для просування туристичних напрямків. VR-технології забезпечують доступ до музеїв та культурних пам'яток для широкої аудиторії туристів, включаючи людей з обмеженими можливостями, що сприяє інклюзивності в туризмі.

Історія розвитку VR та AR-технологій у туризмі свідчить про їхню здатність адаптуватися до глобальних викликів та відкривати нові можливості взаємодії з культурними і природними об'єктами. У XXI столітті ці технології виступають не лише як інструменти маркетингу, а як засоби освіти, інклюзії, збереження національної ідентичності та стратегічного розвитку галузі туризму.

1. Yasar, K., & Sheldon, R. (2024, August). What is virtual reality? How it's used and how it will evolve. *Informa*. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/virtual-reality>

2. Hayes, A. (2025, March 02). Augmented Reality (AR): Definition, Examples, and Uses. *Investopedia*. <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

3. Ратинський, В., Шерстюк, Р., & Малярський, О. (2024). Перспективи використання віртуальної та доповненої реальності для підприємств сфери послуг (на прикладі готельнотуристичного сегменту). *Соціально-економічні проблеми і держава*, 1(30), 169–176. <https://doi.org/10.33108/sepd.2024.01.169>

Seneta Mariana
Lviv Polytechnic National University
Pryimak Sviatoslav
Lviv Polytechnic National University

AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING, VISUALIZING AND FORECASTING METEOROLOGICAL DATA

In modern conditions of rapid development of information technologies, the need for automated systems for collecting, processing and analyzing data in various fields of activity is growing. Such systems have become of particular importance in the field of environmental monitoring, where timely receipt of reliable information is critical for making informed decisions on natural resources management [1]. Climatic conditions are one of the key factors affecting natural processes within the study area. That is why meteorological observations are strategically important for environmental monitoring, detecting changes in climate dynamics, adapting management measures, and assessing the impact of anthropogenic factors. Effective management of natural ecosystems, forecasting climate change, and preventing the negative consequences of anthropogenic impact directly depend on the availability of modern technological solutions that can provide high accuracy, efficiency, and reliability of data processing. One of the key elements of environmental monitoring are meteorological stations, which are the main sources of data on the state of the atmosphere, changing weather conditions, and long-term climatic trends. Automation of information collection and analysis processes at such stations becomes a prerequisite for improving the quality of research and timely response to environmental changes. In the context of increasing data volumes

and the need for their rapid processing and interpretation, the implementation of automated systems allows the optimize work processes, to reduce the risk of human errors and to ensure continuity of monitoring. In modern conditions, when the importance of digital technologies in the field of environmental monitoring is rapidly growing, there is a need to create an automated meteorological data processing system that will improve the quality, speed, and accuracy of research, as well as allow predicting future values of climate data based on previous data. In this context, the development of specialized integrated solutions is relevant, that combine hardware for collecting meteorological information, software for its processing and analysis, as well as interfaces for the results visualizing. The creation of an automated data processing system for a weather station involves the development of an integrated system for collecting, processing, storing and visualizing meteorological data.

The developed system will be aimed at ensuring the opportunity to accumulate historical data, create detailed reports for different periods, and plot changes in temperature, humidity, atmospheric pressure, wind speed, etc. In addition, an important function is the automatic detection of trends based on data analysis and the construction of forecasts for the further development of weather conditions and climate change. The main language for developing this system is Python – one of the most popular languages in the field of scientific computing and data analysis. It is marked by simplicity of syntax, an active community and a wide range of libraries.

The system implements basic forecasting models using the Scikit-learn library, in particular:

- linear regression;
- decision tree;
- models with cross-validation and hyperparameter tuning.

In the future, it is possible to connect to external weather APIs (for example, OpenWeatherMap) to compare internal results with public forecasts. The regulatory and legal framework for organizing systematic monitoring of the state of environmental components, objects and processes of anthropogenic impact are legislative acts in the field of nature management and environmental protection, Laws of Ukraine “On Environmental Protection”, “On Air Protection”, “On Waste”, “On Land Protection”, “On Flora”, “On Ecological Network of Ukraine”, “On Drinking Water and Drinking Water Supply”, etc., The Land Code of Ukraine, The Water Code of Ukraine, The Forest Code of Ukraine, etc.

Monitoring of the environmental state is not an end in itself, it is important not so much to collect information as to process it and use it to make various kinds of decisions aimed at improving the state of the environment or maintaining it at a given level in accordance with the concept of sustainable development. Under such conditions, a significant role is assigned to diverse and comprehensive analysis and correct processing of environmental information.

To effectively plan the project of automated system developing, a problem tree was constructed (Fig. 1), which reflects the main problem – the low efficiency of collecting, processing and analyzing meteorological data in the studied territories of Ukraine, in particular reserves. The reasons for this problem are the lack of automation of data collection, manual processing of information, and limited access to data. The main consequences of this are the decrease in the quality of weather forecasting, complication of environmental monitoring and a slowdown in managerial decision-making.

Special attention in the system development will be paid to the choice of technical means of data collection, the development of software for processing and visualization of information, the construction of a convenient web interface for user interaction with the system. All decisions made during the development process will be focused on compliance with international project management standards, as well as requirements for environmental safety and sustainable development.

The system will include collection, processing, analysis and visualization of temperature data. Main stages of the developed system:

1. Data collection (weather station records air temperature, humidity, wind speed, precipitation).
2. Data processing (data correction – taking into account weather conditions (cloudiness, precipitation) to correct temperature indicators; interpolation – filling gaps in data using linear interpolation between neighboring observation points; statistical analysis – calculating average, minimum and maximum temperatures, analyzing daily and seasonal temperature fluctuations).

3. Data analysis (climatic trends – assessment of temperature changes over time, identification of anomalous years and seasonal fluctuations; study of the impact of temperature changes on the development of flora and fauna of the studied area).

4. Visualization and reporting (graphs and diagrams, interactive maps, preparation of reports on the state of the temperature regime for scientists, the reserve administration and the public).

5. Integration with other monitoring systems (integration of temperature data with other environmental indicators (humidity, precipitation, biodiversity) for a comprehensive analysis of the state of the ecosystem; use of geographic information systems for spatial analysis of temperature data and identification of spatial trends).

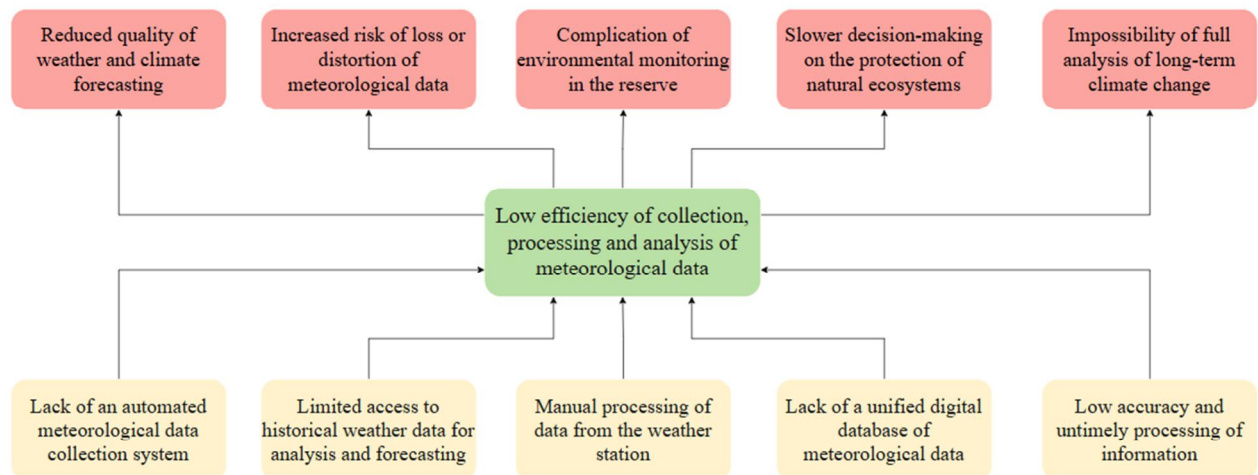


Fig. 1. Problem tree of the developing system

For example, Fig. 2 shows a graphical representation of linear temperature extrapolation based on historical data recorded in the Roztochia Nature Reserve. The blue dots are actual temperature measurements that show clear seasonality. The red dotted line is the prediction of a linear regression model showing the general trend of temperature changes. The vertical gray line marks the start of forward extrapolation. This approach allows us to estimate potential changes in average temperature in the long term, but does not consider seasonal fluctuations.

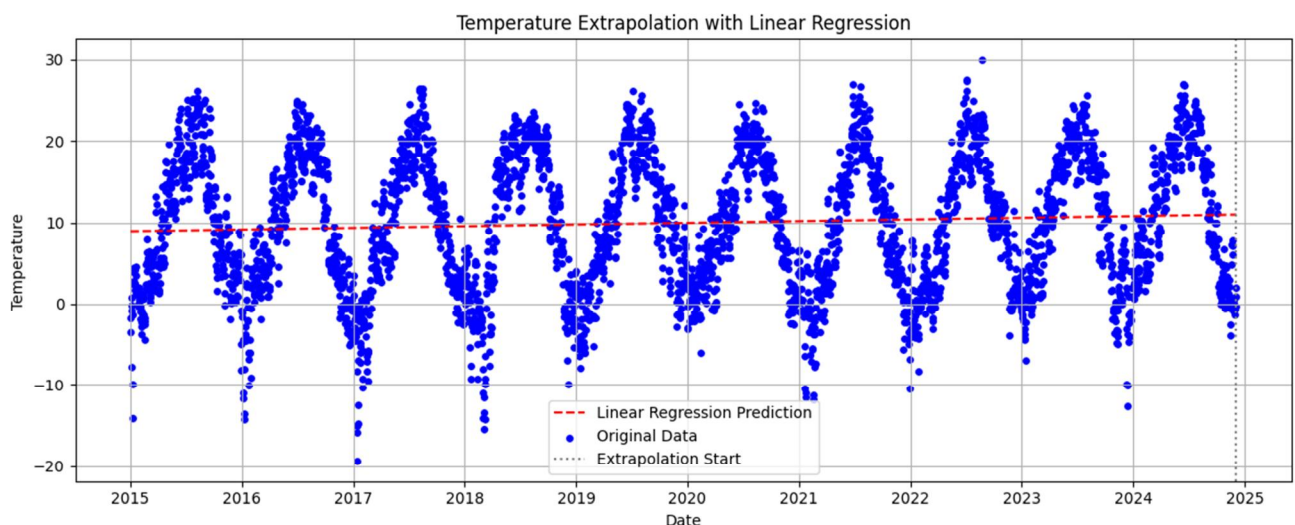


Fig. 2. Graphical representation of linear temperature extrapolation based on data measured in the Roztochia Nature Reserve

The implementation of an environmental monitoring system in the reserve is a key to preserving biodiversity, maintaining ecological balance, and ensuring effective management of the protected area. Monitoring data serves as the basis for making scientifically sound decisions regarding protection regimes, recreational loads, environmental restoration, etc. Systematic observation allows for long-term scientific research that is important for predicting climate change, studying species adaptation, and assessing the impact of global processes. Monitoring also ensures transparency in the reserve's activities and informing the public, government agencies, and international environmental agencies about the state of the environment.

Thus, the developed automated system will help increase the efficiency of environmental monitoring, providing a qualitatively new level of automation of meteorological data collection and processing processes, and will also contribute to the preservation of the region's unique ecosystem. The chosen architecture ensures flexibility in future system development, scalability, and availability of selected solutions for further development and adaptation to new tasks.

1. P. Agbo, E. (2021, March). The role of statistical methods and tools for weather forecasting and modeling. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/10.5772/intechopen.96854>

Скольський Ігор
Природний заповідник "Розточчя",
NGO "ForestCom"
Карабчук Дмитро
Природний заповідник "Розточчя",
NGO "ForestCom"
Довбенко Володимир
NGO "ForestCom"

ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІН ЛІСОВОГО ПОКРИВУ

Ліс є ключовим елементом ландшафту, що відіграє важливу роль у підтримці надґрунтового покриву, фауни, зоокомплексів, рельєфу, ґрунтів, водних ресурсів та повітря. На сьогодні лісові масиви зазнають значного негативного впливу від кліматичних змін, незаконних вирубок та пожеж. Це зумовлює нагальну потребу в оперативному та масштабному моніторингу пошуку ефективних інструментів для своєчасного реагування на антропогенні та природні зміни. Для забезпечення своєчасного реагування на виклики, замість класичного наземного моніторингу все частіше використовують дистанційні цифрові методи, які дозволяють вчасно отримувати дані. Такий моніторинг дозволяє охоплювати великі території, автоматизувати обробку даних і проводити ретроспективний аналіз змін лісового покриву. Завдяки інтеграції даних з різних джерел та використанню штучного інтелекту для поглибленого аналізу, прогнозування та реагування на екологічні виклики стають більш точними та ефективними.

Застосування дистанційних методів цифрового моніторингу у дослідженнях стану навколишнього середовища має широке коло завдань, зокрема:

- налагодження системи автоматичного моніторингу за змінами лісового покриву на досліджуваних територіях;
- щомісячна оцінка втрат лісового покриву на територіях де знаходяться особливо цінні природоохоронні ліси та території (пралісів, квазіпралісів, природних лісів та інших природоохоронних територій);
- щорічна оцінка змін лісового покриву та інших природоохоронних територій;
- періодичне спостереження та моніторинг територій на основі супутникових знімків за змінами лісу;
- попередня ідентифікація лісгосподарської діяльності на супутникових знімках;

- використання квадрокоптерів для створення ортофотопланів;
- картографування, уточнення та актуалізація існуючих карт;
- спостереження за змінами досліджуваних площ за допомогою порівняння отриманих в різний час знімків ортофотопланів;
- контроль за несанкціонованим будівництвом в природоохоронних зонах;
- планування робіт на земельних ділянках і їх розподіл на частини [1, 2].
- У дослідженнях стану навколишнього середовища під час дистанційного моніторингу лісових екосистем супутникові дані відіграють важливу роль завдяки можливості отримання даних з висоти та використанню різноманітних сенсорів.

Усе більшої популярності для моніторингу за довкіллям набуває оптична супутникова зйомка. Це метод отримання зображень земної поверхні за допомогою супутників, які використовують датчики для вимірювання відбитого або випромінюваного світла у видимих, інфрачервоних та інших частинах електромагнітного спектру. Ці датчики фіксують енергію, яка потім перетворюється в цифрове зображення. У своїх дослідженнях використовуємо знімки із супутників Sentinel-2 (ESA), Landsat-8/9 (NASA/USGS) і PlanetScope (Planet Labs). Аналіз супутникових знімків дає можливість оцінювати стан лісів, використовуючи різні спектральні канали та обчислюючи вегетаційні індекси, такі як NDVI, EVI та NBR, які показують стан рослинності. Однак, оскільки ці знімки залежать від відбитого сонячного світла, вони не працюють вночі або при значній хмарності. Супутники оснащені різними датчиками, які вимірюють електромагнітне випромінювання в різних діапазонах, кожен з яких реагує на певні властивості земної поверхні (рослинність, вода, ґрунт тощо). Ключовим параметром супутникових знімків є їх роздільна здатність, яка визначає рівень деталізації зображення і поділяється на просторову, спектральну, часову та радіометричну.

Оптична супутникова зйомка знайшла широке застосування в багатьох галузях, ставши цінним інструментом для отримання інформації про земну поверхню. У сільському господарстві вона дозволяє відстежувати стан посівів, прогнозувати врожайність, оптимізувати системи зрошення та вчасно виявляти захворювання рослин. Лісівники використовують ці дані для контролю за змінами лісового покриву від антропогенного та природного впливу, оцінки обсягів лісових ресурсів та оперативного виявлення лісових пожеж. У сфері управління водними ресурсами знімки з супутників допомагають стежити за якістю води, оцінювати запаси водних об'єктів та попереджати про загрозу повеней.

У сучасних умовах оптична зйомка відіграє ключову роль у моніторингу земної поверхні та навколишнього середовища. Вона незамінна для відстеження змін у землекористуванні, вирубування лісів та міського розростання, а також для вивчення впливу кліматичних змін і виявлення наслідків стихійних лих. Крім того, космічні знімки використовуються для оцінки врожайності сільськогосподарських культур, моніторингу стану посівів, виявлення хвороб рослин та оптимізації систем поливу та внесення добрив. Важливе значення має оптична зйомка у картографії, геодезії, екології та охороні навколишнього середовища, зокрема для моніторингу забруднення водних ресурсів та атмосферного повітря, виявлення незаконних викидів, оцінки стану екосистем та контролю за охоронними територіями. Дані оптичної зйомки з космосу є цінним ресурсом для проведення різноманітних наукових досліджень. У випадках надзвичайних ситуацій супутникові знімки дозволяють оцінити масштаби руйнувань від стихійних лих, відслідковувати поширення пожеж та організовувати пошуково-рятувальні операції.

Не менш важлива роль оптичної супутникової зйомки у вивченні зміни клімату. За допомогою неї спостерігають за таненням льодовиків, аналізують зміни у рослинному покриві та проводять аналіз землекористування, щоб зрозуміти наслідки зміни клімату. Геологи використовують знімки з супутників для картографування гірських порід, пошуку родовищ корисних копалин та моніторингу зсувів, допомагаючи таким чином у вивченні та охороні нашої планети.

Для дистанційного моніторингу довкілля використовуємо також такі онлайн платформи і сервіси:

Google Earth Engine є платформою, розробленою для аналізу та обробки супутникових знімків, що забезпечує доступ до великої бібліотеки зображень і дозволяє моніторити зміни в лісових екосистемах і довкіллі, зокрема, відстежувати зміни вегетаційних індексів, наприклад, NDVI. Вона надає безкоштовний доступ для дослідників, екологів та урядових організацій.

Copernicus, європейська програма із супутниками Sentinel, надає безкоштовні дані для моніторингу змін на Землі, зокрема й лісових покривів. Ця програма широко застосовується для оцінки стану лісів та екологічних змін і дозволяє завантажувати супутникові знімки Sentinel для подальшої обробки [6].

Global Forest Watch – це платформа (глобальна інтерактивна карта), призначена для моніторингу змін у лісах, включно з виявленням незаконних рубок та лісових пожеж. Вона використовує супутникові дані для безперервного спостереження за лісами у глобальному масштабі, пропонуючи зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів з різним рівнем підготовки. В окремих випадках для певних територій, платформа забезпечує доступ до даних про вирубку лісів, лісові пожежі та інші зміни в режимі близького до реального часу, а також використовує високоякісні супутникові знімки та інтегрується з іншими платформами для отримання точних результатів [3, 5, 6]. Однак, для території України така платформа має у своїй базі щорічні результати втрат лісового покриву, що не дозволяє здійснювати щомісячний аналіз.

Потрібно зазначити, що для більш деталізованого моніторингу за навколишнім середовищем на невеликих територіях застосовують **квадрокоптери**. На відміну від супутникових знімків повітряні дрони оснащені оптичними приладами, які мають високу роздільну здатність, що дозволяє краще робити аналіз. Вони стали незамінними помічниками у моніторингу лісових екосистем, дозволяючи з висоти пташиного польоту оцінювати стан насаджень та виявляти проблемні ділянки за заданим маршрутом. Важливим завданням є також виявлення осередків пожеж на ранніх стадіях та надання допомоги під час протипожежних заходів, оперативно передаючи інформацію про ситуацію на місцевості.

Квадрокоптери відіграють важливу роль у картографуванні та актуалізації існуючих карт місцевості, дозволяючи швидко отримувати свіжі дані про рельєф та об'єкти. Порівнюючи ортофотоплани, зроблені в різний час, дослідники мають можливість спостерігати за детальними змінами, що відбуваються на досліджуваних територіях, виявляти тенденції та прогнозувати подальший розвиток подій. Не менш важливим є контроль за дотриманням природоохоронного законодавства, зокрема, виявлення несанкціонованого будівництва в природоохоронних зонах. Завдяки можливості вести зйомку непомітно, квадрокоптери використовуються для спостереження за тваринами з метою дослідження їх чисельності та поведінки на певних територіях, не завдаючи їм зайвого занепокоєння. Окрім того, квадрокоптери допомагають у плануванні робіт на земельних ділянках, дозволяючи оптимізувати їх розподіл на частини та ефективно використовувати наявні ресурси.

Найчастіше, для виявлення змін лісового покриву науковці та експерти практики використовують метод візуальної оцінки супутникових знімків. Обраний метод базується на аналізі змін кольору, текстури та структури лісових масивів у такій часовій послідовності:

1. Збір даних: для цього використовуються супутникові знімки високої роздільної здатності, в більшості випадків Sentinel 2, що мають роздільну здатність 10x10м.

2. Порівняння зображень: аналіз знімків одного й того ж району, зроблені у різні періоди часу, для виявлення змін.

3. Виявлення аномалій: області з помітним зменшенням щільності рослинності чи появою відкритих площ позначаються як територія лісового покриву, яка зазнала змін.

4. Порівняння отриманих результатів: отримані дані візуальної оцінки території дослідження порівнюються із даними втрат лісового покриву виявленими за допомогою інших незалежних моніторингових систем, зокрема: “Global Forest Watch” та порівняна із.

Обраний метод хоч і вважається надійним, але не автоматизованим. Суб'єктивність є обмеженням даного методу, що залежить від кваліфікації аналітика. Несприятливі погодні умови, а саме тривала хмарність, ускладнюють процес інтерпретації. Відсутність можливості

проведення точних вимірювань вимагає застосування додаткових індексів і проведення додаткового аналізу.

Варто зауважити, що до причин змін лісового покриву варто віднести наступні антропогенні та природні фактори [4]:

- вирубка (законна та незаконна);
- всихання (через зміну клімату, хвороби, шкідників);
- вітровал (повалення дерев під дією сильного вітру);
- вітролом (часткове пошкодження крон і стовбурів дерев вітром);
- пожежі (природні або спричинені людською діяльністю);
- навали шкідників (короїд, листогризучі комахи);
- забруднення та кислотні дощі (вплив промислових викидів);
- зміна рівня ґрунтових вод (осушення чи підтоплення територій);
- будівництво інфраструктури (дороги, населені пункти, кар'єри);
- рекреаційне навантаження (надмірний туризм, витоупування).

Отже, дистанційні методи цифрового моніторингу для визначення змін лісового покриву та моніторингу довкілля, є важливим способом отримання потрібної інформації для обробки даних та аналізу результатів. Перспективним є використання нейронних мереж для обробки осмічних та аерофотозйомок, що відкриває безліч можливостей для кращої обробки та аналізу інформації з цих знімків. У майбутньому, перспективним є інтеграція даних з різних джерел та використання штучного інтелекту для більш глибокого аналізу змін лісового покриву, що дозволить точніше прогнозувати та ефективніше реагувати на екологічні виклики.

Ключовим завданнями моніторингу є налагодження автоматичної системи оцінки змін лісового покриву, щомісячна оцінка втрат особливо цінних лісів, щорічна оцінка змін в Карпатах та на інших природоохоронних територіях, а також періодичне спостереження за втратою лісів на основі супутникових знімків окремо визначених ділянок і територій.

1. Лабораторія моніторингу лісів <https://forestcom.org.ua/laboratory/laboratoriya-monitoringu-lisiv>
2. Коржов В.Л., Кудра В.С., Часковський О.Г., Скольський І.М. (20 жовтня 2022 року) Застосування методів дистанційного зондування Землі в практиці наукових досліджень. Ліси в умовах сучасних викликів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і здобувачів, 83–85 с. https://uriffm.org.ua/media/uploads/2022/10/21/tezy2022_uriffm_AhV8GID.pdf
3. Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global>
4. Часковський О. Г., Карабчук Д. Ю., Іванюк А. П. (2019). Зміни лісового вкриття Українських Карпат за період 1984–2016 років. Науковий вісник НЛТУ України., т. 29, № 2. С. 9–14. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2019_29_2_3
5. Mazur, E., M. Sims, E. Goldman, M. Schneider, F. Stolle, M. DaldossPirri, and C.R. Beatty. (2023). “SBTN NaturalLandsMap”.
6. Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. (15 November 2013). “High-ResolutionGlobalMapsof 21st-Century ForestCoverChange.” Science 342 (): 850–53. Data available from: earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest.

РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕКОЛОГІЧНІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ

Штучний інтелект (ШІ) відіграє ключову роль у формуванні майбутнього людства, впливаючи на різноманітні сфери діяльності – від науки та економіки до охорони здоров'я та мистецтва. ШІ сприяє розвитку більш стійких виробничих процесів і моделюванню змін клімату, що робить його потужним інструментом у боротьбі з екологічними викликами. Завдяки сучасним алгоритмам і технологіям машинного навчання він застосовується у розбудові розумних міст, оптимізації енергоспоживання, вдосконаленні сільського господарства, прогнозуванні природних катастроф та адаптації до змін клімату.

Штучний інтелект стає невід'ємною частиною енергетичної галузі, сприяючи переходу до екологічно безпечних технологій та підвищенню ефективності виробництва електроенергії. Використання ШІ для обробки великих масивів даних дає змогу вдосконалювати роботу відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрових і сонячних електростанцій, забезпечуючи стабільніше та прогнозоване енергопостачання. Крім того, інтелектуальні алгоритми сприяють зменшенню енергетичних втрат, що є важливим кроком у зниженні антропогенного впливу на довкілля.

Один із викликів розвитку відновлюваної енергетики – підвищення її продуктивності, щоб вона могла повноцінно конкурувати з традиційними джерелами енергії. У цьому аспекті штучний інтелект демонструє значні можливості у вітровій енергетиці. Аналітичні алгоритми здатні прогнозувати швидкість і напрямок вітру, оптимізуючи роботу турбін для максимального виробництва електроенергії. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити ефективність вітроелектростанцій, а дослідження показують, що використання ШІ може збільшити корисну віддачу вітрової енергії на 20% [1].

Важливо зазначити, що ефективність використання відновлюваної енергії значною мірою залежить від точності прогнозування погодних умов, зокрема вітру, сонячного випромінювання та температурних коливань. У цьому контексті вагомим внеском у розвиток інструментів для енергетичної стійкості став проєкт ESCAPE (Energy-efficient Scalable Algorithms for Weather Prediction at Exascale), який реалізовувався у 2015–2018 роках за ініціативи Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) в межах програми Horizon 2020. Метою проєкту було створення нових високопродуктивних алгоритмів для чисельного моделювання погоди, які б ефективно працювали на сучасних суперкомп'ютерах ексафлопсного рівня. У межах ESCAPE було впроваджено концепцію "розкладання за рівняннями" (equation-based separation), що дало змогу гнучко адаптувати атмосферні моделі до різних обчислювальних архітектур. Це дозволило не лише знизити енергоспоживання в процесі симуляцій, а й істотно підвищити точність прогнозів погодних параметрів, які є критичними для планування генерації відновлюваної енергії. Хоча штучний інтелект не був безпосереднім фокусом цього дослідження, розроблені в ESCAPE інфраструктурні рішення створили фундамент для подальшої інтеграції методів машинного навчання та ШІ у прогностичні моделі. Таким чином, проєкт зробив суттєвий внесок у підвищення надійності прогнозів, що опосередковано сприяє підвищенню ефективності використання відновлюваних джерел енергії та зменшенню її втрат [2].

Також, типовою сферою застосування штучного інтелекту в енергетиці є оптимізація споживання енергії у великих дата-центрах, які є одними з найбільш енергоємких інфраструктур. Зокрема, компанія Google однією з перших реалізувала автономну систему на базі алгоритмів DeepMind, котра застосовує глибоке навчання (deep learning) і метод model-predictive control для динамічного регулювання систем охолодження. Кожні п'ять хвилин система аналізує показники з тисяч сенсорів та моделює ефективність майбутніх дій, обираючи найенергоощадніші

сценарії з урахуванням технічних обмежень. Завдяки впровадженню цих алгоритмів, Google досягла зниження енергоспоживання на охолодження серверів до 40%, що відповідає приблизно 15% загального енергозбереження у дата-центрах [3].

Huawei, у свою чергу, впровадила інтелектуальну систему iCooling@AI, яка дозволяє зменшити коефіцієнт PUE (Power Usage Effectiveness) на 8–15%. ШІ аналізує історичні та поточні дані, щоб автоматично налаштовувати параметри охолодження у реальному часі. Ще одним технологічним рішенням Huawei є платформа NetGraph, яка створює цифрового двійника мережевої інфраструктури дата-центрів. Це дає змогу інтелектуальним алгоритмам виявляти аномалії, передбачати вузькі місця та оптимізувати топологію. NetGraph наразі використовується у мережах Huawei на понад 50 000 пристроїв, покращуючи загальну ефективність роботи центрів обробки даних [4].

Компанія Microsoft активно застосовує ШІ для управління навантаженнями у своїх хмарних дата-центрах. Зокрема, система Project Forge використовує алгоритми машинного навчання для динамічного розподілу обчислювальних задач між серверами з урахуванням енергетичної ефективності та поточного навантаження. У результаті середній рівень використання обчислювальних ресурсів виріс з 50–60% до 80–90%, що дозволило Microsoft скоротити енергетичні втрати й уникнути потреби у розгортанні нових потужностей. Паралельно, впроваджуються рішення щодо охолодження: від інтелектуальних систем керування кліматом до використання рідинного охолодження, яке знижує споживання енергії порівняно з традиційними методами [5]. Ці підходи є невід’ємною частиною екологічної політики Microsoft, яка передбачає досягнення вуглецевої нейтральності вже до 2030 року.

У контексті екологічного моніторингу та управління енергетичними системами важливу роль відіграє вибір підходу до реалізації ШІ – Edge AI або Cloud AI. Кожна з цих технологій має свої переваги залежно від завдань і умов застосування.

Edge AI (периферійний штучний інтелект) є оптимальним рішенням у випадках, коли необхідна оперативна обробка даних без затримок, наприклад, для локального моніторингу сонячних або вітрових електростанцій, виявлення аномалій у роботі обладнання, або ж для екологічного нагляду в режимі реального часу (наприклад, контроль викидів чи рівня забруднення повітря). Обробка інформації безпосередньо на пристроях дозволяє зменшити затримки, уникнути перевантаження мережі та знизити енергоспоживання, пов’язане з передачею даних до центру. Це особливо актуально для віддалених або сільських районів, де часто обмежена пропускна здатність інтернету. У ЄС такі технології використовуються, зокрема, в інтелектуальних енергомережах Німеччини, де локальні контролери на основі Edge AI здійснюють адаптивне керування в режимі реального часу [6].

Cloud AI, натомість, забезпечує високу обчислювальну потужність і є ефективним у випадках, коли потрібен глибокий аналіз великих екосистемних даних, тренування складних моделей прогнозування енергоспоживання, або моделювання кліматичних сценаріїв. Наприклад, у рамках Європейської програми Copernicus дані з супутників та сенсорних мереж передаються у хмарну інфраструктуру для аналізу динаміки кліматичних змін, прогнозу температурних аномалій і оцінки впливу на енергетичну інфраструктуру [7]. У Швеції, компанія Vattenfall використовує хмарну платформу ШІ для оптимізації виробництва електроенергії з відновлюваних джерел залежно від прогнозованого попиту.

В Україні також фіксуються перші ініціативи із впровадження подібних підходів. Наприклад, у рамках проєктів USAID та GIZ на об’єктах децентралізованої енергетики встановлюються локальні контролери з елементами Edge AI для моніторингу стану батарейних систем та прогнозування пікових навантажень [8]. Паралельно, впроваджуються хмарні рішення для агрегації даних з розподілених сонячних електростанцій, які дозволяють оператору передбачати дисбаланси в системі та автоматично коригувати енергопотоки [9].

Загалом, поєднання Edge AI та Cloud AI забезпечує синергію локальної швидкої реакції та глибокого хмарного аналізу, що відкриває нові можливості для побудови ефективних, автономних і сталих енергетичних та екологічних рішень, адаптованих як до урбанізованих, так і до регіонів з мало розвиненою інфраструктурою.

У висновку, можна стверджувати, що штучний інтелект поступово стає ключовим чинником у подоланні сучасних екологічних викликів та формуванні засад сталого розвитку. Його здатність до аналізу великих обсягів даних, прогнозування складних процесів і автономного прийняття рішень відкриває нові можливості для підвищення ефективності природокористування, оптимізації енергетичних систем і зменшення антропогенного впливу на довкілля. Інтеграція ШІ у сфери екологічного моніторингу, відновлюваної енергетики та управління ресурсами дозволяє перейти від реактивного до проактивного підходу у вирішенні проблем довкілля. Водночас поєднання технологій периферійного та хмарного штучного інтелекту забезпечує баланс між локальною автономністю та глобальною аналітикою, що є особливо важливим для адаптації до кліматичних змін і підтримки енергоефективності.

1. Leal Filho, W., Wall, T., Rui Mucova, S. A., Nagy, G. J., Balogun, A.-L., Luetz, J. M., Ng, A. W., Kovaleva, M., Safiul Azam, F. M., Alves, F., Guevara, Z., Matandirotya, N. R., Skouloudis, A., Tzachor, A., Malakar, K., & Gandhi, O. (2022). Deploying artificial intelligence for climate change adaptation. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121662. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121662>.
2. Müller, A., Deconinck, W., Kühnlein, C., Mengaldo, G., Lange, M., Wedi, N., Bauer, P., Smolarkiewicz, P. K., Diamantakis, M., Lock, S.-J., Hamrud, M., Saarinen, S., Mozdzyński, G., Thiemert, D., Gllinton, M., Bénard, P., Voitus, F., Colavolpe, C., Marguinaud, P., New, N. (2019). The ESCAPE project: Energy-efficient scalable algorithms for weather prediction at exascale. *Geoscientific Model Development*, 12, 4425–4441. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4425-2019>.
3. Lazic, N., Boutilier, C., Lu, T., Wong, E., Roy, B., Ryu, M., & Imwalle, G. (2018). Data center cooling using model-predictive control. In *32nd Conference on Neural Information Processing Systems*, 1-10.
4. Hong, H., Wu, Q., Dong, F., Song, W., Sun, R., Han, T., Zhou, C., & Yang, H. (2021). NetGraph: An intelligent system for data center networks. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2021 Workshop on Network-Application Integration*, 26-32. <https://doi.org/10.1145/3472727.3472802>.
5. Macfarlane, D., & Carlefalk, T. (2013). A long-term platform for distribution control and operation of a regulated Smart Grid. In *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)*, 1-4. <https://doi.org/10.1049/cp.2013.1175>.
6. Energy and Power Technology: Transforming the Industry with AI, Automation, and Other Innovations. URL: <https://eleks.com/blog/energy-and-power-technology/>.
7. European Commission – Copernicus Programme. URL: <https://climate.copernicus.eu>
8. USAID Energy Security Project. URL: <https://energysecurityua.org/>.
9. GIZ Ukraine – Driving forward the Ukrainian energy transition together. URL: <https://www.giz.de/en/worldwide/134019.html>.

¹Sokolovskyy Yaroslav, ²Bordun Mykhailo,
³Salapak Oleh, ³Ratynchuk Dmytro, ³Salapak Liubov
¹*Lviv Polytechnic National University*
²*Ivan Franko National University of Lviv,*
³*Ukrainian National Forestry University*

MATHEMATICAL MODELS FOR THE ANALYSIS AND FORECASTING OF RIVER WATER POLLUTION USING THE MULTIFRACTAL METHOD

This paper explores multifractal analysis for the selected time series water pollution data set and further prediction based on BOD measure with ARFIMA-based fractal model. MFDFA multifractal algorithm is applied for estimating the fractal differentiation parameter of the ARFIMA. The obtained results are compared with similar obtained with autoregressive ARIMA model and basic ARFIMA fractal model. The study reveals an enhancement in accuracy with the use of combination of multifractal analysis and fractal methods for water pollution prediction.

Introduction

Industrial development and human economic activity cause not only the improvement of the conditions of human life, but are accompanied by the simultaneous emergence of various environmental problems. These problems are caused by the impact of human activity on the environment and require decisions of a global scale. In 2015, the United Nations adopted the goals of sustainable development, which are known as the Global Goals [1]. Their main goal is to reduce poverty, protect the planet and ensure global peace and prosperity by 2030. Among the 17 proposed goals, goal number 6 is the availability of clean water and adequate sanitation for the global population. This goal involves increasing attention to the issue of preserving natural systems and organizing the activities of industrial facilities in compliance with the requirements of international standards in the field of environmental protection. One of the most important aspects of environmental protection is the protection of surface and river waters from technogenic pollution.

Review of Modern Information Sources on the Subject of the Paper

Among all types of pollution, organic pollution of river systems is a key indicator of river water quality. This indicator determines the safety of drinking water supply and shows the rate of spread of organic substances in the river basin [2]. However, organic pollution consists of a complex mixture of different chemicals. This includes the vital activity of aquatic creatures, waterlogging of riverbeds, discharge of sewage from sewage systems, livestock farms, etc. [3]. Therefore, to evaluate its content, it is necessary to choose generalizing indicators. The main indicators of the level of organic pollution are chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD). Both indicators are usually measured in mg/l. Both the first and the second indicator to a certain extent can serve as an indicator of the suitability of water for drinking water supply and a general assessment of the state of the river ecosystem [4]. If we take into account that BOD correlates with many other indicators of river water quality [4,5], then its measurement and prediction of its temporal changes is a universal tool for ecomonitoring of the state of the river water environment.

Advances in qualitative forecasting of BOD changes can serve as a valuable method to complement global and regional efforts to monitor this parameter in river water. Such forecasting relies on time series analysis, which, in this case, examines the trends in BOD indicators over time. Such analysis involves identifying data patterns over time, with autoregressive models like ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) among the most widely used for modeling and forecasting [6]. ARIMA uses three key parameters: the autoregressive order p , which indicates significant lags; the integration order d , showing series differencing; and the moving average order q , indicating significant error lags. A generalization, the ARFIMA (AutoRegressive Fractionally Integrated Moving Average) model, extends this approach by allowing non-integer d -values, making it suitable for long-memory processes. Anderson's 1998 study shows that failing to account for long memory when present can seriously worsen forecast accuracy, underscoring ARFIMA's relevance

for contemporary time series analysis [7]. Fractal mathematical models have broad applicability across numerous disciplines, especially in the analysis of natural systems that exhibit self-similarity within complex structures. These models are particularly useful in fields such as financial markets, biological signal processing, and the study of physical properties [8,9], where they effectively capture the heterogeneous and fractal-like nature inherent in such systems.

Results and Discussion

To carry out the modeling and forecasting task, it is essential to have a dataset that includes both the measurement date and the corresponding BOD (biochemical oxygen demand) value. Thus, the time series is structured accordingly to enable the analysis.

To determine the optimal fractional differencing order for the ARFIMA model, the MFDFA method was employed to identify underlying patterns, structures, and correlations at various time scales [10]. The analysis used the MFDFA function from the MFDFA package in R, applying it to actual time series data along with a specified scale parameter (scale) that defines the range of segment sizes for detrending, and a set of Q-values (q) that affect the fluctuation function's sensitivity to different fluctuation magnitudes. The scale parameter was chosen according to the time series data length, and q values were set in the popular range from -10 to 10, where negative values of q highlight smaller fluctuations and positive values emphasize larger ones.

The MFDFA method results provided the whole list of parameters: Hurst exponent, scaling exponent, singularity spectrum, fluctuation function. Key multifractal characteristics are visually presented in Fig. 1, illustrating that the time series exhibits distinct multifractal characteristics and highlighting the intensity of multifractal effects.

The generalized Hurst exponent $h(q)$, a function that describes the scaling behavior of fluctuations across various q values. When $q=2$, $h(q)$ corresponds to the classical Hurst exponent, which is then used to inform the optimal fractional differencing order.

It has been established that our time series behaves as a near-Gaussian stationary process with moderate to long memory [11], without extreme tail behavior and from that we can assume that

$$d = H - 1/2. \quad (1)$$

Following step is to identify AR and MA parameters of ARFIMA. In order to totally remove trend in our time series differentiation was performed using fractal differentiation parameter from expression (1). It has been accomplished using `diffseries` function of the `fracdiff` library of the R programming language, which uses an approximate binomial expression of the long memory filter. The values of the ACF and PACF functions of the determined differentiated series are shown in Fig.2.

From the values of the ACF and PACF functions, we can distinguish the number of significant delays, i.e. those that are greater than the range of the confidence interval (blue dashed line in Fig.2), which will allow us to determine the maximum number for our parameters AR(p) from the ACF graph and MA(q) from the PACF graph, respectively. The choice of the optimal model was determined by the RMSE (Root Mean Square Error) estimate, taking into account the difference between the test data. RMSE measures the root mean square deviation between predicted and actual values.

To assess how effectively the trained network predicts the BOD index for the River Quoyle (Northern Ireland), it has been utilized test datasets containing 10 and 50 units that were not included in the training process. To further evaluate the efficiency of the ARFIMA-based fractal model, forecasting was also conducted using both the ARFIMA and ARIMA models, employing automatic parameter selection from the `forecast` library in R. The performance of these models was compared using RMSE evaluation metric for the test set.

Based on the aforementioned results for the key metric RMSE, we can confidently conclude that the ARFIMA-based model, utilizing parameter estimation through MFDFA, demonstrates the highest forecasting efficiency among the models analyzed. Additionally, it is noteworthy that, despite the relatively weak expression of long memory in our time series, a comparison of the models with

automatic parameter selection—specifically, the fractal ARFIMA and the autoregressive ARIMA models—indicates that when forecasting larger datasets, the fractal model yields superior results.

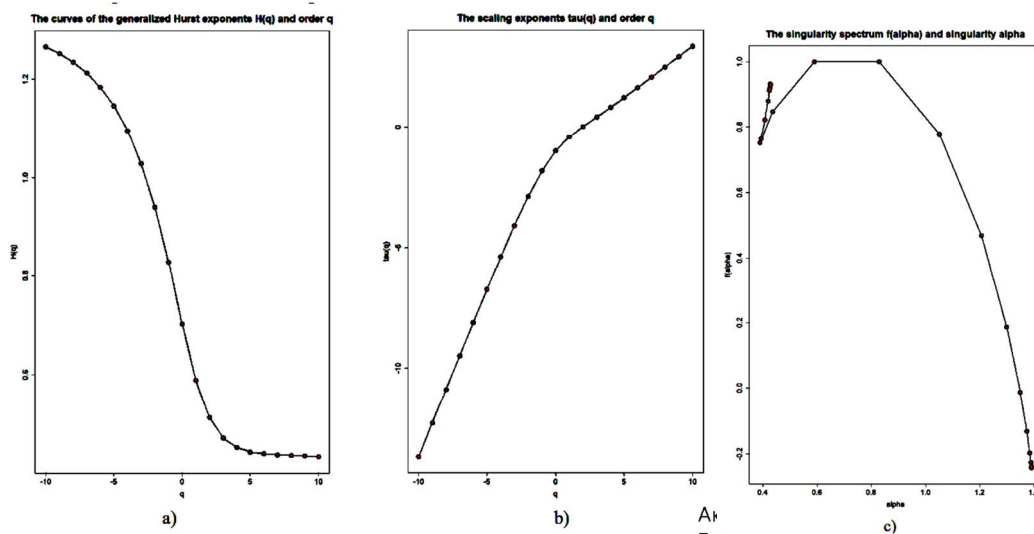


Fig. 1. Multifractal characteristics: Hurst exponent (a), scaling exponent (b) and singularity spectrum (c)

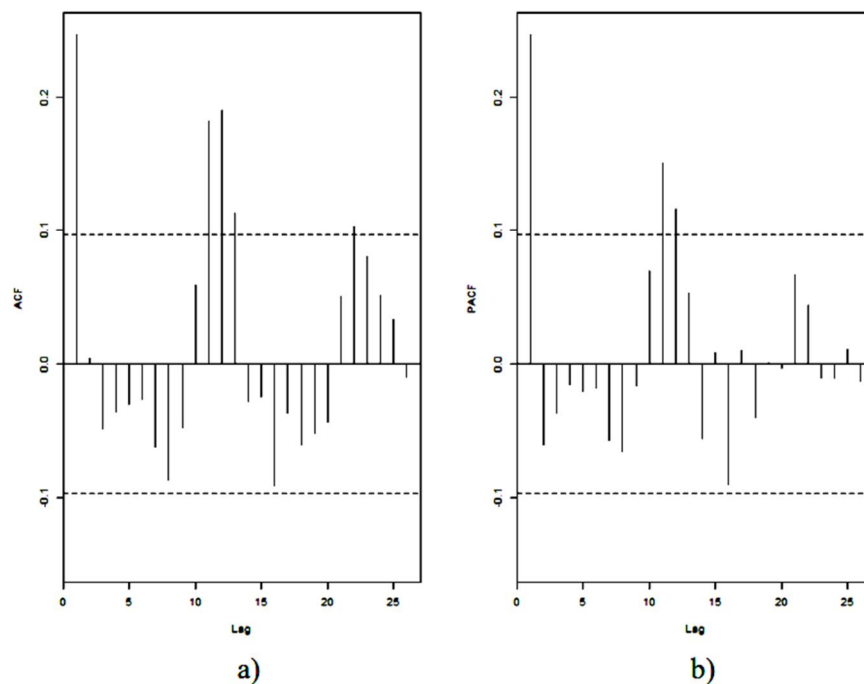


Fig. 2. ACF function (a), PACF function (b) applied to differentiated time series
 The results of this analysis is presented in Table 1.

Table 1.

Evaluation of the prediction accuracy using RMSE metric

Model	10 test data	50 test data
(auto) ARFIMA	2.009118	2.545665
(auto) ARIMA	2.009179	2.606649
manually fitted ARFIMA	1.687774	2.522736

Conclusions

This study explores data modelling and development of a software solution based on multifractal modeling approaches.

Key analyses include the assessment of Hurst exponents with the use of multifractal analysis, time series stationarity, and long memory characteristics. ARFIMA-based fractal model was developed by incorporating the fractal differentiation parameter derived from the MFDFA algorithm to enhance time series forecasting.

Using observational data from the River Quoyle in Northern Ireland, this study compares the forecasting accuracy of the proposed fractal model with its automatically parameterized version as well as with conventional autoregressive models.

Numerical experiments conducted on varying training and test dataset sizes demonstrate that the proposed architecture improves forecasting accuracy compared to traditional autoregressive and fractal models. These findings highlight that even in stationary time series with weak long-memory properties, fractal models leveraging multifractal characteristics exhibit high efficiency, facilitating the early detection of environmental issues.

1. Information on <https://sdgs.un.org/goals>
2. E.R. Fuhrmeister, K.J. Schwab, T.R. Julian, Estimates of Nitrogen, Phosphorus, Biochemical Oxygen Demand, and Fecal Coliforms Entering the Environment Due to Inadequate Sanitation Treatment Technologies in 108 Low and Middle Income Countries, *Environ. Sci. Technol.* 49 (2015) 11604-11611. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02919>
3. Y. Wen, G. Schoups, N. van de Giesen, Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change, *Sci. Rep.* 7 (2017) 43289. <https://doi.org/10.1038/srep43289>
4. J. Lee, S. Lee, S. Yu, D. Rhew, Relationships between water quality parameters in rivers and lakes: BOD₅, COD, NBOPs, and TOC, *Environ. Monit. Assess.* 188 (2016) 252. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5251-1>
5. T. Siwiec, L. Reczek, M. Michel, B. Gut, P. Hawer-Strojek, J. Czajkowska, K. Jozwiakowski, M. Gajewska, P. Bugajski, Correlations between organic pollution indicators in municipal wastewater, *Arch. Environ. Prot.* 44 (2018) 50-57.
- [6] K. Liu, Y. Chen, X. Zhang, An Evaluation of ARFIMA (Autoregressive Fractional Integral Moving Average) Programs. *Axioms.* 6 (2017) 1-16. <https://doi.org/10.3390/axioms6020016>
7. B.K. Ray, Modeling long-memory processes for optimal long-range prediction, *Journal of Time Series Analysis* 14 (1993) 511-525. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1993.tb00161.x>
8. Y. Sokolovskyy, M. Levkovich, O. Mokrytska and Y. Kaspryshyn, "Mathematical Modeling of Nonequilibrium Physical Processes, Taking into Account the Memory Effects and Spatial Correlation," 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019, pp. 56-59. <https://doi.org/10.1109/ACITT.2019.8780011>
9. Sokolovskyy, Y.; Drozd, K.; Samotii, T.; Boretska, I. Fractional-Order Modeling of Heat and Moisture Transfer in Anisotropic Materials Using a Physics-Informed Neural Network. *Materials* 2024, 17, 4753. <https://doi.org/10.3390/ma17194753>
10. X. Zhang, G. Zhang, L. Qiu, B. Zhang, Y. Sun, Z. Gui, Q. Zhang, A Modified Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) Approach for Multifractal Analysis of Precipitation in Dongting Lake Basin, China, *Water.* 11 (2019) 891. <https://doi.org/10.3390/w11050891>
11. L. Ding, Y. Luo, Y. Lin, Y. Huang, Revisiting the Relations Between Hurst Exponent and Fractional Differencing Parameter for Long Memory, *Phys. A: Stat. Mech. Appl.* 566 (2021) 125603. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125603>

METHODOLOGY FOR OPTIMIZING DATA PROCESSING IN INFORMATION SYSTEMS

The exponential expansion of data and the increasing intricacy of contemporary information systems require optimized data transmission and processing processes to achieve optimum performance of these systems. In order to enable enhanced capabilities related to data transfer and processing in information systems, this study suggests an innovative methodology. This methodology aims to reduce latency, enhance throughput, and enhance data integrity by thoroughly investigating data flow, network constraints, and computational capacities. The research explores the scalability issues faced by large-scale systems in the integration of sophisticated algorithms, data compression methods, and novel routing strategies. Furthermore, the suggested methodology presents a hierarchical framework enabling both adaptability and modularity for the integration of emerging technologies. Findings from real-world implementations demonstrate considerable enhancement in performance metrics such as cost-effectiveness, speed, and reliability. This article serves as a basic primer for researchers and practitioners working in the field of data science, systems engineering, and information technology because it presents a comprehensive primer for understanding and applying these optimization techniques.

Inefficiencies of data processing and transfer are a common problem to information systems that cause undue delay, increased expenses, and total system performance losses. Conventional solutions to curbing these inefficiencies do not accommodate the expanding complexity of systems today, such as real-time processing requirements, the necessity of efficient scaling, and the increasingly large amount of data. Therefore, the creation of a methodology that can detect bottlenecks, streamline processes, and deliver scalable solutions with the ability to evolve in accordance with the system's needs is essential.

Research Goals:

- To develop a comprehensive approach for optimizing data processing and transfer in information systems.
- To identify key factors – such as data flow, resource allocation, network efficiency, and error handling – that influence system performance.
- To compare and evaluate the efficiency of different data loading techniques, specifically T-SQL, SSIS FastLoad, and SSIS Plain Load, in terms of performance and resource utilization.
- To suggest an adaptable framework for implementing optimization techniques, suitable for a wide range of information systems, from large-scale distributed systems to smaller databases.
- To assess the practical applicability of the proposed methodology in both operational environments and research contexts.

Methodology:

1) Literature Review: A thorough analysis will be conducted to understand current methodologies and optimization strategies in data processing and transfer. Special attention will be given to the comparison of T-SQL, SSIS FastLoad, and SSIS Plain Load to identify their strengths and weaknesses in real-world scenarios.

2) Data Flow Analysis: A detailed examination will explore how data flows through different systems and how constraints such as resource limitations, network congestion, and inefficient protocols affect system performance. This analysis will focus on how T-SQL and SSIS techniques handle these factors and their impact on efficiency.

3) Implementation and Case Studies: The proposed methodology will be tested in various environments, applying T-SQL, SSIS FastLoad, and SSIS Plain Load to evaluate each method's performance in different scenarios. This will include both synthetic datasets for controlled testing and real-world datasets to simulate practical conditions.

4) Performance Evaluation: The effectiveness of each data loading technique will be assessed using key performance indicators, such as throughput, latency, error rates, and scalability. This will allow a direct comparison of T-SQL, SSIS FastLoad, and SSIS Plain Load in terms of their ability to handle large data volumes efficiently, their impact on system resources, and their suitability for different types of information systems.

Results:

The testing of the effectiveness of the ETL process will be done based on data sets of different sizes. The initial analysis will be done based on stored procedures written in T-SQL. A special procedure was designed specifically for this data transfer, which will include certain filters at the time of data migration. Experimental testing will be done based on chosen volumes of data, with a progressive increase in the records. We will illustrate the relationship between the transfer time fluctuation and the data transferred quantity with the help of a line graph.

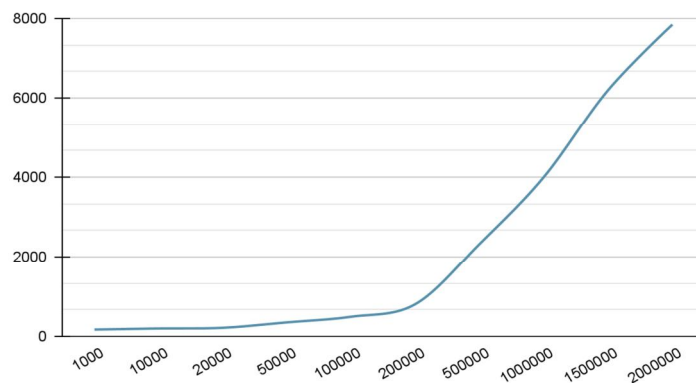


Fig. 1. Graph of time versus amount of information processed using T-SQL

After analyzing the results obtained through the experiments, we realize that an increase in the amount of information processed is associated with an increase in operational time. We shall then repeat these experiments, but this time using SSIS packages. The use of SSDT to manipulate data offers the capability to check the UseFastLoadIfAvailable parameter. Let us see what happens with two situations: one that uses this parameter and another one that does not.

- Fast Load – <UseFastLoadIfAvailable="false">
- Plain Load – <UseFastLoadIfAvailable="true">

The presented graphs illustrate that FastLoad usage not only achieves a considerable decrease in execution time but also reveals a more even trend of this parameter in comparison with PlainLoad. As one can see from Fig. 2, following a sharp increase in data volume, the execution time has irregular spikes; whereas FastLoad usage illustrates close to a linear relationship between time and data volume.

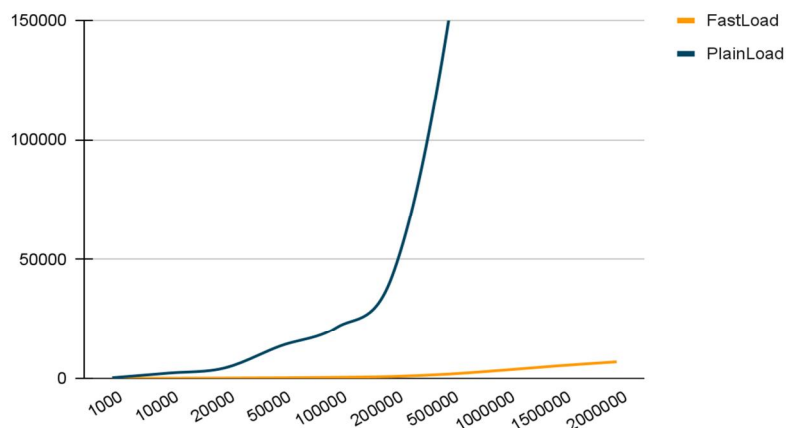


Fig. 2. Comparing load time speed with SSIS packages using Fast and PlainLoad

Hence, the findings from the research indicate that developing SSIS packages via FastLoad is the most efficient way to data processing and transfer via the use of this tool. It is prudent at this stage to make a comparison between the use of T-SQL and FastLoad in order to identify the most efficient method among those being researched.

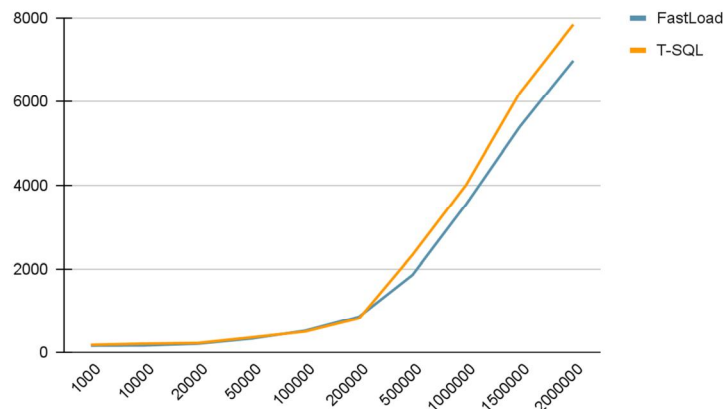


Fig. 3. Load time speed comparison using T-SQL and FastLoad

The data presented in the graph above indicates that FastLoad is at an advantage, particularly when dealing with huge datasets, as is evident from a colossal improvement in performance. The enhancement, though, is not so pronounced when dealing with record sets of 200,000 and below. Although FastLoad demonstrates better performance even with small data sets, it is reasonable to encourage the use of T-SQL, as development with the use of this utility is easier and does not include other tools, in contrast to the process applied for creating SSIS packages. Nevertheless, in order to come to an optimal solution, it is necessary to consider all aspects relevant to the case, most of all the particular characteristics of the task and the requirements of the business.

Conclusion:

To enable today's information systems to work effectively, it is essential that data processing and transmission are optimized, particularly in environments where scalability and performance are key. This approach, which provides both theoretical underpinnings and applied strategies to address current challenges, presents a systematic way of achieving significant gains in system efficiency. Its use in various industries is likely to enhance user experiences, reduce costs, and enhance data-driven decision-making processes.

1. Saraswat, P., & Raj, S. (2022). Educational data mining and data warehouse design using business intelligence. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 97–101. <https://doi.org/10.55524/ijircst.2022.10.1.17>
2. Beshley, M., Hordiichuk-Bublivska, O., Beshley, H., & Ivanochko, I. (2022). *Data Optimization for Industrial IoT-Based Recommendation Systems*. *Electronics*, 12(1), 33. <https://doi.org/10.3390/electronics12010033>
3. Novoselova, O., Ruzheynikov, A., & Gavrilov, A. (2019). *Analytical Processing of Applied Tasks Conceptual Models at Design of Information-Active Systems*. *EPJ Web of Conferences*, 224, 06008. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201922406008>
4. Jaroli, P., & Masson, P. (2017). *Data Warehousing and OLAP Technology (Data warehousing)*. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 51(1), 45–50. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v51p208>
5. Garani, G., Chernov, A., Savvas, I., & Butakova, M. (2019). *A Data Warehouse Approach for Business Intelligence*. *Y 2019 IEEE 28th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/wetice.2019.00022>

6. Rachapudi, S. (2024). Holistic Data Management: Integrating OLTP and OLAP in Financial Systems. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13(10), 1115–1118. <https://doi.org/10.21275/sr241015110206>

Федонюк Микола
Луцький національний технічний університет
Федонюк Віталіна
Луцький національний технічний університет

РОЛЬ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ОСВІТНІХ ПРОГРАМАХ З ЕКОЛОГІЇ

Застосування інформаційно-комунікаційних технологій у освітньому процесі на даний час є актуальним для усіх сфер освітньої діяльності, від технічних до гуманітарних освітніх програм, не є винятком і підготовка майбутніх фахівців з екології. Охорона навколишнього природного середовища та екологічна безпека – це на даний час пріоритетні напрямки формування на національному рівні загальнодержавної та регіональної екологічної політики. Питання забезпечення екологічної безпеки в умовах ведення російською федерацією агресивної війни проти України стоїть особливо гостро. Тому забезпеченню фахової підготовки екологів сучасного рівня, компетентних у всіх галузях якісного провадження системи заходів, спрямованих на організацію менеджменту в сфері охорони довкілля та впровадження принципів раціонального природокористування, надається першочергове, пріоритетне значення у вищій технічній школі. Окремі аспекти даного напрямку підготовки майбутніх фахівців – екологів було розглянуто у роботах Картавого А.Г., Федонюк В.В., Іванціва В.В., Федонюка М.А., Панькевича С.Г., Пушкар Н.С. [1, 2, 3, 4, 5] та інших дослідників. Зокрема, у роботах Картавого А.Г., Федонюк В.В., Федонюка М.А. та Федонюк В.В., Федонюк, М.А. Пушкар Н.С [1, 2] окреслено можливості розширеного впровадження методів ІКТ у систему природничо-географічної освіти як на рівні вищої школи, так і на рівнях шкільної та позашкільної освіти, в тому числі – для реалізації принципів STEM-освіти та навчання через проєктну діяльність. У роботах Федонюк В.В., Іванціва В.В., Федонюка М.А., Панькевича С.Г., Fedoniuk M.A., Kovalchuk I.P., Fesyuk V.O., Kirchuk R.V., Merlenko I.M., Bondarchuk S.P. [3, 4, 5, 6] розглядалися особливості використання методів інформаційно-комунікаційних технологій та прикладних онлайн-сервісів при викладанні окремих навчальних курсів природничо-екологічного спрямування.

Ефективному вирішенню таких завдань має сприяти введення у навчальні плани усіх напрямів підготовки та спеціальностей у вищій школі дисциплін «Інформаційно-комунікаційні технології за професійним спрямуванням». Враховуючи особливості екологічної спеціалізації та власний досвід викладання інформаційних технологій студентам-екологам, авторами даного дослідження пропонується змістовий поділ курсу «ІКТ за професійним спрямуванням» на 3 модулі різної тематичної спрямованості [3, 4, 5].

У першому змістовому модулі основна увага приділяється висвітленню загальних тем дисципліни та засвоєнню комплексу вмінь та навичок, необхідних кожному кваліфікованому спеціалісту (переважно без конкретної прив'язки до спеціальності).

Другий змістовий модуль присвячений особливостям застосування інформаційних технологій власне в екологічній сфері. При цьому тематика модульних завдань є досить різносторонньою, зокрема, через намагання викладача охопити різні види можливої діяльності випускника-еколога. Отже, цей модуль включає в себе такі теми:

- аналіз існуючих інформаційних мереж та баз даних регіональних підрозділів Державних екологічних інспекцій, геокадастрів, Гідрометеоцентру, МОЗ і т.п.;
- робота з цифровим обладнанням для вимірювання параметрів довкілля (залежно від наявності у лабораторіях – шумоміри, потенціометри, вимірювачі густини потоку енергії, пірометри, ехолоти);

- особливості навігаційних інформаційних систем (GPS, ГЛОНАСС), робота з GPS-пристроями;
- робота з програмою моделювання розсіювання викидів «ЕОЛ+»;
- використання безпроводних технологій передачі даних (розглядаються основні можливості та відмінності технологій GPRS, EDGE, Bluetooth, CDMA, HSDPA та ін.; окремий акцент на доведених та потенційних екологічних аспектах впливу);
- оцінка «екологічного сліду» використання інформаційних технологій на глобальному та локальному рівні (у т.ч. енерго- та ресурсоемність у порівнянні із «традиційними» засобами) [1, 2, 3, 5].

Третя модульна частина – «Геоінформаційні системи» – також присвячена виключно набуттю спеціалізованих геоекологічних компетенцій, але значний обсяг інформації та її наскрізна поєднаність дозволяють виокремити її в окремий модуль.

Така комплексна структура впровадження методів та засобів інформаційно-комунікаційних технологій у освітні програми та у окремі освітні компоненти, що викладаються для майбутніх фахівців з екології, дозволить забезпечити цифровізацію освітнього процесу у галузі.

1. Картавий, А.Г., Федонюк, В.В., & Федонюк, М.А. (2021). Особливості організації дистанційного вивчення природничо-географічних дисциплін. *The III International Science Conference on E-Learning and Education*, February 2 – 5, 2021, Lisbon, Portugal. 80-83.

2. Федонюк, В.В., Іванців, В.В., Федонюк, М.А., & Панькевич, С.Г. (2015). Приклади використання інтернет-ресурсів у практичному курсі дисципліни «Заповідна справа». *Інформаційні технології і засоби навчання*. 46 (2). 109-123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2015_46_2_13

3. Федонюк, В.В., Федонюк, М. А. & Пушкар, Н.С. (2021). Застосування ІКТ при розробці STEM-проектів у природничо-географічній позашкільній освіті. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 85 (5). 78–94. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v85i5.39555>

4. Федонюк, В.В., Федонюк, М.А., & Панькевич, С.Г. (2013). Досвід використання програми Google Earth при викладанні географічних дисциплін. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 6 (38). 138 – 148. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2013_38_6_14

5. Федонюк, В.В., & Федонюк, М.А. (2021). Застосування ІКТ при викладанні дисциплін метеорологічного циклу. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення*: Збірник наукових праць IV Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон, 10-11 червня 2021 року. ДВНЗ «ХДАУ». 316 – 319.

6. Fedoniuk, M.A., Kovalchuk, I.P., Fesyuk, V.O., Kirchuk, R.V., Merlenko, I.M., & Bondarchuk, S.P. (2021). Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS landviewer services (on the example of Lutsk district lands). *Geoinformatics*. Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, May 2021, Volume 2021. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521134>

Харів Андріана, Чишинська-Глибович Ліліана
Національний університет «Львівська політехніка»

МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ СТИХІЙНИХ ЛИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Війна, на жаль, є не лише трагедією для людей, але й серйозною загрозою для навколишнього середовища. Бойові дії, руйнування інфраструктури, переміщення великої кількості людей – все це призводить до значних екологічних збитків, які можуть мати довгострокові наслідки для здоров'я населення та стійкості екосистем. Традиційні методи оцінки та моніторингу

екологічних наслідків війни часто виявляються недостатніми через обмежений доступ до територій, безпеку проведення польових досліджень та масштабність руйнувань.

У цьому контексті, технології дистанційного моніторингу, зокрема через супутникові знімки, стають надзвичайно цінним інструментом. Вони забезпечують можливість швидкого та масштабного охоплення постраждалих територій, дозволяючи отримувати інформацію навіть з важкодоступних або небезпечних зон. Однак, обробка великих обсягів супутникових даних вимагає застосування автоматизованих методів аналізу.

Розглянемо можливості застосування методів штучного інтелекту (ШІ) та геоінформаційних систем (ГІС) для автоматизованого виявлення та аналізу екологічних наслідків війни.

- **Руйнування інфраструктури**

Виявлення пошкоджених будівель, доріг, мостів, промислових об'єктів. Алгоритми ШІ можуть автоматично ідентифікувати пошкоджені об'єкти, оцінювати ступінь руйнування (наприклад, часткове чи повне) та картографувати зони найбільших руйнувань.

- **Лісові пожежі:**

Виявляти осередки пожеж та їх поширення та оцінювати площі уражених лісових масивів. Аналізуючи зміни у покритті на супутникових знімках, можна точно визначити площу лісу, знищеного пожежею. Це дає змогу оцінити екологічні збитки, такі як втрата біорізноманіття та викиди вуглекислого газу і на основі цього навіть провести моніторинг викидів в атмосферу.

- **Забруднення водних ресурсів:**

Виявлення розливів нафтопродуктів та хімічних речовин. Війна часто супроводжується пошкодженням нафтопереробних заводів, трубопроводів та інших промислових об'єктів, що призводить до розливів нафти та хімічних речовин у водні об'єкти. Супутникові знімки можуть допомогти виявити такі розливи, оцінити їх площу та напрямок поширення. Моніторинг змін якості води (наприклад, каламутність), таким чином ШІ може аналізувати ці дані для виявлення аномалій, які можуть свідчити про забруднення води.

- **Утворення небезпечних відходів:**

Виявлення місць утворення сміттєзвалищ та інших місць накопичення відходів. Війна призводить до утворення великої кількості відходів, включаючи побутові, будівельні, промислові та військові відходи. модель може допомогти виявляти місця їх накопичення, навіть у віддалених або небезпечних районах, а також прокласифікувати їх і провести моніторинг міграції забруднюючих речовин. Супутникові знімки можуть допомогти відстежувати розповсюдження забруднюючих речовин з місць накопичення відходів у ґрунті та воді.

Підготовка даних

Підготовка даних є критично важливим етапом. Спочатку необхідно визначити характерні візуальні ознаки для кожного конкретного типу екологічної шкоди. Це означає розробку критеріїв, за якими алгоритм ШІ зможе розрізняти різні види уражень на супутникових знімках. Наприклад, для виявлення пожеж це можуть бути не лише видимі ознаки полум'я, а й зміна спектральних характеристик рослинності, тоді як для розливів нафти – зміна відбивної здатності води. Далі створюються навчальні вибірки, де приклади кожного типу шкоди чітко позначаються на зображеннях (анотуються). Якість та різноманітність цих анотацій є ключовими для успішного навчання алгоритму. Нарешті, враховуються особливості обробки зображень різних типів. Наприклад, для оцінки стану рослинності можуть використовуватись мультиспектральні знімки, що містять інформацію про відбиття світла у різних діапазонах спектру.

Навчання моделей ШІ

Навчання моделей ШІ часто базується на архітектурах згорткових нейронних мереж (CNN), оптимізованих для задач комп'ютерного зору. Однією з таких архітектур є RESNET18, яка використовується як базова модель завдяки своїй здатності ефективно вивчати просторові ієрархії ознак на зображеннях. RESNET18 може бути використана для різних задач, таких як класифікація (визначення наявності/відсутності екологічної шкоди), сегментація (попиксельне

розпізнавання областей ураження) або детекція об'єктів (визначення розташування та меж окремих об'єктів). При необхідності архітектура RESNET18 може бути модифікована, наприклад, шляхом зміни кількості шарів або додавання шарів уваги, для кращої адаптації до конкретної задачі. Налаштування гіперпараметрів навчання, таких як швидкість навчання, розмір пакета та кількість епох, є критичним етапом, що впливає на ефективність та швидкість навчання. Для цього використовуються методи оптимізації гіперпараметрів. З метою прискорення процесу навчання часто застосовуються методи перенесення навчання, коли RESNET18 або інша модель, навчена на великих наборах даних (наприклад, ImageNet), "доучується" на даних, специфічних для виявлення екологічної шкоди.

Оцінка та застосування моделей

Після навчання моделі необхідно оцінити її ефективність. Для цього використовуються різні метрики, які відповідають конкретному типу екологічної шкоди. Наприклад, для виявлення розливів нафти важливою є точність визначення меж розливу, а для оцінки площі пожежі – точність вимірювання обгорілої території. Навчені моделі застосовуються для моніторингу змін на постраждалих територіях, що дозволяє відстежувати динаміку поширення забруднень або відновлення екосистем.

Для забезпечення надійності оцінки використовуються методи крос-валідації. Навчені моделі застосовуються для автоматизованої обробки великих обсягів супутникових даних з метою виявлення та картографування екологічної шкоди. Це може бути пакетна обробка для аналізу історичних даних або онлайн-моніторинг для оперативного реагування на події. Результати аналізу інтегруються з геоінформаційними системами (ГІС) для геокодування, просторового аналізу та візуалізації на картах, що полегшує прийняття рішень щодо управління та ліквідації наслідків екологічних катастроф.

Застосування методів штучного інтелекту, зокрема згорткових нейронних мереж, таких як RESNET18, у поєднанні з геоінформаційними системами, є потужним підходом для автоматизованого моніторингу та оцінки екологічної шкоди. Цей підхід дозволяє ефективно обробляти великі обсяги супутникових даних, виявляти різні типи уражень, відстежувати їх динаміку та надавати інформацію, необхідну для прийняття обґрунтованих рішень.

Проте, успішна реалізація таких систем вимагає ретельної підготовки даних, включаючи формалізацію візуальних ознак та створення якісних навчальних вибірок, а також правильного вибору та налаштування архітектури нейронної мережі та параметрів навчання. Важливим аспектом є також адекватна оцінка ефективності моделі з використанням відповідних метрик та методів крос-валідації.

1. Beeson, S. T., Korkmaz, K., & Abualkibash, M. Rapid Damage Assessment Using Satellite Images after Hurricane Harvey. SSRN Papers. (Наукова публікація)

2. Bai, Y., Adriano, B., Mas, E., & Koshimura, S. Building Damage Assessment in the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake Using Only Post-Event Dual Polarization Synthetic Aperture Radar Imagery. Earthquake Spectra. 33(1), S185–S195. DOI: 10.1193/121516EQS232M. (Наукова публікація)

3. Rao, R. How AI is saving homes and lives in California during wildfire season. ZDNET.

4. Boccardob, P. & Tonolo, F. G. Haiti Earthquake Damage Assessment: Review of the Remote Sensing Role. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 39, 529-532. DOI:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-529-2012.

ЧИННИКИ ЗАКАРСТОВАНOSTІ ТА НАСЛІДКИ АКТИВІЗАЦІЇ СОЛЯНОГО КАРСТУ В МЕЖАХ СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

Стебницьке родовище калійних солей є одним із найбільших в Україні і на протязі багатьох століть на йшл території видобувались ропи, із яких випарювали сіль, а в останні 70-100 років розроблялось як потужне джерело гірничо-хімічної сировини для виробництва агрохімічної продукції, де видобувались і збагачувались калійно-магнієві руди, вироблялися калійно-магнієві добрива і значні обсяги постачалися в різні регіони України. Проте такий видобуток не пройшов безслідно для геологічного середовища та довкілля: первинні карстові пустоти від видобутку ропи, із часом об'єдналися в єдину мережу карстових каналів, які у період водопритоків у гірничі виробки (зони розвантаження), стали зонами живлення та транзиту карстової гідрогеологічної системи.

Тривале функціонування у часі карстової гідрогеологічної системи та потрапляння у видобувні камери агресивних до калійних солей дренажних вод, призвело до підрізання та обвалювання ціликів, формування склепіннь стійкої рівноваги, їхнього руйнування та утворення трьох великих провалів № 27, 30 та 32, в межах пласта № 10 на незначній один від одного та їх зміни в процесі самозатоплення та формування постгірничого ландшафту за останні вісім років на території гірничого відводу рудника № 2.

Метою роботи було аналіз чинників активізації соляного карсту та формування гідрогеологічної системи у зоні впливу найбільших карстових провалів у межах Стебницького родовища калійних солей [2]. Для досягнення поставленої мети вирішувалися задачі аналізу динаміки водопритоків у часі, змін ландшафту, карстових деформацій і провалоутворення, обґрунтування моделей та виділення стадій геодинамічних процесів за сукупністю ознак, [3]. Застосовувалися методи картографічних досліджень, які полягали в аналізі картографічних матеріалів – карт, схем, планів гірничих робіт, польових досліджень, які полягали в польових дослідженнях, вимірюваннях та фотодокументуванні наслідків каротинування та дистанційного зондування з використанням багатофункціонального програмного комплексу Google Earth Pro. За результатами досліджень обґрунтовано три моделі формування техногенно порушеного геологічного середовища та виділено сім етапів у моделі порушення геологічного середовища та докорінних змін гідрогеологічних умов при активізації надходжень води в гірничі виробки, розвитку соляного карсту, підрізання ціликів, утворення в них великих провалів і карстових озер [3].

Висновки.

За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1. Формування техногенно порушеного геологічного середовища рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей відбувається за трьома моделями:

1) порушення природних гідрогеологічних умов та первинне техногенне порушення геологічного середовища при видобутку розсолів із зони соляного дзеркала, що відбувалося протягом багатьох століть з невеликими пониженнями біля місць видобутку;

2) Модель порушення геологічного середовища при видобутку калійних руд шахти № 2 Стебницького родовища, що призвело до появи водонапливів та середніх за величиною западин;

3) Модель порушення геологічного середовища та докорінних змін гідрогеологічних умов при зрізанні стовпів, утворенні в них великих западин і карстових озер.

2. У третій моделі – порушення геологічного середовища та радикальні зміни гідрогеологічних умов при активізації надходжень води в гірничі виробки, розвиток соляного карсту виділяють сім етапів:

1-ша стадія – надходження агресивних вод в гірничі камери, з підрізанням ціликів, їх обваленням і формуванням склепіння стійкої рівноваги;

2-га стадія – стадія осідання поверхні над камерами із підрізаними ціликами та склепіннями стійкої рівноваги;

3-тя стадія – втрата стійкості скл стійкої рівноваги і утворення циліндричних провалів в центрі, із ініціюванням техногенних землетрусів та гідравлічних ударів;

4-та стадія – доцентрових обвалів;

5-та стадія – зародження тріщин та обвальних тіл з активізацією багатоамплітудних, багатофазних, доцентрових осувів.

6-та стадія – стабілізація осувних тіл у процесі утворення карстових озер;

7 етап – стабілізація осувних тіл у процесі фільтраційного розвантаження карстових озер у найбільших провалах та витікання з останніх водотоків у річкову мережу.

1. Гайдін А.М. Геодинамічні процеси на соляних родовищах / А.М. Гайдін, В.О. Дяків // Матеріали. Міжнародної науково-практичної конференції «Форум гірників 2010» 21 -23 жовтня 2010 р. – Дніпропетровськ, 2010. – С.23-41.

2. Дяків В. Експериментальне моделювання дезінтеграції галопелітових мінеральних асоціацій при затопленні рудника № 2 Стебницького ДГХП «Полімінерал». / В.Дяків // Вісник Волин. ун-ту. – 2007. – Вип. 2. част.2. – С. 285-291.

3. Дяків В. Еволюція постмайнінгових змін гідрогеологічних умов у зоні впливу найбільших карстових провалів у межах Стебницького родовища калійних солей / В. Дяків, З. Хевпа, О.Огірчак // Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2024. Вип. 38. С.94 –115. Режим доступу в мережі Internet: <https://journals.lnu.lviv.ua/index.php/geology/article/view/401/376>

Хомин Богдан

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ: ВІДКРИТІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПЛАТФОРМИ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ ГРОМАДАМИ

У сучасних умовах цифрової трансформації публічного управління однією з ключових передумов забезпечення ефективного функціонування органів місцевого самоврядування є створення відкритих інформаційних платформ, які забезпечують не лише прозорість діяльності владних інституцій, а й сприяють формуванню нової якості взаємодії між владою, громадськістю та бізнесом. Такі платформи стають інструментом підвищення рівня довіри до органів влади, забезпечуючи громадянам вільний доступ до релевантної, актуальної та достовірної інформації щодо бюджетних витрат, реалізації проєктів соціально-економічного розвитку, ходу містобудівних процесів, кадрових рішень та інших важливих аспектів управлінської діяльності.

Функціонування відкритих платформ, зокрема електронних порталів відкритих даних, спрямоване на впровадження принципів підзвітності, прозорості, інклюзивності та участі громадян у процесах прийняття рішень. Механізм відкритих даних дозволяє мешканцям не лише пасивно спостерігати за діями місцевої влади, але й активно брати участь у бюджетному процесі, здійснювати громадський контроль за витрачанням коштів, надавати пропозиції до стратегічних документів, обговорювати проєкти регуляторних актів. Таким чином, цифрові інструменти формують середовище для реалізації принципів демократичного врядування, створюючи умови для переходу від адміністративно-орієнтованої до громадоцентричної моделі управління [1-2].

Особливої уваги заслуговує використання сучасних цифрових технологій, таких як Big Data, штучний інтелект (AI), блокчейн та Інтернет речей (IoT), у практиках управління територіальними громадами. Технології Big Data забезпечують можливість обробки великих масивів структурованих і неструктурованих даних, що надходять із різноманітних джерел, включаючи муніципальні інформаційні системи, соціальні мережі, датчики IoT, результати соціологічних

опитувань [3-4]. Обробка таких даних у режимі реального часу дозволяє органам місцевого самоврядування здійснювати моніторинг соціально-економічної ситуації, виявляти кризові тенденції, прогнозувати потреби населення, оптимізувати розподіл ресурсів і ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення.

Використання штучного інтелекту в місцевому управлінні дає змогу підвищити ефективність процесів моделювання та аналізу складних управлінських задач, зокрема у сфері просторового планування, розробки транспортної інфраструктури, оптимізації мережі освітніх та медичних закладів. На основі алгоритмів машинного навчання можливе створення динамічних моделей розвитку територій, які враховують численні соціально-економічні та екологічні фактори, що дозволяє прогнозувати наслідки управлінських рішень і мінімізувати ризики стратегічного планування.

Технології блокчейн, у свою чергу, знаходять застосування у забезпеченні прозорості та достовірності процедур, які стосуються, зокрема, ведення земельного кадастру, обліку майна територіальної громади, контролю за державними закупівлями, управління муніципальними активами. Завдяки незмінності записів та децентралізованій природі блокчейну зникають ризики підробки або несанкціонованої модифікації даних, що особливо актуально в умовах поширених корупційних загроз на рівні місцевого самоврядування. Таким чином, блокчейн не лише підвищує рівень безпеки цифрових сервісів, а й посилює довіру громадян до дій влади, створюючи підґрунтя для сталого розвитку відкритих інституцій.

Інтернет речей (IoT) дозволяє створювати інтелектуальні системи моніторингу міського середовища, зокрема щодо якості повітря, рівня шуму, температури, заповненості паркінгів, використання громадського транспорту, освітлення вулиць тощо. Отримана з мережі сенсорів інформація обробляється у хмарних середовищах або локальних дата-центрах, після чого передається до муніципальних аналітичних платформ. Це дає змогу не лише контролювати екологічну та техногенну безпеку міського середовища, але й підвищувати ефективність комунальних послуг, економити енергетичні ресурси, покращувати якість життя населення. У поєднанні з системами цифрової ідентифікації та електронного документообігу технології IoT забезпечують інтеграцію "розумних" рішень у повсякденну практику управління міською інфраструктурою.

Результатом інтеграції цифрових технологій в управлінську практику є не лише зростання ефективності функціонування органів місцевого самоврядування, а й формування нового образу громади як відкритої, цифрової, інноваційної спільноти, орієнтованої на потреби своїх мешканців. Така громада здатна швидко реагувати на виклики, приймати гнучкі рішення, залучати додаткові інвестиції та міжнародну допомогу завдяки репутації прозорості, відповідальності та технологічної зрілості.

Цифровізація місцевого управління також сприяє розвитку громадянського суспільства, оскільки забезпечує нові канали зворотного зв'язку, цифрові механізми електронної участі, платформи громадського обговорення, мобільні застосунки для звернень і повідомлень про проблеми. Участь громадян в управлінні розширюється завдяки таким інструментам, як електронні петиції, онлайн-голосування, бюджети участі, краудсорсингові ініціативи, що забезпечує підвищення якості управлінських рішень і наближення влади до потреб громади.

Таким чином, створення відкритих інформаційних платформ і впровадження інноваційних цифрових рішень відіграють ключову роль у трансформації моделей публічного управління в територіальних громадах України. Вони не лише дозволяють досягти прозорості та ефективності управління, а й створюють нові можливості для сталого розвитку, демократизації управлінських процесів і формування суспільства, заснованого на знаннях і технологіях. Успішне застосування цифрових інструментів потребує системного підходу, інституційної підтримки, розвитку цифрових навичок персоналу органів місцевого самоврядування та активного залучення всіх стейкхолдерів до процесу цифрової трансформації.

1. Піскоха, Н. (2021). Цифрова трансформація місцевого самоврядування: визначення поняття та напрямків утворення цифрових громад. *Аспекти публічного управління*, 9(6), 39-45. <https://doi.org/10.15421/152168>

2. Бардах, О. (2020). Цифрова трансформація взаємодії влади та бізнесу: орієнтація на результат. *Аспекти публічного управління*, 8. <https://doi.org/10.15421/15202>
3. Євсюкова, О. В. (2021). Цифрова спроможність територіальних громад в Україні: проблеми та перспективи. *Державне управління: удосконалення та розвиток*, 6. <http://doi.org/10.32702/2307-2156-2021.6.1>
4. Шульжик, Ю. О., Квасній, З. В., Мельник, О.-А. П., & Строгуш, Ю. Б. (2025). Цифрова трансформація територіальних громад України: виклики та перспективи. *Актуальні питання економічних наук*, 8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14942699>

Cherepanyn Roman
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
WWF-Україна
Franchuk Mykhailo
Nature Reserve «Rivnenskyi»

MODERN TECHNICAL MEANS FOR THE COLLECTION, SYNCHRONIZATION AND ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL DATA FROM THE SENSING CLUES PLATFORM

In the context of global environmental changes and the increasing scale of anthropogenic pressure on the environment, the implementation of innovative technological solutions in the field of nature conservation is becoming particularly relevant. The application of information technologies (IT) in conservation activities provides a new level of efficiency in monitoring, analyzing environmental data, and forecasting ecosystem changes (Habibi, 2020). Modern digital tools – including satellite observation systems, geographic information systems (GIS), sensor networks, and analytical software – make it possible to conduct high-precision, real-time monitoring of the environmental state (de Sherbinin et al., 2014).

Information technologies play a key role in the implementation of environmental monitoring systems, which not only record the current condition of natural objects but also analyze trends, create mapping models, identify potential risks, and ensure scientifically grounded decision-making in the field of environmental protection (Dastres & Soori, 2021). In particular, mobile applications for field data collection – which support geotagging, photo documentation, and automatic synchronization with central databases – are being widely used (Sensing Clues, 2023).

The involvement of the public and civil society organizations in the process of collecting environmental information also plays a significant role, made possible through IT tools. Approaches such as citizen science greatly expand the geographical scope and frequency of observations, contribute to raising public environmental awareness, and enhance transparency in the management of natural resources (Pocock et al., 2017).

The aim of this study is to analyze modern technical tools for the collection, synchronization, and visualization of data in nature conservation, using the toolset developed by Sensing Clues as an example. This platform has demonstrated successful applications worldwide and holds significant potential for implementation and use by conservation and forestry institutions in Ukraine.

Sensing Clues is a Dutch non-profit organization founded in 2017 that specializes in developing and implementing modern technologies for nature conservation and wildlife protection. Its mission is to provide conservation organizations with tools for effective monitoring, analysis, and forecasting of biodiversity threats.

The core solutions offered by Sensing Clues to address monitoring and conservation challenges include several integrated products designed to cover the full cycle of activities – from planning monitoring efforts and data collection to data analysis, visualization, and adaptation of further research.

Cluey Data Collector (Cluey) is a mobile application for collecting field data. It allows users to record observations, tracks, movements, researcher or ranger patrol routes, and other important

data, even offline, with the option to later synchronize the collected information. Cluey serves as a foundational tool used during the initial phases of monitoring and the first fieldwork cycles with data. It is widely adopted by conservationists, foresters, and wildlife specialists across the globe as a reliable solution for collecting and synchronizing biodiversity and environmental monitoring data. The app enhances data collection efficiency, facilitates synchronization, and ensures that all collected information is stored in a shared database accessible to all registered members of the relevant user groups.

FOCUS Data Explorer (Focus 360) is a core analytical tool for reviewing and analyzing data related to wildlife conservation. It enables monitoring and improves situational awareness for conservation staff, foresters, and other relevant stakeholders. This tool consolidates data from various sources, allowing users to make informed decisions based on real-time or accumulated information. Specifically, the platform allows users to store data collected from different resources and locations in one place, categorize and cluster it according to required parameters and criteria, and visualize it for analysis and reporting purposes.

WildCat (Wildlife Conservation Analytical Toolbox) is a set of advanced analytical tools used to create maps, generate reports, and forecast potential threats, thus enabling effective planning of conservation actions. These tools support quick and user-friendly processing of collected data, allowing users to create a variety of maps and reports within an accessible software environment.

Sensing Clues supports over 500 teams of conservationists and researchers in 15 countries across 4 continents, including Bulgaria, Kenya, South Africa, and India – and now, Ukraine. Thanks to its technologies, nearly 8 million hectares of nature are under protection.

In Ukraine, Sensing Clues collaborates with WWF-Ukraine, providing technical support for monitoring large carnivores and environmental conditions within protected and forested areas. The Sensing Clues tools enable efficient collection and analysis of environmental data, supporting the implementation of Ukrainian environmental legislation, unification of research methodologies, national species conservation action plans, the Carpathian Convention ratified by Ukraine, etc.

Thus, the integration of information technologies into the nature conservation system represents one of the key avenues for enhancing the efficiency of environmental monitoring, promoting sustainable resource use, and responding to challenges associated with environmental degradation. The Sensing Clues platform has demonstrated significant potential in conservation activities, with benefits including automated data collection, standardized observations, transparency, user-friendly visualization tools, and the ability to integrate data from other sources. Further scaling of these technologies in Ukraine will contribute to improved biodiversity conservation and the adaptation of the national conservation system to international standards.

1. De Sherbinin, A., Levy, M. A., Jaiteh, M., Zell, E., & Weber, S. (2014). Using satellite data to develop environmental indicators. *Environmental Research Letters*, 9(8), 084013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084013>

2. Habibi, S. (2020). A review of ICT-based applications to monitor environmental parameters. *Construction Innovation*, 20(1), 112–127. <https://doi.org/10.1108/CI-05-2019-0043>

3. Dastres, R., & Soori, M. (2021). The Role of Information and Communication Technology (ICT) in Environmental Protection. *Figshare*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14805798>

4. Pocock, M. J. O., Tweddle, J. C., Savage, J., Robinson, L. D., & Roy, H. E. (2017). The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science. *PLOS ONE*, 12(4), e0172579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172579>

5. Sensing Clues. Solutions for smart conservation. (2023). Retrieved from <https://www.sensingclues.org>

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ХВОРОБ РОСЛИН

Вступ і постановка задачі. Згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) стали де-факто стандартом у розв'язанні широкого спектра задач комп'ютерного зору, зокрема класифікації зображень. Завдяки здатності автоматично виділяти релевантні ознаки зображень без необхідності ручного втручання, CNN виявилися особливо ефективними для розпізнавання об'єктів і візуальних патернів [1].

Однією з перспективних галузей застосування CNN є діагностика хвороб рослин за візуальними ознаками, зафіксованими на зображеннях. Традиційна експертна оцінка стану рослин часто є трудомісткою, часозатратною та схильною до суб'єктивних помилок. Натомість використання CNN дозволяє автоматизувати та оптимізувати процес моніторингу, зробивши його більш об'єктивним, точним і масштабованим.

Уже перші дослідження засвідчили високу ефективність CNN у задачі класифікації хвороб рослин. Наприклад, моделі, натреновані на одному з найвідоміших та часто застосовуваних датасетів "PlantVillage", досягали точності понад 99% [2, 3]. Проте варто зазначити, що набір "PlantVillage" включає зображення, зібрані в контрольованих лабораторних умовах на однорідному фоні. Це суттєво відрізняється від реальних польових умов, де присутня варіативність освітлення, ракурсів, фону, а також можливе перекриття чи пошкодження листків. Як наслідок, перенесення моделей, навчених на "PlantVillage", на зображення з польових умов могло призводити до зниження точності до 30–36% [2, 4]. Це підкреслює важливість розробки моделей, здатних ефективно працювати в умовах, наближених до реального середовища. Досягти цього можливо, зокрема, шляхом включення до тренувального набору зображень, отриманих у реальних польових умовах.

Метою цієї роботи є дослідження практичних аспектів розроблення згорткових нейронних мереж для задачі класифікації хвороб на зображеннях, отриманих як у контрольованих, так і польових умовах. Для досягнення цієї мети поставлено такі задачі:

1. Провести експерименти з архітектурами мереж, методами регуляризації, оптимізаторами та підходами до підготовки й розширення навчальних даних.
2. Оцінити їхній вплив на якість класифікації та обґрунтувати вибір ефективних підходів до побудови стійких моделей для класифікації хвороб рослин.

Використаний набір даних. Враховуючи обмежену здатність моделей, натренованих на наборах даних, що складаються виключно з зображень, отриманих у контрольованих умовах, до узагальнення в реальних ситуаціях, особливу увагу приділено використанню більш репрезентативного набору даних. У роботі використано об'єднаний набір даних "Plant Disease Classification Merged Dataset" [5], створений шляхом агрегації 14 менших наборів. Він містить понад 79 000 зображень листя рослин, що належать 88 різним класам, кожен з яких відповідає певному виду рослини та її стану – хворобі або здоров'ю. Набір охоплює знімки, зроблені як у лабораторних, так і польових умовах.

Набір даних було поділено на навчальний та тестовий у співвідношенні 80% до 20%.

Ключовою проблемою цього набору даних є сильний дисбаланс класів, що може негативно вплинути на точність розпізнавання малочисельних класів. Для подолання цієї проблеми, а також з метою підвищення стійкості моделей до варіацій у реальних даних було застосовано техніки аугментації даних до тренувального набору [1]. Процес аугментації полягав у виконанні ряду геометричних та кольорових перетворень, що дозволило отримати приблизно 1000 зображень для кожного класу в тренувальному наборі. У подальших експериментах обсяг тренувального набору було збільшено до 2000 зображень на клас (усього близько 176 тис. зображень), а в кінці – до 3000 зображень на клас (загалом 264 тис. зображень).

Результати та їх обговорення. У рамках дослідження було проведено масштабну серію експериментів, спрямованих на вивчення впливу різних конфігурацій архітектури згорткових нейронних мереж та гіперпараметрів на точність класифікації [1]. Загалом було навчено та проаналізовано понад 50 моделей з різними параметрами. Всі моделі працюють із зображеннями розміром 256×256 , а також використовують категоріальну крос-ентропію як функцію втрат.

Проведені експерименти дозволяють зробити наступні висновки.

Збільшення глибини мережі шляхом додавання згорткових блоків та ускладнення структури повнозв'язних шарів зазвичай призводило до зростання точності класифікації. Однак у надто глибоких моделях спостерігалось надмірне перенавчання моделей. Найкращий баланс між складністю та продуктивністю демонстрували мережі з чотирма-п'ятьма блоками згорткових шарів. Дуже ефективно показали себе моделі з парними згортковими шарами перед пулінгом.

Моделі з 512 фільтрами були ефективними, але не завжди перевершували моделі з меншою кількістю фільтрів. Найкращі моделі мали максимум 128 або 256 фільтрів. Початкова невелика кількість фільтрів (8 або 16) також може бути ефективною.

Моделі з ядрами 3×3 стабільно показували найкращі результати. Більші ядра 5×5 не покращували точність, але суттєво збільшували складність. Ядра 3×3 забезпечують хороший баланс між здатністю виявляти локальні ознаки та обчислювальною складністю.

MaxPooling2D із розміром вікна 2×2 або 3×3 продемонстрував кращі результати. Заміна MaxPooling на AveragePooling на ранніх шарах призводила до незначного зниження точності. Для переходу до повнозв'язних шарів використовувався Flatten або GlobalAveragePooling2D (GAP). GAP значно зменшував кількість параметрів порівняно з Flatten і використовувався у більшості успішних моделей.

Моделі з 1–2 великими Dense шарами (наприклад, один шар із 2048 нейронами) або 3 меншими (наприклад, 1024–512–256) продемонстрували найкращі результати. Після шару глобального усереднення ознак (GAP) зазвичай достатньо 1–2 повнозв'язних шарів. При цьому важливо застосовувати Dropout для регуляризації цих шарів.

ReLU показала себе як стабільне та ефективне рішення, тоді як LeakyReLU не продемонструвала переваг у проведених експериментах. Для фінального шару завжди використовувалася Softmax-активація з метою багатокласової класифікації.

Додавання Dropout стабільно покращувало результати порівняно з моделями без нього. Використання Dropout з коефіцієнтом 0.3–0.5 після повнозв'язних шарів є ефективною технікою регуляризації для боротьби з перенавчанням.

Додавання SpatialDropout після згорткових або пулінгових шарів, особливо з невеликими коефіцієнтами, показало позитивний вплив на точність та стабільність навчання у багатьох моделях. Рекомендується застосовувати після пулінгових шарів або між згортковими шарами з коефіцієнтом 0.05–0.2.

Batch Normalization додавалася після згорткових та перед повнозв'язними шарами. Моделі з нею досягали вищої точності та швидше збігалися. Використання Batch Normalization після загорткових та перед повнозв'язними шарами є важливим для навчання глибоких CNN, оскільки дозволяє стабілізувати розподіл активацій та прискорити навчання.

У поєднанні з Batch Normalization та Dropout, L2-регуляризація з невеликими коефіцієнтами (0.0001 або 0.0005) сприяла незначному підвищенню стабільності тренування. L2-регуляризація може бути корисною як додатковий інструмент боротьби з перенавчанням.

У якості оптимізаторів порівнювалися Adam та SGD з імпульсом. На початкових етапах оптимізатор Adam продемонстрував хорошу продуктивність із типовими параметрами. Проте для досягнення вищої точності на складніших моделях ефективнішим виявився оптимізатор SGD з високим імпульсом (0.9–0.95) у комбінації зі CosineDecay.

Використання схем динамічної зміни LR виявилось важливим для ефективного тренування моделей. Зокрема, ReduceLROnPlateau забезпечував поступове зниження LR при плато, тоді як CosineDecay, за умови старту з вищого LR, також демонстрував високу ефективність у випадку

найкращих моделей. На основі отриманих результатів рекомендується застосовувати стратегію зміни швидкості навчання CosineDecay зі стартовим LR близько $1e-2$ або $7e-3$ та оптимізатор SGD з високим значенням імпульсу.

Менший розмір пакета, наприклад 8, може покращити узагальнення, але потребує більше часу на тренування. Вибір оптимального значення залежить від апаратних обмежень та прийнятного часу навчання. Batch Size 16 є хорошим компромісом, що забезпечує баланс між швидкістю тренування і стабільністю оновлення ваг.

Кількість епох варіювалася від 20 до 100. EarlyStopping використовувався у більшості пізніх експериментів для зупинки навчання при відсутності покращення. EarlyStopping ефективно запобігав перенавчанню та економив час.

Обсяг тренувальних даних поступово збільшувався шляхом аугментації. Розширення набору даних суттєво покращило як загальну точність моделей, так і стабільність процесу навчання. Перехід до 3000 зображень на клас дозволив досягти найкращих результатів. Для задач класифікації, що передбачають велику кількість класів та високу варіативність даних, використання великого та різноманітного, поповненого за допомогою аугментації, набору даних є важливим фактором успіху.

Найвищу точність на тестовому наборі даних, близько 94.7%, продемонструвала модель №51. Її архітектура складалася з п'яти блоків подвійних згорткових шарів із кількістю фільтрів 16, 32, 64, 128 і 256 відповідно, ядрами 3×3 , функцією активації ReLU та нормалізацією пакетів. Після кожного з перших чотирьох блоків застосовувалися шари MaxPooling2D (2×2 або 3×3) і SpatialDropout2D із поступовим збільшенням коефіцієнта від 0.05 до 0.2. Після останнього згорткового шару використовувався GlobalAveragePooling2D. Класифікаційна частина включала Batch Normalization, шар Dropout (0.2), повнозв'язний шар Dense (2048 нейронів, ReLU, L2-регуляризація з параметром 0.0005), шар Dropout (0.5) та вихідний шар Dense на 88 класів із softmax. Навчання здійснювалося оптимізатором SGD із імпульсом 0.9 та регулюванням швидкості за схемою CosineDecay (початкова швидкість 0.01, мінімальна – 10^{-8}). Модель навчалася пакетами по 16 зображень протягом 50 епох на аугментованому наборі з 3000 зображень на клас.

Висновки. У роботі було досліджено практичні аспекти побудови та навчання згорткових нейронних мереж (CNN) для задачі багатокласової класифікації хвороб рослин за зображеннями, зібраними як у лабораторних, так і в польових умовах. Використано набір даних “Plant Disease Classification Merged Dataset”, до якого застосовано техніки аугментації для подолання дисбалансу класів та збільшення обсягу тренувального набору.

Проведено масштабну серію експериментів із різними конфігураціями архітектур CNN, гіперпараметрами та методами регуляризації, що дозволило виявити комбінації, які забезпечують найкращі результати. Загалом було навчено і протестовано понад 50 моделей; найкраща з них досягла точності близько 94.7% на тестовому наборі.

Отримані результати можуть бути використані як практичні рекомендації при розробці подібних моделей в аграрному секторі та інших галузях.

1. Rosebrock, A. (2017). *Deep learning for computer vision with python*. PyImageSearch.
2. Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
3. Too, E. C., Yujian, L., Njuki, S., & Yingchun, L. (2019). A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032>
4. Falaschetti, L., Manoni, L., Leo, D. D., Pau, D., Tomaselli, V., & Turchetti, C. (2022). A CNN-based image detector for plant leaf diseases classification. *HardwareX*, 12, e00363. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00363>
5. Dobrovsky, A. (2023). *Plant Disease Classification Merged Dataset* [Dataset]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/alinedobrovsky/plant-disease-classification-merged-dataset>

ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕЛЕГАЛЬНОГО СПАЛЕННЯ РОСЛИННОСТІ

Проблема незаконного спалення рослинності набуває дедалі більшої актуальності в умовах глобальної зміни клімату, деградації земель та зростання кількості природних пожеж. Незаконні підпали завдають серйозної шкоди екосистемам, погіршують якість повітря, знищують біорізноманіття та спричиняють значні економічні збитки як на локальному, так і на міжнародному рівнях.

Традиційні методи моніторингу підпалів, що базуються на наземних перевірках, є часто неефективними через обмеженість ресурсів, затримку в часі виявлення пожеж та труднощі в ідентифікації їх джерела. У зв'язку з цим постає нагальна потреба у впровадженні інноваційних технологічних рішень для своєчасного виявлення та фіксації фактів незаконного спалення рослинності.

Одним із найбільш перспективних напрямів у цій сфері є використання **супутникового моніторингу**. Завдяки сучасним системам дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є можливим оперативне виявлення термічних аномалій, картографування ділянок вигорілої рослинності, визначення площ пошкоджених територій та фіксація масштабів екологічних порушень.

У цьому дослідженні проаналізовано потенціал застосування супутникових технологій для виявлення незаконних підпалів, здійснено оцінювання переваги та обмеження різних методів супутникового моніторингу, а також розглянуто приклади успішного впровадження таких технологій у світі та в Україні.

Метою роботи є обґрунтування ефективності використання супутникових даних як інструменту для оперативного реагування на факти незаконного спалення рослинності та для підтримки правозастосовної діяльності у сфері охорони довкілля.

Пріоритетами супутникових технологій є:

- **Оперативність виявлення підпалів:** підвищення швидкості фіксації термічних аномалій за допомогою супутникових даних у режимі, наближеному до реального часу.
- **Точність і масштабність моніторингу:** забезпечення високої просторової та спектральної роздільної здатності для ідентифікації як великих, так і дрібних осередків пожеж.
- **Інтеграція супутникових даних у правозастосування:** використання результатів супутникового моніторингу як доказової бази у провадженнях про адміністративні правопорушення та кримінальні справи щодо незаконного спалення рослинності.
- **Підвищення доступності технологій:** створення умов для відкритого доступу до супутникових даних для органів влади, екологічних служб та громадськості.
- **Мінімізація екологічних та економічних збитків:** використання супутникового моніторингу для запобігання великим пожежам завдяки ранньому виявленню підпалів та своєчасного реагування.
- **Аналіз змін ландшафту після пожеж:** використання супутникових знімків для оцінювання шкоди довкіллю, розрахунку площ вигорілої території та прогнозування наслідків.
- **Міжнародна співпраця та обмін даними:** підключення до глобальних екологічних ініціатив і супутникових програм для моніторингу пожеж на транснаціональному рівні.

Супутникові технології є невід'ємною складовою сучасної системи екологічного моніторингу. Дистанційне зондування Землі забезпечує оперативне і масштабне виявлення термічних аномалій, що дозволяє виявляти факти незаконного спалення рослинності на великих площах.

Використання комбінації різних супутникових систем (MODIS, VIIRS, Sentinel-2) оптимізує якість моніторингу. Сполучення систем із різною роздільною здатністю дозволяє досягти балансу між швидкістю виявлення і точністю локалізації осередків пожеж.

Інтеграція супутникового моніторингу в національні екологічні політики є стратегічним пріоритетом. Для підвищення рівня протидії незаконному спаленню рослинності необхідне закріплення використання супутникових даних у нормативно-правових актах та програмах державного моніторингу.

Нелегальне спалення рослинності залишається глобальною проблемою, що потребує постійного вдосконалення технологій виявлення та моніторингу. Супутникові системи відіграють у цьому процесі ключову роль, сьогодні визначають нові **напрямки розвитку**, що дозволяють підвищити ефективність боротьби з підпалами.

1. Основні напрямки розвитку супутникових технологій для виявлення спалень

- **Підвищення просторової, спектральної й часової роздільної здатності**
- **Просторова:** Використання супутників із роздільною здатністю до 10–30 см для точного визначення дрібних осередків займання.
- **Спектральна:** Ширше застосування **гіперспектральних і теплових сенсорів** для раннього виявлення підпалів і розрізнення типів пожеж.
- **Часова:** Розгортання великих сузір'їв наносупутників для отримання знімків одного регіону кілька разів на день.

2. Інтеграція штучного інтелекту та автоматизація аналізу даних

- Розроблення **автоматичних систем виявлення пожеж** на базі штучного інтелекту, які самостійно ідентифікують термічні аномалії та повідомляють відповідні служби.
- Застосування **машинного навчання** для аналізу змін у рослинності до і після спалення.
- **Прогнозування ризиків** виникнення пожеж на основі метеорологічних даних і супутникових спостережень.

3. Розвиток національних і регіональних моніторингових платформ

- Створення локалізованих систем супутникового моніторингу для конкретних країн або регіонів.
- Інтеграція даних із міжнародних місій (Copernicus, Landsat, Suomi NPP) з місцевими спостереженнями.

Приклади:

- В Україні перспективним є розвиток власних супутникових місій, наприклад, супутника "Січ-2-30".

Майбутнє виявлення нелегального спалення рослинності нерозривно пов'язане з удосконаленням супутникових технологій. Інтеграція передових методів спостереження, штучного інтелекту та оперативного реагування дозволить не тільки ефективніше боротися зі спаленнями, а й мінімізувати їхню шкоду для екології та здоров'я населення.

1. Al-hasn, R., Almuhammad, R.: Burned area determination using Sentinel-2 satellite images and the impact of fire on the availability of soil nutrients in Syria. J. Forest Sci. 68, 96-106 (2022). <https://doi.org/10.17221/122/2021-JFS/>.
2. Dimitrios, G., Anastasios, A., Sotirios, K.: Land cover of Greece, 2010: a semi-automated classification using Random Forests. J. Maps 12, 1055–1062 (2016). <https://doi.org/10.1080/17445647.2015.1123656>.
3. Goswami, A., et al.: Change detection in remote sensing image data comparing algebraic and Machine Learning methods. Electronics 11(3), 431 (2022). <https://doi.org/10.3390/electronics11030431>.

СЕКЦІЯ 2

БЕЗПЕКА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ВІЙНИ: ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ

Баєва Каріна
КЗ “Харківський обласний Палац дитячої та юнацької творчості”

ЗМІНИ У СПРИЙНЯТТІ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Після лютого 2022 року й до сьогодні в Україні кожного дня відбуваються масові руйнування, загибель людей, переселення людей з місця проживання, руйнування екологічних систем та природних осередків. У зонах активних бойових дій збільшується забруднення повітря, земель та води, руйнування земель, природних ландшафтів. В наслідок обстрілів та пожеж через ці обстріли по всій країні гинуть тварини та / або повністю знищується їх середовище проживання.

У роботі А. Толстоухова та В. Лунова, наголошується, що війна привернула увагу людей до негайних локальних екологічних проблем. Люди стали занепокоєними станом повітря, ґрунтів та ін. на місцях масштабних пожеж в наслідок бойових дій. Дослідники пояснюють це тим, що люди в Україні орієнтовані на виживання, а турбота про середовище проживання дуже важливе у повсякденному житті (Tolstoukhov & Lunov). Таке пояснення має сенс, адже у дослідженні Н. Кармі та Є. Бартала, виявлено, що зовнішня загроза безпеці має головний пріоритет для людини (Carmi & Bartal). Небезпека мобілізує ресурси для виживання, тому в моменти загрози життю люди будуть більш уважні до безпеки безпосереднього середовища проживання.

На нашу думку, ріст екологічної занепокоєності у людей під час війни можна пояснити тим, що екологічні проблеми стали близькими до людей. Люди відчули вплив пожежі в наслідок обстрілу на якість повітря, землю та власне самопочуття. Вони стикнулися з екологічними наслідками, антропогенними діями людей на власному досвіді. Екологічні загрози для цих людей перестали бути абстрактною загрозою якості життя, а стали додатковим фактором небезпеки під час війни. За уявленнями Н. Кармі та Є. Бартала, екологічні загрози опинаються в низу списку пріоритетності загроз, бо вони більш віддалені в часі, ніж інші загрози (Carmi & Bartal). Таким чином, не дивно, що локальні загрози під час війни в українців стають пріоритетними. Ці локальні загрози вже не віддалені в часі, а реальні загрози виживанню у складний для життя час.

Також більша увага до локальних екологічних загроз може бути викликана думками про майбутнє, що викликані руйнацією. Після руйнування, люди можуть міркувати, як відновлювати те, що зруйновано. Емпірично доведено, що орієнтація на майбутнє як тенденція брати до уваги віддалені в часі наслідки дій позитивно впливає на занепокоєння щодо глобального потепління та погіршення навколишнього середовища (Carmi & Bartal).

Згідно з Толстоуховим та В. Луновим, травматичний досвід та стрес, пов'язані з війною разом з тривогою через зміни клімату призвели до унікальних проекологічних відповідей серед українців. Ці форми поведінки включають адаптацію, стійкість та суспільно значущі дії. У громадах для усунення екологічних наслідків війни проводять громадське садівництво, прибирання на місцях, здійснюють різні програми з перероблювання відходів. Під час війни такі ініціативи допомагають природному оточенню, а також повертають відчуття контролю, сприяють згуртованості, розвивають екологічну стійкість серед людей (Tolstoukhov & Lunov). При чому для А. Толстоухова та В. Лунова, «екологічна стійкість» – здатність адаптуватися та процвітати в обличчя екологічних стресорів і невизначеності» (Tolstoukhov & Lunov, с. 3).

На нашу думку, описані проекологічні вчинки українців відносно локальних екологічних проблем є наслідком прагнення зробити своє безпосереднє середовище проживання більш

безпечним, привабливим для життя, таким як воно було до руйнації, наскільки в цих діях проявляється екологічна турбота чи проєкологічна спрямованість особистості важко оцінити. Такі дії можуть й не сприяти екологічній стійкості, бо в нашому розумінні, екологічна стійкість це вміння в умовах загрози й невизначеності думати не тільки про себе й діяти задля благополуччя екологічної спільноти.

Описані А. Толстоуховим та В. Луновим, проєкологічні вчинки більше стосується відновлення та покращення місця проживання окремих людей, ніж є проявом думок про природу, а головне, благополуччя інших живих істот, окрім людей. Не дивлячись на це, такий досвід формує інші уявлення про екологічні загрози, які можуть вплинути на ставлення цих загроз, рішення та поведінку людей стосовно природи.

Висновки. Війна привернула увагу до локальних екологічних проблем. Українці на місцях проживання реалізують різні проєкологічні ініціативи. В нашому розумінні, така практика можуть не бути проявом проєкологічної спрямованості чи постійної екологічної стурбованості, але цей досвід може сприяти їх формуванню. Подібний досвід серед людей є шансом підвищення розуміння впливу людини й формування стійкої проєкологічної активності в майбутньому. Проєкологічна активність кожної людини є цеглиною у розв'язання екологічних проблем на глобальному рівні.

1. Tolstoukhov, A., & Lunov, V. (2023). Green Under Fire: Psychological Responses and Eco-Behavior in Ukraine Amidst Climate Threats and War. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4683722> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4683722>

2. Carmi, N., & Bartal, E. (2014). Perception of environmental threat in the shadow of war: The effect of future orientation. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(3). P.872-886.

3. Казначеев, М.В. (2023). Сприйняття екологічних і техногенних ризиків громадськістю в умовах війни. III Міжнародна наукова конференція «Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки». 20-21 квітня 2023 р. Криськов А.А., Габрусєва Н.В. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А. С.145-147.

Юрій Базарник, Галина Сомар
Український національний лісотехнічний університет

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІЙНИ НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Дослідження аналізує вплив російсько-української війни на якість повітря в Україні, надаючи комплексний аналіз змін рівнів забруднення повітря та факторів, що сприяють цим змінам. Використані технології дистанційного зондування для моніторингу рівнів діоксиду азоту (NO₂) та оксиду вуглецю (CO) до та під час війни для оцінки ширших екологічних наслідків воєнних дій.

Ключові слова. якість повітря, NO₂ (діоксид азоту), CO (оксид вуглецю), забруднення, дистанційне зондування.

Вступ

Повномасштабна війна, ініційована Російською Федерацією проти України у 2022 році, призвела до небачених пошкоджень довкілля. У дослідженні наголошується на історичному прецеденті війн, що погіршують екологічне знищення, з фокусом на забрудненні повітря. Технології дистанційного зондування, включаючи дані з супутника Sentinel-5P, можуть служити критичними інструментами для оцінки екологічного впливу воєнних дій. Метою дослідження є кількісне вимірювання змін рівнів NO₂ та CO в українських регіонах, що надає уявлення про ширші наслідки війни на якість повітря.

Якість повітря до початку війни в Україні

До початку війни якість повітря в Україні була залежна від різних факторів, таких як промисловість, транспорт, енергетика та інші джерела забруднення. За даними досліджень, рівні забруднення повітря в різних регіонах України можуть варіюватися. Наприклад, великі міські центри та промислові області, такі як Донецька та Луганська, можуть мати вищі рівні забруднення повітря через промисловість та великий обсяг транспорту. У місцевостях з невеликою промисловістю та меншим населенням рівні забруднення можуть бути нижчими. Однак, конкретні дані про якість повітря до початку війни можуть варіюватися залежно від регіону та періоду часу.

Зміни рівнів NO₂ та CO під час війни

Аналізуючи дані з лютого 2022 року по січень 2023 року, стаття виявляє значні регіональні та часові варіації рівнів забруднення повітря. Отримані результати наступні:

Зміни рівнів NO₂

Спостерігалися зниження рівнів NO₂ в міських центрах, таких як Київ, що пов'язуються зі зменшенням промислової активності та переміщенням населення. З іншого боку, були зафіксовані зростання рівнів NO₂ на сході та північно-східних регіонах в зоні активних бойових дій, ймовірно, через збільшення викидів від військової техніки та діяльності.

Зміни рівнів CO

Спостерігався загальний спад рівнів CO, що відповідає загальним тенденціям в Європі. Однак, були виявлені локальні екстремуми біля фронтових ліній, спричинені лісовими пожежами та руйнуванням інфраструктури. Ці аномалії підкреслюють подвійну природу впливу війни – локалізовані піки забруднення серед загального зниження через порушення промислової діяльності.

Метеорологічна змінність, включаючи зміни висоти пограничного шару та швидкості вітру, відіграла значну роль у формуванні спостережуваних забруднювальних патернів. У розділі наголошується на необхідності розрізнення воєнних викидів від природних та погодних змін для досягнення точних оцінок.

Конкретні етапи війни та вплив забруднення

Сформульовані фази російсько-української війни свідчать про епізодичний характер змін забруднення. Основні спостереження включають:

1. Період початкового вторгнення: Різке зниження рівнів NO₂ в Києві через евакуацію та зупинку промислової діяльності зі збільшенням NO₂ в регіонах інтенсивних воєнних операцій.
2. Весна та літо 2022 року: Поява локалізованих "гарячих точок" забруднення, спричинених ракетними ударами по промислових об'єктах та лісовими пожежами біля зон бойових дій. Ці події спричинили короткострокові піки забруднювачів повітря, таких як CO.
3. Атаки на енергетичний сектор: Спрямоване знищення енергетичної інфраструктури України у кінці 2022 року мало складні наслідки. Хоча викиди в енергетичному секторі зменшилися, широке використання дизельних генераторів під час відключень електроенергії потенційно збільшило локалізоване забруднення повітря.

Захоплення епізодичних змін, особливо в областях, недоступних для наземного моніторингу, стало можливим завдяки супутниковим даним.

Висновки

Російсько-українська війна справила багатогранний вплив на якість повітря в Україні. Хоча зменшення промислової активності та мобільності призвели до загального зниження рівнів NO₂ та CO, локалізовані піки забруднення виникали через воєнні дії, включаючи використання вибухівки, лісові пожежі та руйнування критичної інфраструктури. Результати демонструють важливу роль дистанційного зондування в оцінці якості повітря в зонах конфлікту та необхідність довготривалого збору даних для повного розуміння екологічних наслідків війни. Отримані висновки є цінними для екологічного управління, прийняття політичних рішень та отримання компенсацій за екологічні збитки, спричинені воєнними діями.

З іншого боку, існує потреба в більш деталізованих даних на рівні землі та вдосконаленому поєднанні метеорологічних факторів, що може заповнити прогалину в поточних знаннях. Це вимагає подальшого використання супутникових технологій та атмосферного моделювання для моніторингу та пом'якшення екологічних наслідків війни.

1. Шевчук, С. А., Вишневецький, В. І., & Білоус, О. П. (2022). Використання даних дистанційного зондування для дослідження екологічних наслідків російсько-української війни. Журнал Екологія ландшафту, 15(3), 36–53. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>
2. Гольдберг, Д. Л., Лу, Г., Ода, Т., Ламсаль, Л. К., Лю, Ф., Гріффін, Д., Маклінден, Ц. А., Кротков, Н. А., & Дункан, Б. Н. (2019). Використання супутника OMI NO₂ для оцінки викидів CO₂ з вичерпного палива від мегаполісів США. Наука про загальне середовище, 695, 133805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133805>
3. Залакевічюте, Р., Мея, Д., Альварес, Г., Бермео, Х., Бонілья-Бедоя, С., Рибарчик, Ю., & Лемб, В. (2022). Вплив війни на якість повітря в Україні. Сталий розвиток, 14, 13832. <https://doi.org/10.3390/su142113832>
4. Лоуренс, М., Стембергер, Г., Золдердо, А., Струтерс, Д., & Кук, С. (2015). Наслідки сучасної війни і воєнної діяльності для біорізноманіття та навколишнього середовища. Environmental Reviews, 23(4), 443–460. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>
5. Савенець, М., Дворецька, І., Надточій, Л., & Жемера, Н. (2022). Порівняння даних TROPOMI NO₂, CO, HCHO та SO₂ у безпосередній близькості від наземних вимірювань до великих антропогенних джерел викидів на прикладі України. Метеорологічні застосування, 29(6), e2108. <https://doi.org/10.1002/met.2108>
6. Садік, М., & Маккейн, К. (1993). Війна в Перській затоці: екологічна трагедія. Спрінгер. 299 с. ISBN 978-0-7923-2278-8.
7. Перейра, П., Башич, Ф., Богунович, І., & Барсело, Д. (2022). Російсько-українська війна впливає на навколишнє середовище. Наука про навколишнє середовище, 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>

Баран Мар'яна
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут просторового планування та перспективних технологій
Мокрицька Віра
Стрийський ліцей №6

БЕЗПЕКА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ: АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ СУЧАСНОСТІ

Війна – це завжди руйнування. Руйнування людських доль, інфраструктури, економіки. Але її нищівний вплив не обмежується лише цим. В умовах збройних конфліктів довкілля стає ще однією жертвою, а його безпека – надзвичайно гострою та складною проблемою. Війна оголює вразливість екосистем, створює нові загрози та ускладнює і без того непросте завдання забезпечення екологічної безпеки.

Сьогодні, коли Україна вже третій рік поспіль мужньо протистоїть російській агресії, питання безпеки довкілля набуває особливої актуальності. Наша земля потерпає від вибухів, пожеж, забруднення ґрунтів та вод, знищення лісів та біорізноманіття. Кожен постріл, кожен вибух – це не лише втрачені життя, а й завдана рана природі, наслідки якої можуть бути довготривалими та незворотними.

Збройні конфлікти є складним мультифакторним феноменом, який окрім соціально-економічних та гуманітарних наслідків, спричиняє значний деструктивний вплив на екосистеми та створює критичні проблеми у сфері екологічної безпеки. Дана проблематика набуває

особливої актуальності в контексті сучасних геополітичних реалій, що демонструють масштабність та довготривалість екологічних руйнувань.

Проблема забезпечення екологічної безпеки в умовах війни є багатогранною. По-перше, безпосередні бойові дії призводять до масштабного забруднення. Вибухи ракет та снарядів руйнують промислові об'єкти (включаючи хімічні підприємства, нафтопереробні заводи, агропромислові комплекси зі сховищами агрохімікатів), що призводить до емісії в атмосферу, гідросферу та літосферу широкого спектру токсичних речовин, включаючи важкі метали, оксиди азоту та сірки, леткі органічні сполуки, компоненти ракетного палива та вибухових речовин, що спричиняє викиди токсичних речовин у повітря, ґрунт та воду.

Забруднення територій фрагментами боєприпасів, військової техніки, будівельним сміттям, що змінює ландшафт, порушує ґрунтовий покрив та створює довготривалі ризики для біоти.

Деградація екосистем та втрата біорізноманіття спричинюється бойовими діями, будівництвом оборонних споруд, переміщенням військової техніки. Це призводить до фрагментації та знищення лісів, степів, водно-болотних угідь, що є критично важливими для збереження біорізноманіття.

Артилерійські обстріли та ракетні удари спричиняють лісові та степові пожежі, що призводять до загибелі флори та фауни, погіршення якості повітря та деградації ґрунтів.

Шум, вибухи, забруднення та руйнування природних середовищ негативно впливають на поведінку тварин, порушують їхні міграційні шляхи та репродуктивні цикли, що може призвести до скорочення популяцій та локальних вимирань.

Пошкодження ядерних об'єктів (АЕС, сховища радіоактивних відходів) або використання боєприпасів зі збідненим ураном створює загрозу радіонуклідного забруднення, що потребує комплексних заходів з дезактивації та моніторингу.

По-друге, руйнування інфраструктури несе значні екологічні ризики. Пошкодження очисних споруд, водогонів, каналізаційних систем призводить до потрапляння неочищених стоків у водойми, забруднюючи питну воду та завдаючи шкоди водним екосистемам. Знищення енергетичної інфраструктури може призвести до аварій на атомних електростанціях, як це сталося з Чорнобильською та Запорізькою АЕС, створюючи загрозу радіаційного забруднення не лише для України, а й для сусідніх країн.

По-третє, переміщення великої кількості людей та військової техніки також має негативний вплив на довкілля. Знищуються природні середовища, забруднюються ліси та поля, зростає навантаження на природні ресурси.

Існуючі обставини спричиняють ускладнення моніторингу та реагування на екологічні загрози.

Активні бойові дії та окупація територій ускладнюють доступ до територій. Це унеможливає проведення повноцінного моніторингу стану довкілля, комплексних екологічних досліджень, відбору проб та оцінки масштабів завданої шкоди, фіксацію злочинів проти природи та життя необхідних заходів для мінімізації негативних наслідків.

Робота в зонах бойових дій пов'язана з високим ризиком для життя та здоров'я екологів, що ускладнює оперативне реагування на екологічні інциденти.

Знищення або пошкодження стаціонарних та мобільних станцій моніторингу призводить до втрати даних про стан довкілля.

Сьогодення ставить перед нами надзвичайно складні виклики у сфері екологічної безпеки. Першочерговим завданням є фіксація та документування всіх екологічних злочинів, скоєних агресором. Це необхідно для подальшого притягнення винних до відповідальності та для оцінки завданої шкоди.

Другим важливим викликом є розробка та впровадження ефективних стратегій відновлення довкілля після закінчення війни [1, 2]. Це включає розмінування територій, очищення ґрунтів та вод від забруднення, відновлення лісів та біорізноманіття, модернізацію інфраструктури з урахуванням екологічних стандартів.

Розробка та впровадження методів дистанційного екологічного моніторингу: Застосування аерокосмічних знімків, безпілотних літальних апаратів, супутникових систем для оцінки забруднення, руйнувань екосистем та виявлення екологічних ризиків на недоступних територіях.

Створення експрес-методів діагностики забруднення довкілля: розробка портативних та високоефективних сенсорних систем для швидкого визначення концентрації забруднюючих речовин у різних компонентах довкілля.

Розробка та впровадження інноваційних технологій деконтамінації та ремедіації забруднених територій: застосування біоремедіації, фіторемедіації, хімічних та фізико-хімічних методів для очищення ґрунтів, вод та повітря від специфічних військових забруднювачів.

Моделювання та прогнозування довгострокових екологічних наслідків війни: використання математичних моделей та геоінформаційних систем для оцінки кумулятивного впливу бойових дій на екосистеми та розробки стратегій їх відновлення.

Розробка інформаційних систем для документування та аналізу екологічних злочинів: створення баз даних та геопросторових інформаційних систем для фіксації, верифікації та аналізу екологічних збитків, що є важливим для подальшого юридичного врегулювання та компенсацій.

Третім викликом є забезпечення екологічної свідомості та відповідальності як серед військових, так і серед цивільного населення. Важливо розуміти, що війна не повинна стати виправданням для безвідповідального ставлення до природи.

Вирішення проблем забезпечення екологічної безпеки в умовах збройного конфлікту вимагає комплексного міждисциплінарного підходу, інтеграції наукових досліджень, технологічних інновацій та міжнародної співпраці. Науково обґрунтовані стратегії моніторингу, оцінки та відновлення довкілля є критично важливими для мінімізації довгострокових негативних наслідків війни та забезпечення екологічно стійкого майбутнього.

Забезпечення екологічної безпеки в умовах війни – це надзвичайно складне, але вкрай важливе завдання. Від його успішного вирішення залежить не лише здоров'я нинішнього покоління українців, а й майбутнє нашої землі. Ми повинні вже зараз думати про відновлення довкілля після перемоги, закладаючи міцний фундамент для екологічно безпечного та сталого розвитку України. Війна мине, а наша природа залишиться – і ми несемо відповідальність за її збереження.

1. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Луганській області у 2021 році.* Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/40245.html> (дата звернення 12.04.2025).

2. *Національний план захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури: затв. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.09.2023 № 825-р.* Інтернет джерело. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2023-%D1%80#Text>.

ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

робота присвячена питанням впливу військових дій на екосистеми в Україні. Було наведено розрахунки щодо викидів забруднюючих хімічних речовин в атмосферне повітря, внаслідок пожежі на нафтобазі.

Ключові слова: екосистеми, забруднення атмосфери, токсичні речовини, вибухонебезпечні предмети, радіаційне забруднення.

Вступ

Із 2014 року, коли розпочався збройний конфлікт на території України, Європа зіткнулася з однією з наймасштабніших воєнних криз ХХІ століття. Водночас із гуманітарними втратами, війна завдає глибокої шкоди природним екосистемам. Ми спостерігаємо порушення природних зв'язків та довготривале забруднення довкілля.

Військові дії на території України привели до масштабного забруднення ґрунтів, погіршення якості повітря, водних ресурсів, знищення природно-заповідного фонду та інші. Внаслідок військових дій відбувається потрапляння токсичних речовин у довкілля, що спричиняє довгостроковий вплив на екосистему. Наслідки бойових дій будуть відчуватися десятиліттями, лише на розмінування українських територій знадобиться понад 10 років за даними УА Гуманітарне розмінування території [1].

Загалом за 3 роки великої війни (2022 – 2024) в Україні викиди парникових газів становили близько 230 млн тонн CO₂. Це понад 40 мільярдів євро збитків для екології України. Для оцінки цієї відповідальності використали так звану "соціальну вартість вуглецю", яка становить 185 доларів за тону CO₂ еквіваленту. Таким чином, застосовуючи цю формулу, загальна сума кліматичних збитків, яких завдала Росія протягом повномасштабного вторгнення, оцінюється в понад 42 млрд доларів.

Вплив на території та об'єкти природньо-заповідної зони України

Війна завдала значної шкоди природньо-заповідному фонду України. За підрахунками Української природоохоронної групи більше 44% площі установ природно-заповідного фонду ПЗФ (природні та біосферні заповідники, національні природні парки) перебувають в зоні бойових дій, або під тимчасовою окупацією російських військ.

Станом на 2025 рік, екологічні наслідки російської збройної агресії проти України залишаються катастрофічними. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, загальна сума збитків, завданих довкіллю, перевищує €72,9 мільярда.

- **Кількість зафіксованих екологічних злочинів:** понад 7 000 випадків з початку повномасштабного вторгнення.

- **Загальна сума екологічних збитків:** понад €72,9 мільярда.

- **Збитки, розраховані Держекоінспекцією:** ≈ 3,1 трлн грн станом на 31 грудня 2024 року.

- **Кількість випадків потенційної шкоди довкіллю у 2024 році:** 450 випадків, що майже у півтора раза менше, ніж у 2023 році (743 випадки).

- **Значні випадки шкоди довкіллю (третій ранг) у 2024 році:** 35 випадків, включаючи знищення понад 60 тисяч гектарів лісів на території «Северодонецького лісомисливського господарства».

- **Пошкодження енергетичних об'єктів:** у 2024 році зафіксовано 9 атак на великі об'єкти генерації електроенергії, що призвели до масштабних пожеж та забруднення навколишнього середовища.

- **Вплив на біорізноманіття:** 1300 із майже 72 тис. видів рослин і тварин в Україні перебувають у зоні ризику зникнення через бойові дії.

Ці дані свідчать про масштабну екологічну катастрофу, спричинену війною, яка матиме довгострокові наслідки для довкілля України та Європи.

Наслідки пожеж

З початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну сталося 23 000 пожеж, спричинених обстрілами, ракетними ударами, БПЛА та іншими факторами. Серед них згоріло 91 нафтове сховище, 200 промислових підприємств, об'єкти водопостачання, лісові масиви площею близько 10 мільйонів гектарів, зокрема Національний парк "Святі гори", що втратив 80% своїх 12 000 гектарів. Окупація радіаційно небезпечних об'єктів також призводила до розповсюдження радіоактивного пилу та забруднення .

Продукти горіння нафтопродуктів, зокрема чадний газ, оксиди сірки та азоту, можуть викликати подразнення слизових оболонок і утворювати шкідливі ароматичні сполуки та канцерогенні частки сажі, що є серйозною загрозою для здоров'я.

Потенційна загроза радіаційного зараження

Однією з серйозних проблем є потенційна небезпека радіаційного зараження, яке може виникнути через аварії на АЕС або застосування ядерної зброї, що призведе до викидів радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Протягом війни російські війська тимчасово контролювали Чорнобильську АЕС та наразі контролюють Запорізьку АЕС. Окупація цих об'єктів супроводжувалась агресивними діями, незважаючи на міжнародні домовленості щодо ядерного тероризму. Кожен день окупації збільшує ризик радіоактивної аварії, що підтверджується спробами провокацій з БПЛА. В разі аварії на ЗАЕС наслідки можуть бути у 6 разів гіршими, ніж після аварії на ЧАЕС.

Російський ядерний тероризм включає:

- вивезення обладнання з АЕС, що призводить до порушення функціонування;
- відключення ЧАЕС від енергопостачання, що може зруйнувати сховище ядерних відходів;
- утримання працівників АЕС у заручниках;
- переміщення 45 000 російських військових через зону відчуження ЧАЕС, що призвело до зараження техніки та зброї радіацією, яка поширилася за межі зони.

Вибухи ракет, авіабомб та артилерійських снарядів

Масоване застосування різних типів озброєння не лише призводить до великих жертв серед мирного населення, але й спричиняє викиди в атмосферу токсичних речовин під час вибухів боєприпасів та горіння ракетного пального.

Під час детонації боєприпасу виділяється значна кількість таких шкідливих для еко-системи речовин як свинець, кадмій, ртуть та інші важкі метали. Унаслідок вибухів у ґрунтових водах утворюється тривале забруднення важкими металами.

Застосування боєприпасів приводить до знищення рослинності, порушують ґрунтовий покрив та призводять до загибелі тварин. Це особливо помітно у зонах активних бойових дій.

Навіть, якщо боєприпаси не були здетоновані , вони також мають руйнівне значення для території. Таким чином, снаряди і міни, що не розірвалися, залишаються у ґрунтах на десятиліття є великою загрозою для людей, тварин і навколишнього середовища. Під впливом атмосферних опадів вони кородують і, як наслідок, виділяють токсичні речовини.

Практично шкоду, що була завдана забрудненням атмосферного повітря , можна визначити за допомогою розрахунків. Для розрахунку кількості шкоди, можна скористатись формулою 1 [4].

$$B = q_i \times M \quad (1)$$

B – загальна маса викиду забруднюючої речовини в атмосферу; q_i – викид забруднюючої речовини; M – маса або об'єм певного матеріалу, сировини, що згоріла .

Після ураження нафтобази ракетою, в атмосферне повітря виділяється велика кількість токсичних речовин, таких як чадний газ, сажа та диоксид карбону.



Рис. 1 . Супутниковий знімок, що ілюструє знищення ґрунтового покриву .

Для розрахунку кількості токсичних речовин потрібно знати масу та викид забруднюючої речовини, в даному випадку це діоксид карбону – 344.98 т/т, так як при згорянні 1т діоксиду карбону в атмосферне повітря викидається 3,4498 тонн частинок, сажі – 1 тонна = 0,0026 т/т, вуглецю діоксиду – 1 тонна = 0, 0063 т/т.

Розберемо на прикладі ситуацію пожежі на нафтопереробному заводі в наслідок влучання балістичної ракети , через що в атмосферне повітря потрапила 1 тонна діоксиду карбону, 3 тони сажі та 2 тони чадного газу. З цього можна зробити розрахунки.

Карбону діоксид :

Сажа:

Чадний газ:

Загальний розмір шкоди визначається шляхом складання всіх результатів , в даному випадку трьох. За результатами розрахунків, ми визначили, що 3,5404 тон різних шкідливих речовин (чадний газ, сажа, діоксид карбону), потрапили в атмосферне повітря внаслідок вибуху.

Масові захоронення та утилізація тіл загиблих шляхом спалення

Порушення росією санітарних заходів під час поводження з тілами загиблих під час війни, масові захоронення можуть забруднювати ґрунт та підземні води через розклад органічних речовин та можливе виділення токсинів. Спалення тіл, особливо якщо воно проводиться без належного обладнання, може призводити до викидів у атмосферу шкідливих речовин, таких як діоксини та фурані, що є небезпечними для здоров'я людей та навколишнього середовища.

Забруднення водних ресурсів в Україні

Війна в Україні серйозно впливає на водні ресурси країни, зокрема забруднення води, руйнування інфраструктури, знищення екосистем та загрозу питному водопостачанню мільйонів людей. Через вибухи, розливи нафтопродуктів та руйнування об'єктів забруднені річки, озера та підземні води.

Річка Дніпро: Після підриву Каховської ГЕС у червні 2023 року в річку потрапили нафтопродукти, хімікати та відходи, що викликало проблему нестачі води для мільйонів людей.

Річки на сході України: Сіверський Донець, забруднені через затоплення шахт та руйнування хімічних заводів.

Азовське море: бойові дії та забруднення промисловими об'єктами спричинили серйозні зміни в екосистемі моря.

Загибель риби: У водоймах, таких як Каховське водосховище, масово гине риба через зміни рівня води та забруднення. Результатом військових дій росіян у Чорному морі спостерігається масова загибель дельфінів.

Ці екологічні проблеми супроводжуються руйнуванням водної інфраструктури, що призвело до потреби у гуманітарній допомозі для понад 6 мільйонів українців у 2023 році. Це спричинило санітарні кризи.

Висновки

Війна росії проти України спричинила катастрофічні наслідки, завдавши значної шкоди природно-заповідному фонду. Згідно статистики, близько 44% природних територій, що охороняються опинилися в зоні бойових дій та окупації[5]. Масові пожежі, котрі спричинені обстрілами та вибухами ракет, знищили мільйони гектарів лісу, та спричинили викид великої кількості небезпечних хімічних речовин в атмосферу. Під час війни зросла і потенційна небезпека радіаційних викидів на Чорнобильській та Запорізькій АЕС через військові дії в регіонах.

Війна призвела до масштабних забруднень водних ресурсів, знищення водної інфраструктури та дефіциту питної води. Внаслідок війни на Україні в атмосферне повітря викидається велика кількість парникових газів.

Екологічна загроза має як миттєві, так і довготривалі наслідки для природи та здоров'я населення. Дуже багато часу знадобиться для відновлення порушених екосистем в Україні. Деякі екосистеми в Україні змінені назавжди та вже ніколи не повернуться до первісного стану.

1. Укрінформ. (2024). Гуманітарне розмінування – 2025: завдання та пріоритети. Отримано з <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3977237-gumanitarne-rozminuvanna-2025-zavdanna-ta-prioriteti.html> (дата звернення 8.04.2025).

2. Wikipedia. (2024). Екологічні наслідки російського вторгнення в Україну (з 2022). Отримано з [https://uk.wikipedia.org/wiki/Екологічні_наслідки_російського_вторгнення_в_Україну_\(з_2022\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Екологічні_наслідки_російського_вторгнення_в_Україну_(з_2022)) (дата звернення 8.04.2025).

3. Netherlands Enterprise Agency. (2024). Investing and doing business in Ukraine 2024. Отримано з https://www.agroberichtenbuitenland.nl/binaries/agroberichtenbuitenland/documenten/publicaties/2024/09/01/invest-and-doing-business-in-ukraine-2024/CMS_Investing_and_doing_business_in_Ukraine_2024_agro.pdf (дата звернення 8.04.2025).

4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2022). Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text> (дата звернення 8.04.2025).

5. Українська природоохоронна група. (2023). 44% найцінніших природних територій України охоплені війною. Отримано з <https://uncg.org.ua/44-pzf/> (дата звернення 8.04.2025).

6. Вісник Криворізького національного університету. (2022). Вплив воєнних дій на довкілля України. Отримано з https://visnikkrmu.kdu.edu.ua/statti/2022_4_1.pdf (дата звернення 8.04.2025).

7. WFT. (2025). Вплив війни на природоохоронні території України. Отримано з <https://wwf.ua/?12163316/The-impact-of-war-on-protected-areas-in-Ukraine> (дата звернення 8.04.2025).

8. Екополитика.ua. (2025). Выжженная земля: как захватническая война России убивает украинские почвы. Отримано з <https://www.ekopolitika.info/> (дата звернення 8.04.2025).

9. ООН. (2025). Гуманітарна ситуація в Україні. Отримано з <https://data.unhcr.org/es/documents/download/113904> (дата звернення 8.04.2025).

10. ООН. (2025). Наслідки підриву Каховської ГЕС. Отримано з <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3775119-pidriv-kahovskoi-ges-zavdav-ukraini-zbitkiv-na-ponad-11-milardiv.html> (дата звернення 8.04.2025).

11. WHO. (2022). Екологічні наслідки спалення тіл. Отримано з <https://life.pravda.com.ua/columns/2022/06/22/249216/> (дата звернення 8.04.2025).

12. Uwecworkgroup. (2025). Екологічні наслідки для України. Отримано з <https://uwecworkgroup.info/uk/environmental-consequences-of-the-war-in-ukraine-february-march-2025-review/> (дата звернення 8.04.2025).

Белянська Олександра
Кам'янське вище професійне училище
Маковецький Дмитро, Красніков Кирило
Дніпровський державний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА СУЛЬФАТУ АМОНІЮ

Європейський Союз опублікував різні документи щодо норм і найкращих доступних технологій [1-3]. Ці документи є прикладом для багатьох інших країн по всьому світу. Якщо діючі підприємства не в змозі відповідати новим екологічним стандартам або продуктивність їх знижується, то підготовка дослідження для вирішення цих проблем завжди має бути першим кроком до вирішення цього питання.

Метою нашої роботи є дослідження оптимізації роботи установки отримання сульфату амонію цеху уловлення побічних продуктів коксування у ПРАТ «ЮЖКОКС» м. Кам'янське в Україні із використанням інформаційних технологій. На підприємстві в умовах війни виникають час від часу проблеми із забезпеченням вихідною сировиною (кам'яного вугілля) установки і відповідно це впливає на сам процес отримання сульфату амонію. Тому, метою роботи було саме дослідження щодо оптимізації роботи відділення уловлення аміаку установки сульфату амонію з метою підвищення якості екологічного очищення коксового газу до необхідного рівня. Актуальним є створення математичної багатофакторної моделі, яка була б виконана на основі промислових реальних даних роботи установки сульфату амонію і допомогла б спрогнозувати залежність вихідних технологічних параметрів на якість і кількість отриманого добрива.

Використовуючи віртуальну онлайн лабораторію (<https://academlab.web.app/>) оброблено отримані реальні промислові параметри роботи установки сульфату амонію. Головний вид сторінки віртуальної лабораторії Academic Laboratory наведено на рисунку 1.

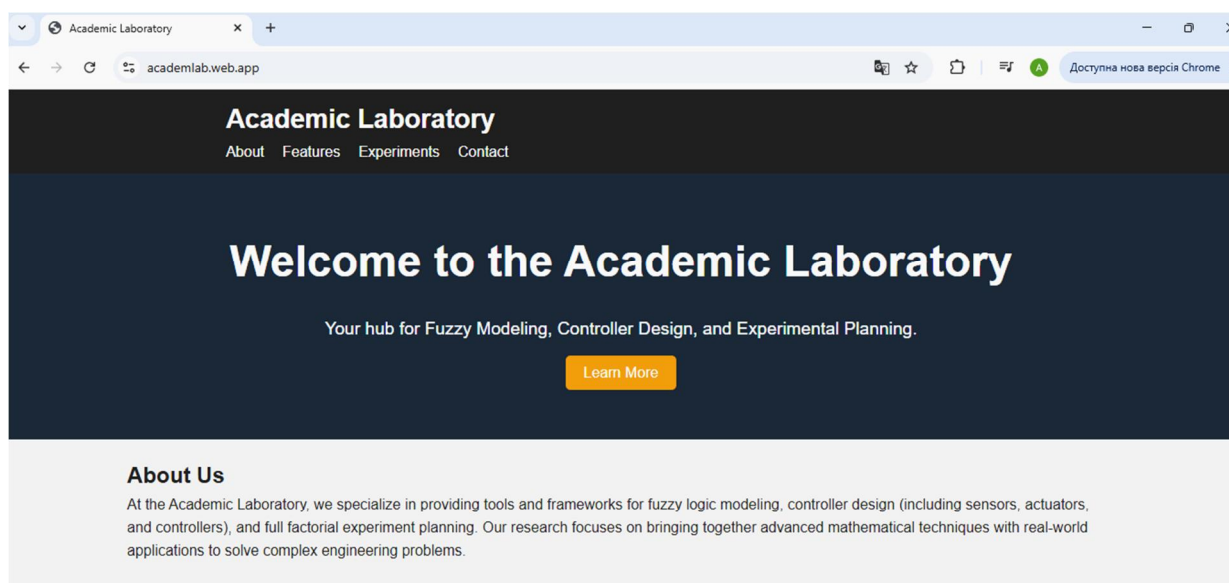


Рис. 1. Головна сторінка віртуальної лабораторії Academic Laboratory

Безкоштовна віртуальна лабораторія Academic Laboratory є унікальною платформою, призначеною для моделювання об'єктів дослідження дослідниками, студентами та професійними

фахівцями. Програмне забезпечення характеризується інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом і розширеним функціоналом для моделювання та аналізу, що забезпечує його застосовність як в академічному, так і в практичному контексті різних галузей.

Особливістю даної лабораторії є можливість не лише створення тривимірних візуалізацій досліджуваних об'єктів, але й моделювання їхньої поведінки на основі визначених користувачем правил, вхідних і вихідних параметрів, що адаптуються до специфічних вимог дослідження. Платформа дозволяє здійснювати перевірку гіпотез без необхідності фізичного прототипування, що суттєво знижує фінансові та матеріальні витрати, а тривимірні моделі сприяють скороченню часу, необхідного для підготовки та проведення віртуальних експериментів.

На основі отриманих практичних даних роботи установки отримання сульфату амонію з коксового газу побудували багатофакторну математичну модель при використанні функціоналу Academic Laboratory, яка має вид:

$$m=0.000171+(3\cdot 10^{-5})\cdot a+0.003856\cdot b+0.015268\cdot c-0.009228\cdot d+0.00169\cdot e-0.000485\cdot f+0.014108\cdot g+(2,3\cdot 10^{-5})\cdot h+0,001078\cdot i$$

де a – кількість коксового газу, м³/год; b – тиск газу, мм вод. ст.; c – опір сатуратора, мм вод. ст.; d – температура розчину, °C; e – температура газу, °C; f – кислотність маточного розчину, pH; g – насиченість маточного розчину, %; h – сульфатна кислота у сульфаті амонію в штабелі, %; i – вода у сульфаті амонію в штабелі, %.

На рисунку 2 показано загальний вид вікна введення та обробки даних в Academic Laboratory.

Рис. 2. Загальний вид для введення і обробки даних в лабораторії Academic Laboratory

Коефіцієнт детермінації отриманої математичної моделі R^2 становить 0,92. Це означає, що 92 % варіації виходу сульфату амонію пояснюється математичною моделлю. Це дуже високий показник, що свідчить про хорошу відповідність моделі даним.

Згідно розрахунків, найбільший вплив на вихід сульфату амонію мають: концентрація сульфатної кислоти; кислотність маточного розчину; тиск газу; температура розчину. Опір сатуратора та насиченість маточного розчину мають незначний, але прямий вплив.

Проведене порівняння теоретично розрахованого стехіометричного виходу сульфату амонію з практичним виходом, змодельованим у віртуальній лабораторії, демонструє принципові відмінності в підходах. Теоретичний вихід визначається виключно на основі

стехіометрії реакції, виходячи з кількості реагентів, що вступили у взаємодію, та їхніх молярних мас, і являє собою максимально можливий результат за відсутності будь-яких втрат.

Натомість, розроблена математична модель є емпіричною, тобто її побудова здійснена на основі статистичного аналізу експериментальних даних, що відображають вплив комплексу технологічних параметрів на вихід цільового продукту.

Ключові відмінності полягають у тому, що теоретичний розрахунок, оцінюючи граничний вихід, ігнорує неминучі технологічні втрати та побічні реакції, тоді як емпірична багатофакторна модель, враховуючи реальні умови протікання процесу, включаючи згадані втрати та вплив операційних параметрів, забезпечує більш надійний прогноз, точність якого безпосередньо залежить від якості та обсягу використаних експериментальних даних.

Зважаючи на це, для забезпечення точного прогнозу виходу сульфату амонію в умовах реального виробництва рекомендується використання емпіричної моделі, розробленої в лабораторії Academic Laboratory на основі верифікованих експериментальних даних, оскільки вона інтегрує вплив усіх значущих технологічних факторів. Аналіз результатів свідчить про те, що практично визначений вихід продукту є вищим за теоретичний орієнтовно на 15 %. Рекомендовано застосовувати емпіричну модель Academic Laboratory для точнішого прогнозування виходу в реальних умовах, з урахуванням технологічних змін та можливих втрат.

1. Ju, J., Feng, Y., Li, H., Xu, C., Xue, Z., & Wang, B. (2023). Extraction of valuable metals from minerals and industrial solid wastes via the ammonium sulfate roasting process: A systematic review. *Chemical Engineering Journal*, 457, 141197. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.141197>

2. Zhang, S., Li, C., & Xu, K. (2023). Coke oven gas purification. *Living Reference Work Entry*, 1–4. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-981-19-0740-1_1010-1

3. Kern, W., Bohmfalk, H. J., Dreis, P., Resende, H., & Júnior, S. (n.d.). Modernization of existing coke oven gas treatment plants to improve plant performance and meeting environmental requirements. *ORCA – Online Research @ Cardiff*. https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/128477/1/Agustin_Valera_Medina_Manuscript_draft2_final.docx.doc.pdf

Гембарська Наталія
Національний університет «Львівська політехніка»

ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ВИТРАТ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Поняття екологічної безпеки охоплює різні аспекти життєдіяльності людини, які особливо гостро постають в умовах війни через руйнування інфраструктури, різного роду забруднення довкілля, руйнування екосистем. Захист довкілля є запорукою сталого розвитку людства та його життєдіяльності. Завданням підприємств у цьому контексті є:

- мінімізація забруднення;
- раціоналізація використання ресурсів;
- впровадження екологічних програм;
- організація систем утилізації та переробки відходів;
- використання інноваційних та новітніх екологічних технологій;
- підвищення екологічної свідомості та ініціативи працівників;
- виконання вимог екологічного законодавства та співпраця з державою і громадськими організаціями.

Моніторинг дотримання підприємством параметрів екологічної безпеки включає:

- регулярне оцінювання стану довкілля та відповідності діяльності підприємства екологічним стандартам;

- оцінювання впливу на довкілля, виявлення і прогнозування потенційних ризиків;
- перевірка відповідності діяльності підприємства вимогам стандартів;
- відкритість екологічної інформації для органів влади, місцевого самоврядування та громадськості;
- активне та своєчасне реагування на проблемні зони (розробка рекомендацій щодо покращення екологічної безпеки і їх впровадження);
- регулярна звітність про стан довкілля та результати моніторингу.

Дотримання цих параметрів на сьогоднішній день у нашій країні ускладнюється:

- військовими діями;
- недостатністю фінансування;
- низьким рівнем екологічної свідомості;
- недосконалістю законодавства;
- кліматичними змінами тощо.

Ключову роль у процесі управління екологічною безпекою підприємства відіграє його інформаційне забезпечення, яке охоплює збір, аналіз, зберігання та передачу даних. В основному, така інформація формується в процесі обліково-аналітичної обробки даних про витрати на екологічну безпеку підприємства.

Питання обліку витрат, пов'язаних з екологічною безпекою підприємств, розглядаються у працях багатьох вчених економістів, зокрема, Давидюк Т. [1], Замули І. [2], Колісник О., Гордієнко Т. [3], Кондратюк О. [4], Очеретько М., Другакової А. [5], Пелиньо Л. [6], Совик М. [7] та інших.

В умовах воєнного стану та швидких змін в науково-технологічній сфері актуалізуються нові запити, пов'язані з обліково-аналітичним забезпеченням управління екологічною безпекою, які потребують наукового обґрунтування та удосконалення деяких аспектів облікової методології.

Основним завданням обліку витрат на екологічну безпеку підприємства є забезпечення користувачів якісною числовою інформацією про витрачені ресурси на забезпечення екологічної безпеки та їх результативність, що дасть змогу прийняти адекватні рішення й окреслити стратегічні цілі у даній сфері.

Бухгалтерський облік екологічної діяльності є не лише підсистемою бухгалтерського обліку, а й частиною системи екологічного менеджменту, інформаційною основою для проведення екологічного аудиту, страхування й оцінювання інвестиційних проектів [4, с. 23].

В науково-практичній літературі зустрічаються поняття «екологічні витрати» та «витрати на екологічну безпеку» – вони відрізняються своїм змістом та спрямованістю. Екологічні витрати – поняття ширше, охоплює всі витрати, пов'язані з впливом господарської діяльності підприємства на довкілля. Витрати на екологічну безпеку – це витрати, спрямовані на забезпечення безпеки довкілля від потенційних загроз, вони мають на меті захист здоров'я людей, природних ресурсів та екосистем і зосереджені на заходах, які мінімізують ризики екологічних катастроф, таких як аварії на хімічних підприємствах, витоки небезпечних речовин тощо.

На законодавчому рівні нормативними документами з обліку витрат є:

- Закон України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні»;
- Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати»;
- Податковий кодекс України;
- НП(С)БО 1 «Загальні вимоги до фінансової звітності».

До компетенцій сфери організації обліку відносять:

1) забезпечення внутрішньої впорядкованості та взаємоузгодженості об'єктів обліку (статичні характеристики облікового процесу);

2) налагодження процедур формування інформаційних ресурсів для задоволення потреб користувачів (динамічні характеристики облікового процесу).

Тобто, облік витрат на екологічну безпеку підприємства має бути організований таким чином, щоб найбільш якісно забезпечити інформацією осіб, які приймають рішення стосовно управління даними об'єктами облікового процесу і підприємства загалом. Зазначимо, що

питання екологічної безпеки формують не лише оперативні й тактичні цілі господарювання, а й займають ключові позиції у стратегічному плануванні.

До витрат на забезпечення екологічної безпеки підприємства відносять:

- витрати на очищення й утилізацію відходів;
- інвестиції в екологічні технології;
- витрати на навчання персоналу та підвищення екологічної свідомості працівників;
- витрати на відновлення довкілля;
- затрати, пов'язані з регуляторними вимогами щодо екологічних питань (екологічне регулювання);
- витрати на моніторинг та екологічний аудит.

Кожне підприємство має свій характерний для нього склад витрат на забезпечення екологічної безпеки, що залежить від господарської діяльності, якою займається суб'єкт господарювання. У рамках методів обліку витрат важливою є їх чітка класифікація, яка має бути затверджена наказом про облікову політику. Як і інші витрати, витрати на забезпечення екологічної безпеки класифікуються:

- за економічними елементами;
- за статтями калькуляції;
- за способом включення у собівартість;
- за функціональною роллю;
- за періодичністю виникнення;
- за центрами відповідальності.

Не менш важливим питанням обліку витрат на екологічну безпеку підприємства є організація їх документування та документообігу. Дані документи, як і будь які інші, повинні бути чітко структуровані, відповідати законодавству, забезпечувати прозорість для всіх зацікавлених сторін. Графік документообігу повинен містити терміни складання та обробки документів, перелік осіб, відповідальних за складання і подання документів. Для ефективного документообігу бажаною є цифровізація документів.

З метою забезпечення ефективності технології ведення обліку витрат на екологічну безпеку необхідно виділити в наказі про облікову політику наступні складові:

- рахунки (синтетичні, аналітичні), що будуть використовуватися для обліку витрат на екологічну безпеку;
- послідовність проходження документів щодо обліку витрат на екологічну безпеку та їх обробки;
- облікові реєстри та форми звітності щодо витрат на екологічну безпеку;
- особливості організації управлінського обліку витрат на екологічну безпеку;
- особливості організації внутрішнього контролю витрат на екологічну безпеку.

Для досягнення найбільшої якості інформативності обліку витрат на екологічну безпеку доцільно розробити і впровадити внутрішні стандарти їх управлінського обліку, які врахують усі інформаційні потреби менеджерів різних рівнів та забезпечать удосконалення процесу управління екологічною безпекою підприємства.

Підприємствам, які займаються неекологічними видами діяльності, важливо серед ключових показників ефективності господарювання виокремити ключові показники екологічного значення, які формуватимуть розуміння про ефективність інвестицій чи економічного використання ресурсів [8].

Належним чином організований облік витрат на екологічну безпеку дозволяє підприємству ефективно управляти здійснюваними екологічними заходами та впровадженнями, максимально адаптувавши їх до потреб зовнішнього і внутрішнього середовища. В умовах військової агресії особливо актуальною є здатність швидкої адаптації бізнес-процесів до зміни обставин господарювання. Цьому сприяє діджиталізація обліку – перехід до цифрових технологій для управління, що дозволяє автоматизувати процеси, пришвидшити аналіз даних, одержувати інформацію в режимі реального часу, покращити контроль над витратами, зменшити ймовірність помилок, підвищити безпеку фінансових записів.

Як бачимо, облік відіграє важливу роль у відновленні довкілля та формуванні екологічної безпеки підприємства. Перспективними у цьому напрямку є:

- інноваційні впровадження;
- обмін досвідом у рамках міжнародної співпраці;
- впровадження системи екологічного менеджменту;
- підвищення екологічної свідомості;
- розробка програм післявоєнного відновлення інфраструктури та очищення територій.

1. Давидюк, Т. (2009). *Екологічний, інтелектуальний та людський капітал в теорії бухгалтерського обліку: Монографія*. Житомир: ЖДТУ.

2. Замула, І. (2010). *Бухгалтерський облік екологічної діяльності у забезпеченні стійкого розвитку економіки: Монографія*. Житомир: ЖДТУ.

3. Колісник, О. П., & Гордієнко, Т. В. (2020). Облік екологічних витрат у системі управління підприємством в умовах сталого розвитку. *Modern Economics*, 19(2020), 69–75. DOI: [10.31521/modecon.V19\(2020\)-12](https://doi.org/10.31521/modecon.V19(2020)-12)

4. Кондратюк, О. (2008). *Облік і аналіз екологічних витрат промислових підприємств* (Автореф. дис. ... канд. екон. наук, Київ).

5. Очеретько, М. Л., & Другакова, А. С. (2018). Удосконалення обліку витрат екологічної діяльності. *Економічна наука. Економіка та держава*, 1(2018), 50–54.

6. Пелиньо, Л. (2008). Місце екологічного обліку в сучасній системі бухгалтерського обліку та його важливе значення в сфері охорони довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18.2, 70–75.

7. Совик, М. І. (2019). *Облік і контроль екологічних витрат* (Автореф. дис. ... канд. екон. наук, Київ).

8. Маліков, В. В., Плекан, М. В., & Кудлаєва, Н. В. Екологічні аспекти бухобліку в управлінні підприємством. *Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*. Отримано з файлу. DOI: [10.26642/pbo-2018-1\(39\)-94-99](https://doi.org/10.26642/pbo-2018-1(39)-94-99)

Даценко Людмила, Тітова Світлана, Дубницька Маргарита
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ: КРАЩІ ПРАКТИКИ ТА ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ

Повномасштабне вторгнення з 24 лютого 2022 року ще більше загостило проблему деградації ґрунтів, а висока інтенсивність бойових дій на окремих ділянках поставила під сумнів безпечність використання земель, що безпосередньо постраждали від військового впливу [1]. Саме війна завдала шаленої шкоди нашим людям, нашій економіці і нашому довкіллю. І попереду нас чекає не менш складний шлях відновлення від завданих збитків. Та чи можливо, аби цей процес не просто повернув нас у довоєнний стан, а допоміг збудувати кращу країну, більш дружню для її людей та довкілля? Для того, щоб виграти боротьбу за післявоєнну реконструкцію та модернізацію країни доцільним є вивчення уроків минулих трагедій – війн та природних катаклізмів. На нашу думку, щоб якісно відбудувати Україну, потрібно буде врахувати наступні складові: безпека, фінансування, екологічність, інноваційність та енергоефективність споруд. Однак ми не перші, хто має пройти цей шлях – світ відбудовувався після Другої Світової та інших воєн. І з цього досвіду ми можемо винести для себе уроки, аби не повторити помилки інших країн.

Процес відновлення в нашій країні є сферою, яка потребує виваженої державної політики та використання дієвих форм і механізмів державного регулювання. Досліджуючи правовий механізм державного регулювання, зауважимо, що суб'єктом в ньому виступає законодавчий

орган державної влади. Зміст правового методу регулювання полягає в розробленні нормативних правових актів, до яких належать закони, постанови, укази, інструкції, норми. Дотримання прийнятих законодавчих актів та відповідних до них нормативно-правових документів забезпечується загальними правовими нормами регулювання та встановленими юридичними критеріями відповідальності суб'єктів господарювання щодо за їх порушення.

Так, розглядаючи практику США, можна відмітити, що забруднені речовинами воєнно-техногенного походження землі знаходилися в підпорядкуванні Міністерства оборони, саме воно несло відповідальність за дії з їхнього відновлення, а також накладало обмеження на ці території щодо надання їх в оренду, поки дослідження не підтвердять можливість їх використання за призначенням. Вод ночас території колишнього воєнно-техногенного впливу, відповідність за використання яких несуть місцеві органи влади, могли самостійно ініціювати питання щодо їх відновлення. [2].

Забруднення речовинами воєнно-техногенного походження у Великій Британії є наслідком численних авіаційних ударів та використання різ них систем озброєння з часів Другої світової війни. Це сприяло розробці політики, згідно з якою саме власники земель, а не військові займалися та відповідали за подолання наслідків забруднення. До того ж, місцеві органи влади часто працювали разом зі землевласниками та розділяли відповідальність за відновлення цих земель. Міністерство оборони використовувало оцінку якості землі, яка містить: дослідження ділянки на основі попередньої стратегічної оцінки та встановлення пріоритетів; польові та камеральні дослідження; детальні дослідження ділянок; оцінку варіантів та реакція місцевої влади. Попри розділену відповідальність за відновлення повоєнних територій між землевласниками та Міністерством оборони, не було розроблено методики, яка ефективно визначала б заходи з відновлення [3].

Більшість речовин воєнно-техногенного походження зосереджено на багатьох територіях Німеччини. Політика уряду щодо цих земель передбачала, що всі колишні військові полігони мають бути досліджені та потенційно відновлені, перш ніж їх можна буде використовувати в цивільних цілях. Покинуті військові об'єкти з 1991 року передали до власності уряду Німеччини, який відповідає за більшу частину забруднених земель. Якщо уряд Німеччини продає землю для відновлення власникам, то саме вони стають відповідальними за відновлювані заходи. Наявні закони на національному рівні регулюють етапи відновлення забрудненої ділянки [4].

Перша світова війна суттєво змінила ґрунтово-рослинний покрив у Франції, де відбувалася основна частина бойових дій на західному фронті. Служба з відновлення Західної Фландрії є однією з перших організацій, що займалася питанням відновлення сільськогосподарських земель на пошкоджених територіях. Ця організація консультувала місцевих фермерів та допомагала відновлювати орні землі. Відновленням повоєнних територій частково займалися вітчизняні та іноземні некомерційні організації. Найвідомішим прикладом може служити Комітет зруйнованої Франції (*Comite Americain pour les Regions Devastees*), який сприяв не лише соціальній реконструкції села в Єні, а й роздавав посівне насіння та худобу. До 1919 р. Міністерство звільнених територій Франції розділило постраждалі території на три зони залежно від ступеня руйнування: «зелені зони», що мають мінімальні пошкодження; «жовті зони», що мають важкі, але обмежені пошкодження; «червоні зони», які зазвичай найближчі до колишніх ліній фронту та повністю знищені. «Зелена» та «жовта» зони порівняно рано були повернуті до цивільного користування. «Червоні» зони переважно мали високий відсоток порушень ландшафту. Ці зони очищувалися лише поверхнево, здебільшого їх просто консервували. Французька служба *Securite Civile*, яка відповідає за відновлення земель, вважає, що за нинішніми темпами може знадобитися до 700 років, аби повністю очистити всі залишки снарядів і гранат Першої світової війни із земель Франції [5].

На території колишньої республіки Югославії (Південно-Східна Європа) у період між 1991 та 2001 рр. відбувалася низка збройних конфліктів, що завдали значної шкоди навколишньому середовищу та призвели до забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунту та повітря на Балканах понад 100 токсичними речовинами [5]. Одна зі значущих проблем

післявоєнного відновлення охоплених війною країн полягала в інституційній неспроможності, зокрема щодо вирішення екологічних проблем. Головна загроза полягала в тому, що системи управління навколишнім середовищем були настільки порушені, що це унеможливлювало належне подолання повоєнних екологічних проблем. На міжнародному рівні управління основними програмами допомоги Європейського Союзу в Республіці Сербія (включно з Косово), Республіці Чорногорія та Північній Македонії займалося Європейське агентство з реконструкції як основний орган ЄС з відновлення зруйнованого війною в зазначених країнах.

Як показує проведений аналіз досвіду національної політики відновлення територій країнами світу, які постраждали від військових дій, відбудова повоєнних територій була пріоритетною складовою для їхнього безпечного розвитку. Однак існують наявні прогалини щодо нормативно встановлених вимог про відновлення земель, немає чіткого правового зобов'язання щодо ліквідації забруднення навколишнього середовища через бойові дії. Зусилля залишаються несистематичними та здійснюються окремо в кожному випадку. Безумовно, єдиного алгоритму відбудови не існує – кожна досліджена країна застосовувала власні стратегії. Звісно, не всі вони були успішними, проте певні рішення можуть стати підґрунтям для формування ефективного плану відновлення України.

Сьогодні, органи місцевого самоврядування в Україні мають достатньо повноважень для того, щоб самостійно розробляти та впроваджувати програми відновлення та розвитку своїх громад. У той же час, цілий ряд питань, які способи імплементації таких програм, залежать від існуючого правового регулювання та управлінських рішень, що схвалюються на загальнодержавному рівні, соціально-економічної ситуації в країні, рівня децентралізації влади тощо. Важливим інструментом державного регулювання землекористування є зонування земель. Зонування земель за типами землекористування і категоріями визначає варіанти їх дозволеного використання. Зонування сільських територій має на меті захист земель від міської експансії, а також охорону довкілля [6].

З метою підвищення ефективності регулювання процесів землекористування значна частина країн Європейського Союзу вже здійснила автоматизацію своїх офіційних земельних інформаційних систем. Наслідком такої автоматизації стало те, що почав оброблятися і пересилатися в сферу електронної комерції розширена документація різного роду даних, що стосуються земель сільськогосподарського призначення. Постало питання вибору варіанту найкращого ведення форм облікових записів про землекористування, з використанням наявних інформаційних систем та технологій, що вимагає прийняття певних технічних та економічних рішень [7]. В Україні головним розпорядником великого обсягу інформації у сфері землекористування є Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру.

Пошук компромісів: Чи може Україна поєднати економічні, соціальні та екологічні потреби? Хоча земельна реформа, яка триває в Україні, демонструє певний прогрес, зокрема, з точки зору сприяння економічному зростанню та збільшенню сільськогосподарського виробництва, стає все більш очевидним, що екологічні й соціальні аспекти відходять на другий план. Наприклад, з початком другого етапу відкриття ринку землі у 2024 році почав зростати попит на відносно безпечні території на заході України, де багато екологічно цінних територій, що орендуються великими компаніями, перетворюються на сільськогосподарські угіддя, що порушує природоохоронне законодавство.

Таким чином, удосконалення моніторингу дотримання екологічного законодавства України – критичне питання. Важливо, що цей контроль має бути ефективно організований як на рівні держави, так і на рівні громади. Крім того, щоб краще збалансувати екологічні та сільськогосподарські питання, необхідно створити високоякісні дорадчі служби для громад, землевласників та орендарів. Однак просування реформ буде складним завданням через впливове аграрне лобі в Україні, яке має значну владу як на місцевому, так і на державному рівнях і ставить на перше місце економічну вигоду. Активні бойові дії та складний економічний стан ще більше посилює такі позиції. Цей вплив викликає занепокоєння, особливо враховуючи посилений контроль, який тепер мають великі підприємства, оскільки вони можуть не просто орендувати землю, а купувати її.

Загалом, хоча необхідність зміцнення економіки в умовах повномасштабного вторгнення не викликає сумнівів, державі важливо визнати виклики, пов'язані з неналежним дотриманням екологічних норм сільськогосподарськими підприємствами, а також наслідки концентрації земель як для довкілля, так і для громад. Для сталого відновлення України держава повинна балансувати між нагальною потребою підтримувати економічну діяльність і довгостроковими цілями збереження здорових екосистем і забезпечення справедливого розподілу землі.

На нашу думку [8, 9, 10], протидія викликам сталого та раціонального землекористування в Україні вимагає комплексного підходу, який включає наступні кроки:

1. *Розмінування та очищення земель*: організація системного розмінування сільськогосподарських земель, особливо в зонах активних бойових дій; використання сучасних технологій для виявлення та знешкодження мін і вибухових предметів; залучення міжнародної допомоги та експертів для прискорення процесу очищення території;

2. *Відновлення інфраструктури*: ремонт і реконструкція зруйнованої сільськогосподарської інфраструктури, включаючи іригаційні системи, склади та дороги; запровадження програм для підтримки фермерів у відновленні їхніх господарств, включаючи фінансову допомогу та доступ до техніки.

3. *Екологічний моніторинг та відновлення*: створення системи моніторингу стану ґрунтів, водних ресурсів і екосистем для оцінки впливу війни на довкілля; оцінка якості водних ресурсів як одного з найважливіших елементів сталого розвитку; розробка і впровадження програм відновлення пошкоджених екосистем, включаючи лісонасадження та рекультивацію деградованих земель; розробка інструментів прогнозування впливу на довкілля.

4. *Впровадження сталих агротехнологій*: використання технологій точного землеробства, які мінімізують негативний вплив на довкілля та підвищують ефективність використання ресурсів; підтримка органічного землеробства, яке сприяє збереженню ґрунтів і біорізноманіттю; підвищення ефективності використання ресурсів; інноваційні системи зберігання та переробки продукції.

5. *Адаптація до зміни клімату*: розробка стратегій адаптації сільського господарства до умов зміни клімату, що включає використання посухостійких культур і ефективні методи зрошення; підготовка фермерів до змін кліматичних умов через освітні програми та консультації; впровадження новітніх заходів щодо захисту ґрунтів від ерозії.

6. *Міжнародна співпраця та підтримка*: залучення міжнародних організацій для технічної та фінансової підтримки відновлення аграрного сектору; співпраця з іншими країнами для обміну досвідом та впровадження передових практик у сільське господарство; залучення міжнародних фахівців до подолання наслідків військових дій.

7. *Підтримка місцевих громад*: розробка програм соціально-економічної підтримки для фермерів та сільських громад, постраждалих від війни; відновлення та розвиток місцевих ринків збуту сільськогосподарської продукції.

Після перемоги найважливішою потребою для населення стане відновлення житла, енергетичних об'єктів та інфраструктури. Проте, дослідження 16 країн, які відбудовувалися після війни, засвідчило, що краще *інвестувати в освіту, науку та технології*, бо це допоможе молодшому поколінню. *Європейська інтеграція* допомогла дослідженим країнам здійснити економічні реформи та покращити політичну стійкість. Процес євроінтеграції сприяє розбудові демократії та забезпечує верховенство права. Україні це також необхідно, аби позбутися радянського спадку. Також важливо розвивати технології, зокрема ІТ та креативні індустрії, які можуть мати позитивний вплив на економіку в майбутньому.

Україна щодня платить неймовірну ціну за нашу майбутню перемогу. І ми маємо переконатися, що країна, за яку українці та українки так завзято борються, буде відбудована прогресивною та комфортною для людей, що у ній мешкають і будуть повертатися. І здорове та збалансоване довкілля – це один із необхідних складників здорової країни.

1. Третяк А. М., Третяк В. М., Курильців Р. М. та ін. (2021). *Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціоналізації, практики: монографія*. Біла Церква: Білоцерківдрук. 227 с.

2. *United States Environmental Protection Agency: Handbook on the management of munitions response actions: interim final. EPA 505-B-01-001. Washington, DC: Office of Solid Waste and Emergency Response, 2005. 208 p.*
3. *United Kingdom Ministry of Defense: Duty holders guide – guidance on the assessment and management of land contamination (IN 0708). London : Defense Estates, 2008. 164 p.*
4. *'Germany': Investigation, Assessment, and Clean-up of Contaminated Military Sites / German Federal Environment Agency. 2007. 60 p.*
5. *Jentsch A., Silke F., Steinlein T. et al. (2009). Assessing Conservation Action for Substitution of Missing Dynamics on Former Military Training Areas in Central Europe. Restoration Ecology. Vol. 17. Iss. 1. P. 107–116. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00339.x>*
6. *Jacobs F. In France's Red Zones, World War I never ended. Strange Maps. 07.02.2021. URL: <https://big-think.com/strange-maps/zones-rouges/>*
7. *Коваль В., Вдовенко Н., Зось-Кіор М. (2023). Регулювання сільського розвитку для експорту органічної аграрної продукції в нових умовах розвитку міжнародної торгівлі та децентралізації. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. Серія економічна. Серія юридична.. Вип. 38. С. 331–337. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8409867>*
8. *Datsenko, L., Titova, S., Dubnytska, M., Kustovska, O. (2024). The issue of sustainable land use in Ukraine taking into account the consequences of the war. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 23(2), 25-38. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/185974>*
9. *Datsenko, L., Titova, S., Dubnytska, M. (2024). Conceptual approaches to the complex of restoration of the affected territories as a result of military actions in Ukraine. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 23(3), 3-13. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/190126>*
10. *Dubnytska, M., Datsenko, L., Titova, S. (2023). Land and Legal Relations Reconstruction in the De-Occupied Territories of Ukraine. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2023", 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510115>*

Diana Koshtura
Lviv Polytechnic National University

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR ENHANCING ENVIRONMENTAL SAFETY IN WARTIME CONDITIONS

Armed conflicts significantly affect not only civilian infrastructure and population but also the natural environment, leading to long-term ecological consequences. Among the key environmental risks in wartime are soil contamination, air and water pollution, forest degradation, and ecosystem destruction caused by explosive devices, projectiles, and military hardware. The ability to detect, classify, and predict the behavior of dynamic military objects, such as projectiles, is critical for mitigating ecological damage and ensuring timely environmental protection responses.

In the era of digital transformation, **information technologies, including artificial intelligence (AI) and neural networks [1]**, offer new tools for enhancing environmental safety. One promising direction is the use of **multilayer perceptrons (MLP)** for **real-time classification of dynamic objects** based on telemetry, trajectory, and impact data. Such models can be integrated into environmental safety systems to forecast the potential zones of environmental hazard, prioritize cleanup operations, and minimize ecological threats.

The classification of projectiles based on flight data involves solving a **supervised machine learning task**, where input vectors represent physical characteristics (e.g., initial coordinates, velocity, flight duration), and output classes correspond to the type of projectile. The output of each neuron in the hidden layer is calculated using:

$$z^{(l)} = W^{(l)} \cdot a^{(l-1)} + b^{(l)} \quad (1)$$

$$a^{(l)} = f(z^{(l)}) \quad (2)$$

where:

- $z^{(l)}$ – linear combination at layer l,
- $W^{(l)}$ – weight matrix of layer l,
- $b^{(l)}$ – bias vector,
- $a^{(l-1)}$ – activation from the previous layer,
- f – non-linear activation function (ReLU: $f(x) = \max(0, x)$).

The model is trained using backpropagation with the cross-entropy loss function:

$$L(y, \hat{y}) = - \sum_{i=1}^C y_i \log(\hat{y}_i) \quad (3)$$

Where y_i is the true label and $\hat{y}_i$ is the predicted probability for class i.

Table 1

Key Parameters of Projectile Classification Task

Feature	Description
x_0, y_0, z_0	Initial coordinated (m)
v_0	Initial velocity (m/s)
ϑ	Launch angle (degrees)
t_{flight}	Time of flight (s)
Air resistance	Modeled isng drag coefficient C_d
Output class	Type of projectile (A, A/M, P etc)

Environmental Relevance

The classification model enables **real-time detection of projectile types**, which is vital for:

- Predicting possible explosion zones.
- Assessing contamination risks (e.g., chemical shells).
- Activating targeted environmental protection protocols.
- Supporting decision-making in war-affected regions.

Furthermore, the data generated by such models can be fed into **Geographic Information Systems (GIS)** and **ecological monitoring platforms [2]**, creating **integrated warning systems** that combine military object tracking with environmental hazard prediction.

Table 2

Example of Environmental Threats from Projectiles

Projectile Type	Risk Zone Radius(m)	Ecological Impact
Fragmentation	30–50	Soil and vegetation damage, air pollution
Incendiary	20–100	Fires in forests and grasslands
Chemical	50–200	Soil and water contamination, toxic gas emission
Armor-piercing	5–15	Groundwater pollution (depending on metal content)

The use of **information technologies (IT)** in environmental safety is essential for timely threat detection, damage assessment, and mitigation planning. In wartime, these technologies become critical tools for:

- Monitoring hazardous zones using drones, satellites, and IoT sensors;
- Modeling pollutant dispersion based on explosion data and terrain;
- Classifying military objects to predict risk level and required environmental actions;
- Automating environmental reports using AI algorithms integrated with GIS.

One of the most impactful applications is the **classification of dangerous objects using neural networks**, particularly when paired with **telemetry and geospatial data [3]**. This allows for automation of decisions regarding:

- Decontamination routes,

- Humanitarian zone planning,
- Resource allocation for environmental protection missions.

The core model developed and used in our system is a **Multilayer Perceptron (MLPClassifier)** from scikit-learn [4]. It was trained using a manually structured dataset containing key features of different types of projectiles.

Each training sample includes the following parameters:

$$X = [x_0, y_0, z_0, v_0, \vartheta, t_{flight}, m, C_d] \quad (4)$$

Where

- x_0, y_0, z_0 : initial coordinates;
- v_0 : initial velocity;
- ϑ : launch angle;
- t_{flight} : time of flight;
- m : mass pf the projectiles;
- C_d : drag coefficient (air resistance)

The dataset was normalized using

$$X_{norm} = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Where μ is the mean and σ the standard deviation for each feature.

The final neural network architecture selected for the classification of projectile types is a multilayer perceptron (MLP) that demonstrates the highest accuracy according to the analysis of the confusion matrix [5].

Table 3

Model Hyperparameters

Parameter	Value
Input layer size	18 neurons
Hidden layers	(33, 8)
Hidden activation	Tanh
Output activation	Softmax
Loss function	Categorical Cross-Entropy
Optimizer	Adam
Learning rate	0.001
Max iterations	1000
Batch size	32

The classification model was trained and tested on a dataset of over **1200 samples**, with the following results obtained on a test set (20% of data):

It has been shown that the neural network with two hidden layers and 33 and 8 neurons with Tanh activation functions respectively [6], and an output layer with six neurons with a Softmax activation function, achieves the highest classification accuracy for projectiles (95.9%).

The experimental evaluation demonstrated that the multilayer perceptron (MLP) model with two hidden layers (33 and 8 neurons respectively) and Tanh activation functions provide the most accurate classification performance among the tested architectures [7]. The use of categorical cross-entropy loss and the Adam optimizer with a learning rate of 0.001 contributed to stable and efficient training convergence.

Future work will involve:

- Incorporating temporal or dynamic features from projectile motion data.
- Evaluating convolutional neural networks (CNNs) or recurrent architectures (RNNs/LSTMs) for sequence-based classification [8].

- Developing a hybrid decision system combining neural network predictions with rule-based safety constraints.
- Integration of the model into a real-time sensor-based detection system for improved environmental safety monitoring in military conditions [9].
- Ultimately, such intelligent systems contribute to enhanced environmental safety strategies, reducing ecological damage, supporting sustainable recovery, and protecting public health under extreme conditions of war.

1. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
3. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
4. Peleshchak, I., & Koshtura, D. (2024, July). Evaluation of classification accuracy using feedforward neural network for dynamic objects. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Information Systems and Networks*
5. Koshtura, D. (2024). *Experimental study of projectile classification using Random Forest and SVC*. Lviv Polytechnic National University.
6. Peleshchak, R. M., Lytvyn, V. V., Nazarkevych, M. A., Peleshchak, I. R., & Nazarkevych, H. Y. (n.d.). Influence of the symmetry neural network morphology on the mine detection metric.
7. Peleshchak, R., Kyshakevych, B., Demediuk, B., Kis, Y., & Peleshchak, O. (n.d.). A vector error correction model approach to analyze the causality among SME export-import activity and the economic development of EU countries
8. Lytvyn, V., Dudyk, D., Peleshchak, I., Peleshchak, R., & Pukach, P. (n.d.). Influence of the number of neighbours on the clustering metric by oscillatory chaotic neural network with dipole synaptic connections. *Lviv Polytechnic National University*.
9. Zaitseva, I., Levashenko, V., & Rybar, J. (2022). Application of neural networks in military object recognition. *Information Technologies in Military Systems*, 24(1), 55–67.

**Мирослава Миленька, Василь Полуйко, Галина Мельниченко, Надія Різничук,
Софія Матїшин, Сергій Скорик, Ірина Кавчук**

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ БІОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Вагомим наслідком російської збройної агресії є шкода, заподіяна екологічним системам. Оцінка глибини і масштабів спричинених порушень ускладнена різноманітною природою військових впливів: від хімічного забруднення компонентів довкілля до фізичної руйнації ландшафтів. Цей вплив часто становить пролонговану і віддалену небезпеку, може мати виражені мутагенні і тератогенні наслідки і зумовлювати генетичний тягар природних популяцій живих організмів, у тому числі людини.

Слід зазначити, що на сьогодні не існує єдиної апробованої запатентованої методики оцінки біологічно і медично значимих наслідків впливу бойових дій з доведеною ефективністю. Прямі наслідки впливу військових дій, такі як інтоксикація природного середовища, можуть бути оцінені інструментальними (хіміко-аналітичними) методами діагностики і саме вони, наразі, є основою для оцінки екологічних наслідків військових дій на природні екосистеми. Такий підхід дозволяє установити об'єктивну картину перевищення фонових чи гранично допустимих концентрацій забруднювачів на територіях, які зазнали впливу військових дій. При цьому, не врахованими залишаються цілий спектр чинників, зумовлених сумісною дією поллютантів і їх

здатністю змінювати свою дію на живі організми залежно від інших умов (кислотності середовища, вологості, рівня сонячної інсоляції тощо), підсилювати вплив при сумісній дії (синергізм) чи навпаки зменшувати його (явище нівелювання).

Для фіксації повного спектру екологічних наслідків збройної агресії необхідними є розроблення, затвердження і впровадження уніфікованого алгоритму оцінки біоекологічних і екотоксикологічних наслідків. Основою для його побудови можуть успішно слугувати кращі практики біологічної оцінки антропогенної трансформації довкілля, адаптованої до умов і реалій територій, що зазнали впливу військових дій.

Першочергово, це стосується оцінки токсико-мутагенного фону територій у трактуванні Наказу МОЗ України №116 від 13.03.07 – сукупності фізичних, хімічних та біологічних факторів природного чи антропогенного походження, сумарний вплив яких визначає рівень мутаційної мінливості організмів на даній території. Необхідність застосування даного методичного підходу ґрунтується на тому, що значна частина хімічних сполук, які потрапляють у довкілля внаслідок бойових дій, володіють доведеною мутагенною і цитотоксичною дією, яка може підсилюватися фізичними чинниками впливу. Так відомо, що у довкілля потрапляють ерозоли радіотоксичних оксидів урану (U_3O_8 , UO_2) із переважаючими частками від 0,5 до 5 мкм, здатні мігрувати у ґрунти і підземні води; вміст капсулів боеприпасів представляє собою ударно-запалювальну суміш таких речовин, як гримуча ртуть $Hg(ONC)_2$, антимоній Sb_2S_3 (сурма трьохсірчаниста), бертолетова сіль $KClO_3$ (калій хлорат). Також варто враховувати, що у боеприпасах застосовується значна кількість додаткових стабілізуючих та ініціюючих речовин, серед яких олово та його сполуки, бісмут та його сполуки (оксид бісмуту, карбонат бісмуту, нітрат бісмуту та ін.), нітрат стронцію, магнієвий порошок та багато інших. Свинець у продуктах горіння або вибуху твердого ракетного палива присутній у вигляді аерозолів свинцю та його оксиду – PbO . У результаті кожного обстрілу, окрім впливу самого снаряду, відбувається засмічення земельних ресурсів уламками будівель, розливу рідких компонентів, в тому числі токсичних тощо. Тому оцінка генетичного тягаря популяцій може розглядатися як “дзеркало” екологічних ризиків для людини і біоти у зонах бойових дій та прилеглих територіях. Суть цього методологічного підходу полягає в оцінці ступеня генетичної загрози від забруднення довкілля через систему доволі простих біологічних тестів, переважно на рослинних об'єктах. Ідентифікуючи спровоковані токсикантами мутації у рослинних клітинах, ми отримуємо об'єктивну інформацію щодо мутагенного тиску комплексу факторів трансформованого довкілля на біоту. При цьому для ґрунтового і водного середовищ найбільш валідною є рослинна тест-система – *Allium cepa*. Перевагою цього методу цитогенетичного моніторингу є відносна швидкість та інформативність, добра кореляція його результатів з отриманими в інших тест-системах. *Allium*-тест дає можливість вивчити цитогенотоксичність та документувати результати мікроскопічними дослідженнями хромосомних аберацій і ядерних аномалій. В літературних даних вказується, що при встановленні кластогенності та цитотоксичності середовища доцільно також використовувати таку тест-ознаку, як мікроядерний тест. Він дозволяє виявити ацентричні хроматиди і хромосомні фрагменти, які зберігаються у дочірних клітинах у вигляді мікроядер. На відміну від інших цитогенетичних методів, мікроядерний тест дозволяє проводити оцінку рівня хромосомних порушень за аналізом інтефазного ядра, тобто не вимагає наявності клітин в мітозі. Потрібно також звернути увагу на посилення або пригнічення мітотичної активності, затримку клітин на стадії профазі або метафазі мітозу, заміну мітозу на амітоз, зміну співвідношення кількості клітин у фазах мітозу. Для просторової характеристики сукупного впливу мутагенів різної етіології використовується поняття «мутагенний фон» і розробляються основні критерії регіонального картування за цим показником. Головна увага звертається на розповсюдженість мутагенного впливу, його тривалість і вираженість мутагенних ефектів. На основі останнього критерію стан території може бути охарактеризований як сприятливий, конфліктний, критичний чи небезпечний.

Для оцінки повітря добре зарекомендували себе тести на гаметоцидність із застосуванням пилку корінних видів рослин. Особливо цінні дослідження гаметоцидних властивостей полютантів виконані в умовах *in situ*, оскільки фактичний мутагенний потенціал полютантів у довкіллі може істотно відрізнятися від виявленого за допомогою лабораторного скринінгу. Тому

перспективним підходом в індикації мутагенної напруженості навколишнього середовища є дослідження репродуктивних структур вищих судинних рослин, насамперед чоловічого гаметофіту. Більшість індукованих політантами мутацій є рецесивними й проявляються в гаплоїдних пилових клітинах чи зародках при ембріональному розвитку насіння. Мейоз виконує роль своєрідного бар'єру у передачі потомству деяких типів таких мутацій, у результаті чого утворюється стерильний пилок і нежиттєздатне насіння. Таким чином, найвагомішими критеріями в оцінці дії забруднювачів є кількість аномальних мейотичних клітин і стерильність пилових зерен.

Наступною складовою алгоритму біологічної оцінки екологічних наслідків впливу військових дій може слугувати фіторостовий тест, який синтезує простоту аналізу і високу інформативність. Це метод оцінки токсичності середовища на основі вивчення особливостей реакції тест-організмів, що сигналізує про рівень екологічної безпеки або небезпеки незалежно від того, які саме чинники і в якому поєднанні призводять до змін життєво важливих функцій у тест-організмах; метод моделювання наслідків впливу чинника, що володіє загально біологічною дією на живий організм. Фактично, методи біотестування за реакцією живих організмів дають змогу отримати інтегральну токсикологічну характеристику комплексного забруднення усіх компонентів середовища. При цьому найбільш інформативним для подальшої характеристики стану екосистем є біотестуючі дослідження ґрунтів. Літературні дані описують досвід застосування у практиці біотестування низки організмів різних таксономічних груп, проте найбільш поширеними тест-системами є рослини (цибуля, крес-салат, ячмінь, горох, традесканція та низка інших), а одними з найбільш інформативних тест-ознак визначаються схожість насіння, ріст і здатність рослин формувати наземну і підземну маси. Згідно з міжнародним стандартом ISO 11269-1 для біотестування рекомендується використовувати ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*). Одночасно вказується, що можна застосовувати насіння й інших рослин. Міжнародний стандарт ISO 11269-2 регламентує вибирати мінімум два види рослин, при цьому один повинен бути однодольним, а інший дводольним.

Ефективність вище описаних методологічних прийомів для оцінки впливу військових дій на довкілля оцінена у пілотному проєкті на території Національного природного парку "Кам'янська Січ". Дослідження проводили впродовж березня – травня 2024 року за участі співробітників національного природного парку і наукового супроводу фахівців Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Експериментально доведено підвищення кластогенності і цитотоксичності ґрунтів, що проявилось в *Allium* сера-тесті інгібіцією мітотичної активності, порушенням динаміки клітинного циклу, зростанням відсотка аберантних ана-телофаз та індукцією мікроядер. Проведені дослідження показали значну гаметоцидність повітряного середовища і фітотоксичність ґрунтів у ростовому тесті.

Таким чином, чутливість застосованих методик, апробована на території НПП "Кам'янська Січ" вказує на перспективність їхнього впровадження в алгоритм оцінювання екологічного стану територій, які зазнали впливу військових дій.

1. Наказ МОЗ України № 116 від 13.03.2007 р. «Про затвердження методичних рекомендацій "Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів" // Офіційний вісник України. – 2007. – № 4, С. 186 – 209.

2. Миленька М. М. Цитогенетична оцінка стану ґрунтів Бурштинської урбоекосистеми / М. М. Миленька // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – Вип. 49. – С. 128 – 137.

3. Fulco, Carolyn E., Catharyn T. Liverman, and Harold C. Sox, eds. Gulf War and Health: Volume 1. Depleted Uranium, Pyridostigmine Bromide, Sarin, and Vaccines [Війна в Перській затоці та здоров'я: Том 1. Збіднений уран, піридостигмін бромід, зарин і вакцини]. Washington, D.C., USA: National Academy Press, 2000.

4. Лобойченко В.М., Пліско А.В. Оцінка екологічних наслідків від вибухів патронів та гранат на складах боєприпасів // Збірник наукових робіт курсантів. – 2017. – Випуск 15. – с. 112-120

5. Методичні рекомендації з відбору проб ґрунту в зонах бойових дій / А. О. Сплодитель. – Київ – Чернівці : Друк Арт, 2023. – 40 с.
6. Бешлей З. М. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів [Текст] / З. М. Бешлей, С. В. Бешлей, В. І. Баранов, О. І. Терек // Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. : Біологія. – 2014. – Вип. 1. – С. 97-102. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnaui_biol_2014_1_123.
7. Григорчук І. Д. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янця-Подільського [Текст] / І. Д. Григорчук // Біологічні системи. – 2016. – Т. 8, Вип. 2. – С. 212-218. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchu_biol_2016_8_2_12
8. Джура Н. М. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами [Текст] / Н. М. Джура, О. І. Романюк, Ян Гонсьор, О. М. Цвілинюк, О. І. Терек // Екологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, Вип. 1–2. – С. 55– 60.
9. ДСТУ ISO 11269-1:2004. Якість ґрунту [Текст]. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 1. Метод визначення гальмівної дії на ріст коренів (ISO 11269-1:1993, IDT). [Чинний від 2005-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
10. ДСТУ ISO 11269-2:2002. Якість ґрунту [Текст]. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин (ISO 11269-2:1995, IDT). [Чинний від 2004-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 14 с.
11. Тригуб В.І., Домусчи С.В. Біотестування як метод дослідження токсичності ґрунтів / В.І. Тригуб, С.В. Домусчи // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2020. Т. 25, вип. 2(37). – С. 112 – 127.

Носова Наталія
ДУ «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАН України»

ВПЛИВ МІЖНАРОДНО-ПРАВОВОГО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ «ЕКОЦИД» НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

На протязі віків історія людства фіксувала чисельні війни, які забирали життя мільйонів людей та порушували екологічний баланс планети. Війни завжди руйнували звичний життєвий уклад, спричиняли численні матеріальні збитки та призводили до необхідності відбудовувати промислові та інфраструктурні об'єкти. А про вплив на природу та пошкодження ландшафтів й рослинного і тваринного світу мало хто говорив.

У нинішній ситуації Україна проходить дуже складний період, який викликаний глобальними кліматичними змінами, загостренням боротьби за світові ресурси і дуже складним військовим протистоянням з російськими загарбниками. Це протистояння відбувається в складних умовах, коли ворог жорстоко нищить все навкруги: це і об'єкти інфраструктури, і військова техніка і навіть житлові будинки, що призводить до загибелі населення. Також страждають і зазнають значних втрат родючі українські землі. З кожним днем війни втрати зростають і їх важко оцінити (Носова Н.І., 2024).

Під час ведення бойових дій, коли застосовується зброя з різними набоями, у повітря надходить велика кількість хімічних речовин, внаслідок пожеж страждають та втрачаються лісові насадження, будівлі та об'єкти інфраструктури. «Усі набой, які розриваються, горіння неметалевих деталей військової техніки, забруднюють ґрунти та воду, не говорячи вже про тонни металобрухту, які розкидані по лісопосадках. Вибухи та пожежі випускають шкідливі речовини, які негативно впливають на якість довкілля та здоров'я людей» (Вовк В. І., Лінкевич Н. М., 2022). Знищуються рідкісні види тварин і рослин, які неможливо відновити.

Збереження екологічної стабільності та природних ресурсів має бути важливою метою навіть під час війни, бо від цього залежить доля майбутніх поколінь. Зараз в Україні

докладаються певні зусилля для вирішення екологічних проблем. Міжнародні організації, такі як ЮНЕП (програма ООН з навколишнього середовища) працюють над тим, щоб підтримати Україну в очищенні забруднених територій та відновленні пошкоджених екосистем (Кравець І.П., Коцур К.Н., 2024).

До екологічної ситуації в Україні, що склалась під час ведення бойових дій а їх наслідків доцільно використовувати термін «екоцид», який вперше «... прозвучав на Конференції ООН з проблем навколишнього середовища у 1972 році в контексті обговорення руйнування природного середовища через бомбардування, використання гербіцидів та будівництво у природних зонах» (Гаврилюк Е., 2023), однак у подальшому він не став закріпленим у відповідних міжнародних документах, що мало б передбачати й розробити відповідний механізм відповідальності, який би потрапляв під юрисдикцію Міжнародного Кримінального Суду (МКС). А на сьогоднішній день Міжнародний Кримінальний Суд кваліфікує злочини, пов'язані з руйнуванням довкілля як злочини проти людяності. У цьому контексті фундацією «Stop Ecocide було запропоновано концепцію із визначенням поняття «екоциду» з пропозицією включити такого роду злочини до Римського Статуту Міжнародного Кримінального Суду. Наразі стаття 5 Римського статуту МКС проголошує, що він може розглядати "питання, пов'язані з чотирма категоріями злочинів: геноцид, воєнні злочини, злочини проти людяності й злочин агресії".

Важливим нормативно-правовим актом з охорони навколишнього середовища є Конвенція ООН (Про заборону військового чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище, 1977), яка спираючись на Стокгольмську Декларацію з навколишнього середовища, проголошує «... збереження та покращення якості навколишнього середовища є важливою проблемою, що впливає на добробут народів та економічний розвиток усіх країн світу (Стокгольмська декларація, 1972).

Українське законодавство визначає екоцид як «... масове знищення рослинного або тваринного світу, отруєння атмосфери або водних ресурсів, а також вчинення інших дій, що можуть спричинити екологічну катастрофу» (за ст. 441 Кримінального кодексу України) (Гаврилюк Е., 2023).

Незважаючи на неоднозначне визначення екологічних злочинів під час ведення бойових дій, їх наслідки необхідно ліквідувати. Найбільших екологічних збитків Україна зазнала під час підриву Каховської ГЕС, збитки оцінюються у 146 млрд. грн. (Приходько О., 2024), що призвело до затоплення величезних територій, руйнації будівель та споруд, потраплянню нечистот у Чорне море, загибелі великої кількості тварин, деякі види з яких відновити буде неможливо, а, відповідно, страждає біорізноманіття, що негативно впливає на екосистему. Особливу небезпеку для біорізноманіття становлять численні пожежі, які виникають під час обстрілів та падіння снарядів. Слід відзначити відсутність спеціального правового захисту біорізноманіття у законодавчому полі відносно регулювання порядку ведення збройних конфліктів, що призводить до знищення рослинного та тваринного світу. «Живі організми надзвичайно чутливі до змін навколишнього середовища і реагують на нього здебільшого скороченням чисельності, межі поширення, зміною поведінки, а часто взагалі зникають з традиційних територій оселищ» (Антропогенний вплив на навколишнє середовище регіону, 2024).

Внаслідок ситуації, що виникла в результаті підриву Каховської ГЕС в Україні на урядовому рівні обговорювались можливості оцінки збитків та відновлення водосховища. Міністр екології відзначив, що відновлення або не відновлення водосховища відбуватиметься з урахуванням оцінки впливу на екологію. А під час ведення бойових дій потрапити на територію водосховища неможливо. На сьогодні, коли з часу підриву Каховської ГЕС пройшло вже два роки, на території затоплення утворився густий ліс, що займає площу майже 150 тисяч гектарів, головним чином з верб, які заввишки сягають двох метрів. Також на цій території утворилась велика піщана коса. Таким чином ландшафт зазнав значних та, можливо, незворотних змін.

Важко оцінити також забруднення водойм та повітря, які відбуваються внаслідок вибухів боєприпасів, загоряння військової техніки та численних пожеж від попадання снарядів. «Викиди парникових газів, викликані війною, реконструкцією будівель, ландшафтними пожежами,

пошкодження енергетичної інфраструктури, переміщення біженців і цивільної авіації збільшилися на 30% або 55 мільйонів тонн CO₂» (Climate damage caused by Russia's war in Ukraine 24 February 2022 – 23 February 2025, 2025). І все це також наслідки війни, які безпосередньо негативно відбиваються на екологічному стані планети.

Війна в Україні, яка триває вже четвертий рік, призводить до серйозної екологічної кризи, наслідки якої важко визначити та оцінити, що створює глобальні екологічні ризики. Слід сказати, що міжнародна спільнота занепокоєна наслідками воєнних дій в Україні і по всьому намагається допомогти у їх оцінці та ліквідації. Так, «... на брифінгу ОБСЄ представлено масштаби екологічної катастрофи в Україні через війну, зафіксовано понад 7500 екологічних правопорушень. Забруднено 25% території, пошкоджено Чорнобильське укриття та сотні водних об'єктів. Цей проєкт має на меті сприяти притягненню до відповідальності винних у завданні шкоди довкіллю України» (82 млрд. євро: ОБСЄ оцінила екологічні збитки від війни в Україні, 2025).

Також складнощі у оцінці забруднення та пошкодження територій виникають внаслідок тимчасової їх окупації, що робить недоступних потрапити на них, зафіксувати та оцінити збитки. Тому на допомогу приходять сучасні технічно досягнення. Так «... дрони, обладнані сучасними камерами та технологією LiDAR, дозволяють створювати точні тривимірні моделі місцевості, що необхідно для відстеження змін у ландшафтах та екосистемах. Такий підхід є корисним для вивчення явищ, як-от деградація ґрунтів, ерозія та процеси опустелювання. Завдяки можливості регулярного моніторингу стану лісів, водойм та узбережжя можна виявляти загрози, як-от забруднення, й оперативно вживати відповідних заходів (Бик Е.І., Буряк Н.Є., 2024).

Оцінюючи екологічний стан територій, що постраждали внаслідок бойових дій, маємо враховувати комплекс негативних факторів впливів на довкілля, при цьому необхідно вживати заходів оперативного управління екологічною безпекою. Авторський підхід до відновлення екологічного стану вважає за доцільне запропонувати використання методу порівняльного аналізу як допоміжного заходу, коли порівнюються екологічні норми з реальним екологічним станом об'єктів. Також важливою є оцінка біоценозу, що формується завдяки угрупованню біологічних видів рослинного і тваринного світу, що об'єднані спільною метою виживання. Таким чином можна оцінити реальний рівень безпеки й усунення негативних наслідків. Необхідно враховувати, що відновлюючи екосистему України, слід забезпечити їй стійкий і екологічний розвиток.

1. Носова Н.І. (2024) Подолання наслідків воєнних дій в Україні: можливості та перспективи агросектору. Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали міжнар. наук. конф. (11-12 квітня 2024) Одеса: ОДЕКУ, 2024. С. 173-177 https://drive.google.com/file/d/171PCiShW-vUGD3W1N1Dh-0NzGFC56y_2/view

2. Вовк В. І., Лінкевич Н. М. (2022) Екологічні наслідки війни. Екоцид України. Журнал про екологічні наслідки війни. Київ: Державна бібліотека України для юнацтва, 2022. 25 с.

3. Кравець І.П., Коцур К.Н. (2024) Збереження довкілля України в умовах війни. Екологічна безпека в умовах війни : зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-практ. конференції, м. Львів, 21 листопада 2024 року. Львів: ЛДУБЖД, 2024. С. 41-43. <https://indico.ldubgd.edu.ua/event/54/attachments/664/857.pdf>

4. Гаврилюк Е. (2023) Що таке екоцид: коротко і головне про законодавство та приклади. 08.06.2023. <https://suspilne.media/culture/501604-so-take-ekocid-korotko-i-golovne-pro-zakonodavstvo-ta-prikladi/>

5. Про заборону військового чи будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище (1977) №2692 от 18.05.1977. <https://ips.ligazakon.net/document/MU77K02U>

6. Стокгольмська декларація (1972). 16.06.1972. https://ips.ligazakon.net/document/MU72006?ed=1972_06_16

7. Приходько О. (2024) Збитки, завдані довкіллю через руйнування армією РФ греблі Каховської гідроелектростанції, оцінюють у понад 146 мільярдів гривень. Чи відновлюватимуть

водойму, розповів міністр екології. 01.08.2024. <https://suspilne.media/dnipro/804283-zbitki-cerez-rujnuvanna-kahovskoi-ges-perevisili-146-mlrd-grn-ci-vidnovluvatimut-vodojmu-rozpoviv-ministr-ekologii/>

8. Антропогенний вплив на навколишнє середовище регіону (2024). Федерація органічного руху України. <https://organic.com.ua/proekt-zberezhennya-biologichnogo-riznomanittya-karpatskoi-chastini-basejnu-dnistra/antropogennij-vpliv-na-navkolishn%D1%94-seredovishhe-regionu/>

9. Climate damage caused by Russia's war in Ukraine 24 February 2022 – 23 February 2025 (2025) Preliminary assessment by the Initiative on GHG Accounting of War 24 February 2025 https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2025/02/20250224_ClimateDamageWarUkraine36monthsENprelim-1.pdf

10. 82 млрд. євро:ОБСЄ оцінила екологічні збитки від війни в Україні (2025). 10.03.2025. <https://unn.ua/news/82-mlrd-yevro-obsie-otsinyla-ekolohichni-zbytky-vid-viiny-v-ukraini>

11. Бик Е.І., Буряк Н.Є. (2024) Використання дронів для охорони довкілля. 21.11.2024. С. 9. <https://indico.ldubgd.edu.ua/event/54/attachments/664/857.pdf>

Александр Остенда
Сілезька Академія у м. Катовіце, Польща
Леся Угрин
Національний університет «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ ВИПАРІВ ГРИБОВЕЦЬКОГО СМІТТЄЗВАЛИЩА НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

При забрудненому довкіллі людям в організм потрапляють шкідливі речовини такі як: вихлопні гази, пилюка, пісок і багато інших речовин. Екологічна безпека залежить від багатьох факторів. Зокрема, це чисті води, незабруднені ґрунти та свіже і чисте повітря. На даний момент ця тема набирає актуальності кожного дня. У зв'язку з війною в Україні екологічна ситуація погіршується. І Львівська область не виключення. До всіх негативних наслідків пов'язаних з наслідками військових дій у нашій області є ще один об'єкт який виділяє різні хімічні речовини у повітря. І це Грибовецьке сміттєзвалище – Львівський полігон твердих побутових відходів. З 1958 року до трагедії 1916 року це було головне місце складування сміття зі Львова та навколишніх сіл, розташоване біля села Великі Грибовичі, за кілька кілометрів від Львова. Площа сміттєзвалища перевищувала 38 гектарів і протягом довгих років він був найбільшим забруднювачем довкілля регіону. Оскільки за довгий час експлуатації перевищив дозволені ліміти зберігання відходів і став екологічною загрозою через відсутність сучасних технологій переробки сміття[1]. Довкілля вважається безпечним, коли його стан відповідає встановленим у законодавстві критеріям, стандартам, лімітам і нормативам, що стосуються його незабрудненості, ресурсомісткості невиснаженості, екологічної стійкості, санітарних вимог, видового різноманіття, здатності задовільняти інтереси громадян [2].

Об'єктом дослідження стали чинники які впливають на забруднення випарами Грибовецького сміттєзвалища навколишнього середовища

Питання забруднення Грибовецьким сміттєзвалищем навколишнього середовища піднімається вже протягом багатьох років. Закриття сміттєзвалища та критичний стан об'єкта потребує проведення рекультивації полігону. В цьому і полягає актуальність даного дослідження. Виділивши основні чинники які впливають на забруднення навколишнього середовища можна розробити інформаційну систему яка стане частиною заходів реформування в сфері утилізації сміття з мінімальним шкідливим впливом на стан довкілля.

Випари та гази, що зростають на Грибовецькому сміттєзвалищі, спричиняють всебічний негативний ефект на екосистему та здоров'я населення. Серед основних чинників такого впливу можна виділити:

– Забруднення повітря шкідливими газами, де ключовими компонентами звалищних викидів є метан, сірководень (H_2S), аміак і леткі органічні сполуки. Метан діє як парниковий газ, тоді як сірководень є токсичним і супроводжується неприємним запахом, що сигналізує про інші небезпечні гази.

– Вдихання цих речовин викликає ризики захворювання дихальної системи, зокрема хронічних розладів та раку легень. Випари ведуть до утворення мікроорганізмів і продуктів згоряння, які впливають на якість повітря.

– Забруднення ґрунтів і рослинності, спричинене випаровуванням та інфільтраціями зі сміттєзвалища, що утворюють важкі метали – це може бути кадмій, миш'як, молібден, свинець, кобальт, срібло. Ці речовини мають здатність накопичуватись в рослинності, змінюючи склад видів і структуру фітоценозів у прилеглих районах, що призводить до деградації земель і зменшення біорізноманітності.

– Забруднення підземних і поверхневих вод, викликане продуктами інфільтрації та фільтраціями зі сміттєзвалища, які проникають у річку Малехівка та місцеві потічки, спричиняючи накопичення токсичних речовин у водних екосистемах і створюючи загрози для здоров'я населення, що використовує цю воду.

– Ризик самозаймання та пожежі, пов'язаний з неконтрольованим утворенням метану та інших горючих газів. Це супроводжується викидом значних обсягів токсичних продуктів горіння, посилюючи негативний вплив на стан повітря регіону та загрозу для людей і довкілля.

– Поширення інфекційних захворювань через викиди зі сміттєзвалища. Оскільки сміттєзвалище є осередком розмноження патогенної мікрофлори і гризунів [3-4].

Основними отруйними речовинами, що випаровуються з Грибовецького сміттєзвалища, є сірководень (токсичний газ із характерним різким запахом, який є маркером інших небезпечних випарів), метан (основний компонент що утворюється при розкладі органічних відходів, є вибухонебезпечним), аміак (токсичний газ, який подразнює дихальні шляхи і може викликати гострі та хронічні захворювання органів дихання), оксид вуглецю (є отруйним, особливо у закритих просторах, а діоксид вуглецю сприяє парниковому ефекту), діоксид азоту, ангідрид сірчистий, а також леткі органічні сполуки й домішки важких металів – свинець, кадмій, цинк, марганець, залізо, а також залишки лугів, кислот і різноманітних хімічних речовин). Особливо небезпечні через наявність відходів військової промисловості на полігоні. Їхня присутність у повітрі створює серйозну загрозу для здоров'я людей та довкілля, тому саме показники цих параметрів будуть основними при створенні інтелектуальної інформаційної системи моніторингу випарів Грибовецького сміттєзвалища.

Здатність інтелектуальних систем аналізувати широкий спектр параметрів дозволяє розробити адаптивну систему, яка буде частиною заходів по рекультивації полігону [5]. Завдання системи – моніторинг екологічного стану територій поблизу Грибовецького сміттєзвалища, інформування та попередження населення у разі екологічної небезпеки. Система буде поділена на дві складові: користувацький інтерфейс і адміністративну панель. Адміністратор відповідатиме за введення та оновлення даних. Користувацький інтерфейс включає інтерактивну карту Львівської області, розділену на райони. Забруднюючі речовини аналізуються для кожного району, і результати відображаються в графіках, діаграмах та таблицях. Крім того, система включатиме конвертор, який оброблятиме дані забрудників та надаватиме висновки щодо безпеки на території. У цьому контексті, для спрощення сприйняття інформації, буде використано індекс якості повітря (AQI), який конвертує різні забруднюючі речовини в загальний числовий показник, що вказує на рівень безпеки повітря для громадськості.

Таким чином, проведено аналіз чинників, які впливають на стан навколишнього середовища і залежать від випарів Грибовецького сміттєзвалища. Даний аналіз може стати базою для створення інформаційної інтелектуальної системи з вбудованим штучним інтелектом. Ця система буде частиною масштабного проєкту рекультивації полігону. Полегшена мобільна версія може стати інформаційною сторінкою для населення з метою виявлення

токсичних газів, забруднення важкими металами, інфільтрації забруднювачів у води, зменшення ризику пожеж і поширення інфекцій та своєчасне попередження екологічних катаклізмів.

1. Угрин Л. Є. (2023). *Аналіз станів територій природозаповідного фонду загальнодержавного значення. Катовіце, 2023. – С. 41–42.*

2. *Проблеми будівництва сміттєперобного заводу у Львові та рекультивації Грибовицького сміттєзвалища: історія тривалістю 8 років* Отримано з: <https://zahid.espreso.tv/> (11.04.2025)

3. *Сміттєзвалища та їх вплив на довкілля* Отримано з: <https://www.reline.com.ua/statti/smittezvalyshha-ta-dovkillya/> (21.04.2025)

4. *Сміттєзвалища небезпечні для здоров'я?* Отримано з: <https://zbruc.eu/node/52016>(21.04.2025)

5. *Інтелектуальні технології та системи штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень.* Ткаленко О. М. та інші. Отримано з: <https://tit.dut.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2247> (23.04.2025)

Садура Оксана

Національний університет «Львівська політехніка»

Агрес Оксана

**Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького**

ФІНАНСОВІ СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВІЙНИ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ МІСЦЕВИХ ГРОМАД

В умовах децентралізації та інтеграції України у глобальні економічні процеси, питання забезпечення безпеки довкілля стає одним із основних аспектів у рамках сталого розвитку територіальних громад. Однак, війна, яка триває на сході України, суттєво ускладнює реалізацію екологічних ініціатив, оскільки обмежує доступ до фінансових ресурсів та ускладнює здійснення інфраструктурних проєктів, що сприяють покращенню екологічної ситуації в регіонах.

У цих умовах важливим завданням є залучення додаткових фінансових ресурсів для забезпечення ефективного впровадження екологічних проєктів на місцевому рівні. Зокрема, одним із найбільш перспективних напрямів є використання фінансово-кредитних інструментів, що дозволяють мобілізувати необхідні кошти для збереження навколишнього середовища та поліпшення екологічної ситуації в умовах війни.

Недостатня розвиненість інституційної та нормативної бази, а також обмежений доступ до фінансування на місцевому рівні значно обмежують можливості для реалізації екологічних проєктів. В умовах дефіциту фінансових ресурсів муніципалітети, місцеві бізнеси та громади стикаються з проблемою недофінансування важливих екологічних ініціатив, таких як очищення водних ресурсів, управління відходами, відновлення зелених зон та розвиток енергоефективних технологій. Відтак, фінансово-кредитні інструменти можуть бути ефективним засобом для подолання цих проблем, адже вони дозволяють мобілізувати капітал для реалізації важливих екологічних проєктів, таких як модернізація комунальних служб, будівництво водогонів та каналізаційних мереж, а також розвиток інфраструктури, що знижує навантаження на довкілля.

Важливим елементом цього процесу є використання облігацій місцевих позик, які виступають як боргові фінансові інструменти, що дозволяють залучати необхідні кошти для реалізації інфраструктурних проєктів, у тому числі і екологічних. Важливою умовою для успішного залучення фінансування є розробка відповідної нормативної бази та забезпечення прозорості у використанні коштів, що дозволяє мінімізувати ризики для інвесторів. Відповідно до

норм чинного законодавства України, облігації внутрішніх місцевих позик класифікуються як боргові фінансові інструменти, що фіксують кредитні зобов'язання емітента перед інвесторами. Вони передбачають юридично закріплений обов'язок емітента, або ж іншої сторони, яка випускає неемісійний борговий інструмент, здійснити в певний строк виплати, передати матеріальні активи або надати послуги, а також дотримуватися інших прав та обов'язків власника облігацій та забезпечувальних осіб [1]. Таким чином, при виборі форми запозичення через випуск облігацій місцевих позик, доцільно додатково враховувати нормативні акти та рішення Національної комісії з цінних паперів та фондового ринку, які регламентують діяльність на ринку цінних паперів [2].

Основними напрямками соціально-економічного розвитку регіонів та міст, які фінансуються за рахунок коштів від муніципальних облігаційних позик, є: освіта, транспорт, комунальне господарство та охорона навколишнього середовища (фінансування водогінних, каналізаційних служб та енергосистем); соціальне забезпечення (фінансування будівництва шкіл); розвиток промисловості; будівництво автодоріг, мостів, туристичної інфраструктури та об'єктів сфери послуг.

Впродовж 2021 року, незважаючи на розширені фінансові інструменти для органів місцевого самоврядування щодо залучення позикового капіталу, лише Київська міська рада скористалася можливістю випуску муніципальних облігацій. Було проведено три емісії цінних паперів через АТ «Фондова біржа ПФТС» на загальну суму 1,1 млрд грн. Зокрема, серія «М» випущена на 300 млн грн зі строком обігу 3 роки, серія «N» – на 400 млн грн зі строком 4 роки, і серія «О» – на 400 млн грн з обігом 5 років. Організаторами випуску виступили Укресімбанк, Укргазбанк та Ощадбанк. Номінальна вартість однієї облігації становила 10 тис. грн, а купонна ставка була встановлена на плаваючому рівні, що дорівнювала обліковій ставці Національного банку України плюс 5% річних [3].

З 2022 року і до сьогодні повністю відсутні пропозиції облігацій місцевих позик з боку будь-яких емітентів. Це викликано глибокою кризовою ситуацією, спричиненою повномасштабною військовою агресією Російської Федерації. Суттєве скорочення надходжень до бюджетів усіх рівнів, зростання видаткового тиску та високі ризики для інвесторів через невизначеність ситуації в економічній, соціальній і політичній сферах України створили несприятливі умови для залучення капіталу через ринок облігацій.

Крім того, у часи війни зростає значення міжнародного співробітництва для забезпечення екологічної безпеки. У кінці 2022 року було підписано угоду про співпрацю між Національним депозитарієм України та Центральним депозитарієм Польщі з метою встановлення кореспондентських відносин для здійснення операцій типу «Поставка цінних паперів без оплати» [4]. Ця ініціатива відкриває нові можливості для залучення міжнародних інвестицій у проекти, спрямовані на поліпшення екологічної ситуації в Україні, забезпечує можливість проведення транскордонних переказів облігацій місцевих позик, емітованих українськими муніципалітетами, з їхнім обліком у Національному депозитарії України відповідно до європейських стандартів CSDR. Це важливий крок для інтеграції українських фінансових інструментів у міжнародний ринок капіталів та сприяння розвитку фінансової автономії місцевих органів влади.

Важливим фінансово-кредитним інструментом фінансування місцевого економічного розвитку є кредитування як банківське так і міжнародних фінансових організацій. Кредитна підтримка є важливим інструментом для безперебійного функціонування та розвитку регіонів. Запровадження урядом пільгового кредитування «Доступні кредити 5-7-9» дозволило суб'єктам господарювання отримати необхідні фінансові ресурси для існування [5]. Така державна підтримка суб'єктам підприємництва надається шляхом здешевлення вартості кредитів, в т.ч. і суб'єктам господарювання державного або комунального сектору економіки. За час дії воєнного стану (станом на 30.09.2024) в Україні видано 61 789 кредитів на 243,6 млрд грн та 17 647 кредитів на 66,3 млрд грн від початку року [6]. Аналізуючи дані цифри, зазначимо, що впровадження регіональних програм кредитування малого і середнього бізнесу (МСБ) є важливим кроком для розвитку місцевої економіки та екологізації навколишнього середовища. Такі програми сприяють створенню робочих місць та підвищенню податкових надходжень.

Однак, їх ефективність залежить від наявності достатніх фінансових ресурсів на місцевому рівні та доступу до них підприємців.

Окрім цього, важливим інструментом для фінансування екологічних ініціатив на місцевому рівні став краудфандинг. Завдяки краудфандинговим платформам місцеві громади можуть залучати кошти для реалізації екологічно важливих проектів, таких як озеленення територій, очищення водних джерел, розвиток альтернативних джерел енергії та інші ініціативи, що сприяють покращенню екологічної ситуації. Краудфандинг забезпечує підприємцям і місцевим ініціативам доступ до капіталу, який важко отримати через традиційні джерела фінансування, такі як банки або венчурні капіталісти, що особливо актуально для малих і середніх підприємств, які часто стикаються з труднощами при отриманні кредитів.

Платформи краудфандингу надають можливість для стартапів і нових бізнесів продемонструвати свої ідеї безпосередньо потенційним інвесторам, сприяючи розвитку підприємницької активності в регіонах, оскільки бізнес-ініціативи отримують підтримку від місцевих жителів, які зацікавлені в розвитку своєї громади.

Також допомагає залучати громаду до процесу прийняття рішень, що стосується екологічного розвитку, адже люди стають активними учасниками проектів, які їх цікавлять, що сприяє формуванню більшої відповідальності за результати і розвиток як місцевого бізнесу, так і навколишнього середовища.

Краудфандинг також служить інструментом для тестування нових продуктів чи послуг на ринку. Перед запуском бізнесу чи проекту підприємці можуть перевірити реакцію потенційних споживачів та отримати зворотний зв'язок, що дозволяє адаптувати пропозицію відповідно до потреб ринку.

Завдяки краудфандингу бізнеси можуть отримувати фінансування не лише через грошові внески, але й через обмін послугами або продуктами, що підвищує гнучкість у виборі форм фінансування.

Важливо, що цей інструмент часто використовується для фінансування соціальних проектів, які мають вагомe значення для розвитку громади, а саме підтримка екологічних ініціатив, проектів у сфері освіти, культури або охорони здоров'я.

Отже, використання фінансово-кредитних інструментів, краудфандингу та міжнародного співробітництва є важливими кроками для забезпечення безпеки довкілля в умовах війни. Однак для їх ефективного впровадження необхідно покращити законодавчу та нормативну базу, забезпечити доступ до фінансових ресурсів на місцевому рівні, а також сприяти розвитку партнерств між державними, приватними і міжнародними інституціями. Це допоможе створити умови для сталого розвитку регіонів та збереження навколишнього середовища в умовах надзвичайних викликів, з якими зіштовхується Україна сьогодні.

1. Про ринки капіталу та організовані товарні ринки : Закон України від 23.02.2006 р. № 3480-IV. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3480-15#Text>

2. Про затвердження Положення про порядок емісії облігацій внутрішніх місцевих позик та їх обігу : рішення Національної комісії з цінних паперів та фондового ринку від 14.06.2018 р. № 391. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0808-18#Text>

3. Як інвестори зможуть заробити на муніципальних облігаціях у 2022 році. *Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку : офіційний вебсайт*. 2022. URL : <https://www.nssmc.gov.ua/iak-investory-zmozhut-zarobyty-na-munitsypalnykh-oblihatsiakh-u2022-rotsi>

4. Громади отримали можливість випускати муніципальні облігації на міжнародних ринках. *Децентралізація влади в Україні : офіційний вебсайт*. 2023. URL : <https://decentralization.ua/news/15969>

5. Агрес О.Г., Марків Г.В., Томашевський Ю.М. Кредитна підтримка сільськогосподарських підприємств в умовах війни. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Економіка АПК*. № 30. Львів. 2023. С. 59-65

6. Єлісеєва, Л., Теслюк, С. Краудфандинг як економічна форма фандрейзингу в умовах інформаційно-мережевої економіки. *Цифрова економіка та економічна безпека*. (1 (01). 2022. С. 87-91.

Швець Любов
Дрогомирецька Зоряна
Івано-франківський національний медичний університет

ЗМІНИ МУТАГЕННОЇ АКТИВНОСТІ ВОДИ, ГРУНТІВ ТА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ОКРЕМИХ РАЙОНАХ ПРИКАРПАТТЯ НА 2024 РІК

Проблема забруднення довкілля набула в Україні особливої актуальності [1]. За умов сьогодення, коли організм будь-якої людини знаходиться під впливом комплексу стресових чинників, які виявляють багатопланову дію, дослідження впливу техногенних факторів забруднення довкілля є пріоритетним напрямком науки та медицини. Проведення екологічного моніторингу, ідентифікація мутагенів, об'єктивний контроль інтенсивності техногенного забруднення довкілля дають можливість забезпечити прогнозування та розробити профілактичні заходи негативних наслідків впливу ксенобіотиків на здоров'я майбутніх поколінь.

Біоіндикація забруднення води, ґрунту та атмосферного повітря проводилася багатьма вченими. [2,3,4,5]. Для ідентифікації мутагенів у довкіллі впродовж тривалого часу використовуються різноманітні таксономічні моделі. Універсальними вважаються рослинні тест-об'єкти, які поєднують швидку зміну поколінь з великою кількістю нащадків та рекомендовані групою експертів Міжнародної комісії ВООЗ із захисту від мутагенів при проведенні еколого-генетичних досліджень.

Оскільки репродуктивні органи більш чутливі до дії ксенобіотиків, ніж рослина в цілому, перспективними в плані оцінки інтенсивності мутагенного фону та визначення спричиненого ним ризику для здоров'я населення є аналіз гонадотоксичності за стерильністю пилку рослини [6,7]. Загальновизнаним методом моніторингу забруднення довкілля є *Allium sera* тест, який дозволяє визначити мутагенну активність води та ґрунтів за допомогою дослідження загальної токсичності (фітотоксичності) та цитотоксичності у клітинах апікальної меристеми цибулі звичайної.

Результатами досліджень українських вчених доведено, що на Прикарпатті склалася несприятлива екологічна ситуація [8]. Згідно з даними СЕС на Бурштинську ТЕС (Бу ТЕС) припадає 80% із загальної кількості викидів із стаціонарних джерел у Івано Франківській області. Впродовж повномасштабного російського вторгнення Бу ТЕС неодноразово зазнавала ракетних ударів.

Метою роботи є дослідження мутагенної активності води, ґрунтів та атмосферного повітря на території впливу Бурштинської ТЕС, на відстані 8 км від Бу ТЕС та території Галицького національного природного парку (ГНПП) (16 км від Бу ТЕС) у 2020 та 2024 роках.

Матеріали та методи дослідження:

Дослідження проводилися на квіткових суцвіттях деревних рослин: яблуні лісової (*Malus silvestris*), кінського каштану звичайного (*Aesculus hippocastanum*) та трав'яних: чистотілу великого (*Chelidonium majus*) і грициків звичайних (*Capsella bursapastoris*). Взяття матеріалу здійснювалося на вищезазначених територіях, фертильні та стерильні пилкові зерна ідентифікували – за допомогою йодного методу. Коефіцієнт стерильності генеративних клітин чоловічого гаметофіту визначали за загальноприйнятою формулою.

Для оцінки інтенсивності забруднення води використовували рослинну тест систему (*Allium cepa* тест). Об'єктом дослідження були зразки води із території впливу Бурштинської ТЕС, на відстані 8 км від Бу ТЕС та території Галицького національного природного парку (16 км від Бу ТЕС). Контролем слугували проби води із території ГНПП.

Для статистичної обробки результатів дослідження використовували комп'ютерну програму „Excel”, що входить до складу пакету Microsoft Office.

Результати. Першочергово встановлювали рівень мутагенного фону довкілля за стерильністю пилку деревних рослин. Даний показник був найвищим у яблуні лісової. У 2020 році стерильність її пилкових зерен з території ГНПП була нижчою у 3,23 рази у порівнянні з рослинами, які проростали на території Бу ТЕС, та у 1,49 рази у порівнянні із рослинами із 8-кілометрової зони від Бурштинської ТЕС. У 2024 році закономірність у динаміці показників була схожою та становила відповідно 3,89 та 1,95 рази. Порівнянням показників за 2020 та 2024 рр виявлено, що стерильність чоловічого гаметофіту яблуні лісової зросла у рослин із території Галицького національного природного парку у 1,36 рази, на відстані 8 км від Бу ТЕС – у 1,78 рази, з території впливу Бу ТЕС – у 1,93 рази.

За показниками 2020 року стерильність пилку кінського каштану звичайного була вищою у рослин з території Бу ТЕС у 2,56 рази порівняно із рослинами з території Галицького національного природного парку та у 1,54 рази перевищувала таку у рослин, які проростали на відстані 8 км від Бу ТЕС. Дещо вищими ці порівняльні характеристики у 2024 році та становили відповідно: 4,02 та 1,98 рази. У цьому ж році порівняно з 2020 роком показник стерильності пилкових зерен кінського каштану звичайного збільшився у рослин з ГНПП у 1,33 рази, із 8-кілометрової зони від Бу ТЕС у 1,72 рази, а з території впливу Бу ТЕС – у 2,09 рази.

Наступним етапом наших досліджень було визначення показника стерильності чоловічого гаметофіту у трав'яних рослин, які характеризуються коротким життєвим циклом та більше піддаються впливу факторів довкілля.

Стерильність пилкових зерен грициків звичайних, які у 2020 році проростали у Галицькому національному природному парку, була нижчою, ніж у рослин із території впливу Бурштинської ТЕС у 4,57 рази, а у рослин, які проростали на відстані 8 км від Бу ТЕС – у 1,24 рази. У 2024 році в порівнянні із 2020 роком показники стерильності пилку грициків звичайних суттєво збільшилися у рослин із території впливу Бу ТЕС. Стерильність пилкових зерен цього виду рослин із ГНПП була нижчою у 5,63 рази порівняно із рослинами з території впливу Бурштинської ТЕС, та в 1,21 рази – у рослин із 8-кілометрової зони. Дослідження у період між 2020 та 2024 роками довели збільшення стерильності чоловічого гаметофіту у грициків звичайних із території ГНПП у 1,79 рази, у рослин, які проростали на відстані 8 км від Бу ТЕС – у 1,74 рази, а із території впливу Бурштинської ТЕС – у 2,20 рази.

Найбільша стійкість до дії гонадотоксичних чинників серед трав'яних рослин виявлена у чистотілу великого. У 2020 році стерильність його пилку у рослин з території ГНПП у 3,45 рази була нижчою у порівнянні із такою у рослин із території впливу Бурштинської ТЕС та у 1,28 рази – із 8-кілометрової зони від Бу ТЕС. Аналізом результатів досліджень стерильності чоловічого гаметофіту чистотілу великого у 2024 році встановлено, подібну динаміку змін аналогічних показників відповідно: у 3,18 та 1,56 рази. Порівняння показників за 2020 та 2024 рр засвідчило зростання стерильності пилкових зерен у рослин цього виду із території впливу Бурштинської ТЕС – у 2,43 рази, на відстані 8 км від Бу ТЕС – у 3,20 рази та із Галицького національного природного парку – у 2,64 рази.

Allium cepa тест використовували для визначення загальної (фітотоксичності) рослин за пригніченням росту корінців цибулі. роках Найкраще проростали рослини у зразках води із ГНПП: у 2020 році довжина їх корінців перевищувала таку у рослин із 8 кілометрової території на 6,77 % та на 17,03 % у рослин пророщених на зразках з території впливу Бурштинської ТЕС. У 2024 році ріст корінців *Allium cepa* пригнічувався відповідно на 7,39 % та 19,90 %. Порівняно з 2020 роком у цьому році довжина корінців зменшилася у рослин, які

проростали на пробах води із Галицького національного природного парку на 8,50 %, із 8-кілометрової зони від Бу ТЕС на 7,39 %, а із території впливу Бурштинської ТЕС – на 19,90 %.

Висновки:

1. Використанням двох рослинних тест систем встановлено різний ступінь техногенного навантаження у трьох досліджуваних районах Прикарпаття: території впливу Бурштинської ТЕС, на відстані 8 км від Бу ТЕС та території Галицького національного природного парку (16 км від Бу ТЕС) у 2020 та 2024 роках.

2. Доведено підвищений вміст мутагенів у воді, ґрунтах та атмосферному повітрі на території впливу Бу ТЕС. Галицький національний природний парк можна вважати контрольною територією.

3. У 2024 році доведено підвищення мутагенного фону на всіх трьох досліджуваних територіях.

1. Колеснік Д.В., Шмандій В.М., Харламова О.В., Ригас Т.Є., Безденежних Л.А. 2023. Використання методу фітоіндикації чагарниковими рослинами для дослідження стану екологічної безпеки урбанізованих територій. Екологічні науки № 3(48) с.42-47.

2. Скок С.В. Біоіндикаційні методи оцінки рівня забруднення водних екосистем. Водні біоресурси та аквакультура 2022. 1(11). с.131-143. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.11>

3. Григорук І.Д., Оптасюк О.М. Аналіз стерильності пилку деревних рослин в умовах міста Кам'янець-Подільський. Біологічні системи. 2018. Т.10. Вип. 2. С. 145–150.

4. Ханнанова О.Р., Арканова А.А. Біоіндикаційна оцінка стану атмосферного повітря Полтавського міського парку. Біологія та екологія. 2017. Том 3 (1–2). С. 69–75.

5. Кукурудзяк К. В., Бригас О. П., Ревка Т. О. Екологічна оцінка ґрунту поблизу свинарських господарств різної потужності за допомогою біотестування. 2015. Таврійський науковий вісник № 96 с. 205-210.

6. Гришко В.М., Комарова І.О. Біоіндикація атмосферного забруднення за реакцією пилкових зерен *Taraxacum officinale* F.H.Wigg (на прикладі м. Кривий Ріг). Science Rise. Біологічні науки. 2016. Вип. 5/1 (22). С. 15–20.

7. Мазура М.Ю., Лещенюк О.М., Тесленко І.К., Юрчук .2020.Аналіз чутливості пилку рослин сапна І. В умовах аеротехногенного пресингу. 2020.Екологічні науки № 3(30) с. 182-187.

8. Стратегічна екологічна оцінка та прогноз стану довкілля Західного регіону України: у 2 т. / За ред Г.І Рудька О.М. Адаменка. Київ–Чернівці : Букрек, 2017. – Т. 2. – 584 с.

Щербан Ореста

Національний університет «Львівська політехніка»

Цубов Леонід

Національний університет «Львівська політехніка»

Квасній Любов

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ЕКОЛОГІЧНА СВІДОМІСТЬ СУСПІЛЬСТВА В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

У сучасних умовах питання екології стало однією з центральних тем у глобальному порядку денному. Зміна клімату, виснаження природних ресурсів, забруднення довкілля та втрата біорізноманіття викликали необхідність переосмислення взаємовідносин людини і природи. Науковці наголошують, що «постійне прагнення людства до бажання максимально задовольнити свої потреби в економічному сенсі, призвело до руйнації екологічної підсистеми» [1, с. 38]. У цьому контексті формування екологічної свідомості суспільства постає ключовим чинником сталого розвитку.

Збройна агресія росії проти України спричинила серйозну екологічну проблему – руйнування природних екосистем. Серед основних загроз: можливість радіоактивного забруднення, вплив токсичних речовин, що складно утилізуються і зберігаються, погіршення якості питної води, знищення небезпечних промислових об'єктів, а також забруднення повітря внаслідок артилерійських обстрілів по хімічних і металургійних підприємствах та горіння великої кількості боєприпасів [2].

В умовах війни проблема вдосконалення екологічної освіти серед студентської молоді набуває особливої актуальності. Така освіта охоплює вивчення функціонування природного середовища і навчає керувати поведінкою з урахуванням принципів сталого розвитку. Її мета – запобігти глобальній екологічній катастрофі шляхом формування екологічного світогляду, протилежного до споживацького підходу.

Екологічна свідомість – це система знань, переконань, цінностей і норм поведінки, спрямованих на збереження довкілля. Вона охоплює усвідомлення людиною взаємозв'язку між своєю діяльністю і станом природи, готовність змінювати звички на користь екологічно безпечних практик та брати участь у природоохоронних заходах.

З огляду на складну екологічну ситуацію, спричинену повномасштабними воєнними діями, першочерговим завданням сучасної освіти має стати підготовка фахівців, здатних ефективно вирішувати соціальні, економічні й екологічні виклики, з якими стикається суспільство на всіх рівнях. При цьому важливо екологізувати не лише освітній процес, але й усі сфери життєдіяльності людини.

Кожен громадянин повинен усвідомлювати природу екологічних проблем, їх загострення у воєнний час та необхідність негайного реагування. Особиста відповідальність за дії, що впливають на довкілля, є основою екологічної освіти, яка, у свою чергу, слугує гуманітарною платформою для розвитку екологічної свідомості, формування відповідального екологічного світогляду і культури.

А.Радей зауважує, що «Стан сучасного екологічного знання обумовлений наявністю екологічної кризи та пов'язаної з нею кризи екологічної свідомості. Для вирішення екологічної кризи суспільство потребує не тільки значних економічних та соціальних зусиль, а й докорінної перебудови існуючої на сьогоднішній день екологічної свідомості та системи екологічного знання» [3]. Рівень екологічної свідомості безпосередньо залежить від освіти, культурних традицій, економічного розвитку та доступу до інформації. У XXI столітті зростає роль соціальних мереж, ЗМІ та міжнародних ініціатив у популяризації екологічних знань та практик відповідального споживання.

Екологічна свідомість – це усвідомлення стану навколишнього середовища та здатність розуміти взаємозв'язок між людиною й природою. Вона визначає поведінку, що або завдає шкоди довкіллю, або сприяє його збереженню. Екологічне виховання спрямоване на формування особистостей, які щоденно дотримуються екологічно доцільних норм поведінки і підтримують ініціативи щодо охорони довкілля.

У 1975 році була запроваджена Міжнародна програма екологічної освіти, яка визначила її ключові принципи. Уже в перші тижні повномасштабної агресії росії були зафіксовані численні злочини проти довкілля, які становлять загрозу не лише для України, а й для всієї Європи. У зв'язку з цим Офіс Генерального прокурора відкрив кримінальні провадження за статтею 441 Кримінального кодексу України – «екоцид», що передбачає відповідальність за дії, які можуть призвести до екологічної катастрофи.

Основні тренди розвитку екологічної свідомості:

1. Поширення концепції сталого розвитку

Ідея сталого розвитку, яка поєднує економічне зростання, соціальну справедливість та екологічну безпеку, стала основною парадигмою сучасної цивілізації. У рамках Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року країни зобов'язалися впроваджувати політики, що забезпечують баланс між потребами нинішніх і майбутніх поколінь.

Це сприяє інтеграції екологічних принципів у бізнес-практики, систему освіти та державне управління. Все більше компаній запроваджують політику «зеленої» корпоративної відповідальності, а споживачі орієнтуються на екологічно чисті продукти та послуги.

2. Розвиток екологічної освіти

Екологічна освіта набуває пріоритетного значення на всіх рівнях – від дошкільних закладів до університетів. Програми екологічної грамотності спрямовані на формування у молоді екологічного мислення, розуміння глобальних викликів та навичок свідомого споживання ресурсів.

Особливо активно розвиваються неформальні форми екологічної освіти: тренінги, майстер-класи, онлайн-курси, участь у природоохоронних акціях. Це сприяє залученню широких верств населення до екологічного руху.

3. Активізація молодіжного екологічного руху

Молодь дедалі активніше бере участь у захисті довкілля, організовуючи акції, марші та ініціативи на підтримку кліматичних змін. Такі рухи, як Fridays for Future, на чолі з Гретою Тунберг, стали глобальними символами нової екологічної епохи.

Молодіжні екологічні організації не лише привертають увагу до проблем, але й формують запит на зміну екологічної політики на національному та міжнародному рівнях.

4. Технологічні інновації на службі екології

Цифрові технології відкривають нові можливості для популяризації екологічної свідомості. Смартфони, соціальні мережі, мобільні додатки для сортування відходів, розрахунку вуглецевого сліду чи електронного моніторингу стану довкілля допомагають людям легко впроваджувати екологічні звички у повсякденне життя.

Розвиток екотехнологій також сприяє підвищенню інтересу до тем екології серед молоді та бізнес-спільноти.

Перспективи розвитку екологічної свідомості:

У теперішній час розвиток екологічної свідомості матиме декілька важливих напрямів:

- Інтеграція екологічних цінностей у всі сфери життя: від побутових звичок до стратегічних рішень на рівні держав і корпорацій.

- Підвищення екологічної відповідальності бізнесу: розвиток зеленої економіки, корпоративної екологічної етики, впровадження стандартів ESG (Environmental, Social, Governance).

- Формування нової культури споживання: перехід від культури надмірного споживання до культури раціонального використання ресурсів і мінімізації відходів.

- Розвиток громадянського суспільства: посилення ролі громадських організацій у контролі за дотриманням екологічного законодавства та лобіюванні екологічних реформ.

Особливу увагу в найближчі десятиліття приділятимуть інклюзивному підходу – залученню всіх верств населення до екологічної діяльності, незалежно від віку, рівня освіти чи економічного становища.

Таким чином, екологічна свідомість суспільства є вирішальним фактором забезпечення сталого майбутнього. Екологічна свідомість слугує основою для формування екологічної культури, яка включає глибокі знання про стан навколишнього природного середовища, розвиток екологічного мислення, відповідальне ставлення до природи та її ресурсів, здатність розв'язувати екологічні проблеми і активно брати участь у природоохоронній діяльності [4; 5].

Сучасні тренди демонструють позитивну динаміку зростання екологічної відповідальності серед громадян, бізнесу та урядів. Однак для досягнення реальних змін потрібна системна робота на всіх рівнях: особистісному, локальному, національному та глобальному.

Формування екологічної культури – це тривалий процес, що потребує спільних зусиль, інноваційних підходів та непохитної віри у важливість збереження планети для майбутніх поколінь.

Сьогодні надзвичайно важливо формувати екологічну культуру та усвідомлену відповідальність кожного громадянина. Підвищення рівня екологічної свідомості потребує ефективної екологічної освіти, трансформації мислення та дотримання природоохоронного законодавства. Поточна ситуація вимагає термінового переосмислення взаємодії людини з природою.

1. Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні: матеріали Всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації (3 травня – 13 червня 2022 року). (2022). Одеса: ВД «Гельветика». 504 с

2. Бобровська, Н. В., & Костирко, А. Г. (2016). Екологічна свідомість у використанні природних ресурсів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес. Вип. 249. 37-44. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream>
3. Радей, А. С. (2008). Екологічна свідомість і культура: теоретико-методологічний аспект. Вісник НТУУ «КПІ». Філософія. Психологія. Педагогіка : збірник наукових праць. № 3(24). 74–78. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/8812/1/15.pdf>
4. Вишневська, О. М., & Бобровська, Н. В. (2015). Природно-ресурсна основа розвитку аграрного сектора: теоретичні і практичні аспекти. Миколаїв. 180 с.
5. Андерсон, В. М., Андрєєва, Н. М., Алимов, О. М., та ін. (2011). Сталий розвиток та екологічна безпека суспільства: теорія, методологія, практика. Сімферополь: АРІАЛ. 589 с.

СЕКЦІЯ 3

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНОГО МАЙБУТНЬОГО КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Баран Мар'яна
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут просторового планування та перспективних технологій
Коцина Марта
Стрийський Ліцей «Гімназія імені Андрея Шептицького»

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СОЮЗ І «ЗЕЛЕНА ЕКОНОМІКА»: СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МАЙБУТНЄ

Сучасний світ стикається з викликами та загрозами щодня. Стрімкий технологічний розвиток, високий рівень організації життя, щоденні трансформації та підвищення стандартизації призводять до розривів між різними сферами життя в країні та світі загалом. Новітнє суспільство постійно удосконалює умови для розвитку потужної економіки, сфер впливу, збільшення обсягів виробництва та постійного прибутку. Науковці в сфері медицини, охорони здоров'я розробляють нові препарати та удосконалюють методи лікування. Викладачі та спеціалісти розробляють нові способи ефективного та швидкого навчання нових фахівців. Кожна сфера діяльності країн включає в себе постійний швидкісний темп розвитку, який не можливо загальмувати чи припинити. Суспільство доходить до одного з найвищих рівнів свого існування, тому розшарування його населення стає все більш помітним. Кожна держава прагне подолати соціальну нерівність, вивівши населення на рівний доступ до ресурсів, адже саме це і є однією з причин гальмування та послаблення економіки в державах. Економічне процвітання базується на промисловому, технологічному та соціальному розвитку. Без планомірного зростання цих сфер неможливо досягти економічної стабільності державі. Високотехнологічна промисловість не буде затребувана без споживача, який буде мати ринок збуту продукції. Соціальні проблеми створюють бар'єр для економічного, технічного, навіть ментального розвитку та соціальної стабільності населення. Зокрема, це розшарування було помітно від час світової пандемії COVID-19, коли найбільшу смертність зафіксували в країнах, де частка середнього класу не становила більше половини населення. Саме ця криза вивела на перший план недоліки економічних моделей, які нехтували соціальним добробутом та зважали лише на отримання прибутків.

Основні напрями сталого розвитку країн ЄС базуються на комплексному підході до вирішення стратегічних проблем людства. Сталий розвиток враховує наслідки для теперішніх і майбутніх поколінь у трьох сферах: економічній, екологічній та соціальній. Процвітання цих сфер дасть можливість комплексно реалізувати досягнення змін та підвищити якість життя та закладе основу збалансованого розвитку цивілізацій. Варто зазначити, що від початку людства, люди ніколи не приділяли достатньо уваги навколишньому середовищу. Впродовж промислового перевороту, індустріалізації, екологічна безпека громадян не була складовою розвитку держав. Зазвичай вони нехтували міжнародним стандартам та орієнтувалися лише на швидке отримання прибутку та його збільшення. Саме це призвело до однієї з найбільших катастроф у Європі 26 квітня 1986 року в Україні на Чорнобильській атомній електростанції. Скажені темпи та негуманні експерименти за будь-яку ціну призвели до зміни стану реактора, який спричинив катастрофічні масштаби змін у екології не тільки України, а й Прибалтійських країнах та Європі. Також, варто зазначити, що при швидкому виконанні ненормованих вимог під час процесів індустріалізації, при проектуванні реактора було допущено фатальні помилки та через низьку класифікацію персоналу підприємства не вдалося уникнути катастрофи. Замовчування, нелегітимність, заборона свободи слова, холодна війна з США та репутація Радянського Союзу були вищими, ніж людське життя. Тисячі померлих, поранених людей поклали життя

заради збагачення найвищого прошарку суспільства. Мутації, збої в генетичних кодах людей та тварин, зруйнована флора та фауна також були частиною цього «швидкісного» плану збагачення верхівки. Саме тому, основні тенденції у сфері «зеленої» економіки, як частини сталого розвитку є ефективне використання ресурсів, зменшення викидів вуглецю, розробка новітніх екологічних технологій, створення нових пунктів для переробки сміття та ринків їх збуту, підтримка енергетичної інфраструктури, екологічні транспортні засоби, органічне сільське господарство й базова екологічна освіта. Саме ці цілі розвитку є фундаментом для правил, які мають бути забезпечені у випадках кризових ситуацій пов'язаних з екологічною безпекою населення. Вирішальним гарантом дотримання всіх норм є уряди країн, які фінансують галузь безпеки суспільства. На даному етапі, використовується метод заохочення підтримки впроваджених урядом норм – це різні пільги, додаткові надбавки, державна допомога малому та середньому бізнесу, яка дозволяє уряду контролювати виконання екологічних норм прописаних в законодавстві й впровадження революційних винаходів для зменшення впливу на навколишнє середовище. На даний момент, суспільство, переживши пандемію, підвищило рівень стандартів для уряду так і для виробника. Саме тому багато підприємців почали ставати на рейки екологічності та дотримання загально міжнародних стандартів, зокрема найбільш популярна стратегія – це ESG-принцип для розвитку різних типів виробництв.

ESG- це стандартний та збалансований підхід до організації бізнесу різного типу.

- E (Environment) – забезпечення екологічної безпеки.
- S (Social) – соціальна відповідальність.
- G (Government) – корпоративне управління та контроль за дотриманням вимог.

ESG тісно пов'язані з 17 цілями сталого розвитку ООН, які охоплюють широкий спектр та пов'язують в собі соціально-економічні проблеми, відсутність централізованого нагляду та управління та спрямування країн на досягненні сталого розвитку до 2030.

Концепція «зеленої» політики у рамках сталого розвитку передбачає ідеї багатьох напрямків в економіці, філософії, соціології, дотичних до проблем сталого розвитку. Для реалізації цієї концепції варто виділити такі кроки [1]:

1. Перевага якості та споживчого потенціалу. Цей принцип є базовим елементом «зеленої» економіки, який дозволяє орієнтуватися на споживача та збереження екології.

2. Напрямок у галузі «руху до природи». Він можливість споживання ресурсів екосистеми не руйнуючи її фундаментальні закономірності.

3. Відходи не переважають споживання. Збереження рівномірного розподілу виробів між споживачами дозволить залучити якомога більше людей до раціонального споживання продукції різного плану.

4. Індивідуальність. Збереження природного та початкового стану довкілля, екосистем дозволить якомога менше уникнути розриву природних зв'язків, скорочення кількості тварин та рослин, попередити людей про можливі наслідки їхніх дій та донести людям важливість зберігати довкілля для майбутніх поколінь.

5. Креативність та переміщення. Технологічний розвиток та потенціал – є китами збереження природи, адже саме завдяки цьому зменшиться токсичний вплив на екосистеми.

6. Додаткове джерело досягнення перегрупування компонентів природи.

На даний час ESG стала не просто захмарним планом, а першочерговим завданням при створенні нового підприємства. Клієнти, інвестори, забудовники орієнтуються на підприємства, які відповідально ставляться до екологічної безпеки виробництва та збуту, адже саме від цього і залежить якість продукції та продуктивність праці робітників. Імідж підприємства, також, залежить від екологічності виробництва. Проведення ESG не тільки сприяє розвитку компанії, але і його репутації. Щомісяця ESG Book публікує рейтинг з 100 компаній з найкращими показниками у сфері екології. Щорічно проводяться соціологічні опитування, які безпосередньо впливають на споживачів та інвесторів, які зацікавлені купувати та вкладати кошти у перспективні компанії, які керуються новітніми цінностями. Саме тому підприємства з низькими показниками ESG стикаються з проблемами у галузі продажу, адже лише 10% покупців готові купувати товар від такого роду компаній. Сьогодні суспільство підтримує ідеї екологізації

товарів для відчуття власної безпеки, впевненості за майбутні покоління та навколишнє середовище. Соціальні мережі активно пропагують лише ті товари, які пройшли екологічну експертизу для забезпечення репутації не тільки для себе, але і бізнесу. Маркетингові компанії активно працюють у сфері просування екологічних трендів, де тільки це можливо. Після пережитих катастроф, людство почало усвідомлювати сутність та важливість питання екології, навіть у звичайних побутових речах, і екологічно чистий товар буде найпершим привертати увагу споживачів. Саме через «зелені» тренди сформувалися основні напрями за якими і поширюється «зелена» економіка у сферах бізнесу та соціального життя [1-3]:

1. Впровадження енерго- та ресурсозбережних технологій. Це один із найважливіших інструментів розвитку системи зеленої економіки в країнах, адже саме дозволяє оптимізувати негативний вплив на довкілля та підвищити ефективність використання природних ресурсів. Запровадження сонячних, вітрових, біоенергетичних, LED, сенсорних систем, використання теплових насосів, розробки новітніх інтелектуальних енергетичних систем дозволяють підвищити енергоефективність, не завдаючи руйнівного впливу на навколишнє середовище. Використання екологічно чистих матеріалів, вторинна переробка, мінімізація відходів, оптимізація використання води дають змогу зберегти та надбати ресурси, які напряму залежать від природи.

2. Збільшення інвестицій у сталий розвиток. На даний момент інвестори зацікавлені у розвитку модернових бізнесів, які йдуть в ногу з часом та не порушують міжнародне законодавство, а навпаки стимулюють його розвиток. Саме це дозволить підприємцям залишитися на плаву, співпрацювати з міжнародними партнерами та організаціями, підвищити якість та конкурентоспроможність продукції, збільшувати обсяги інвестицій, розвивати ринок збуту та отримувати фінансову допомогу в разі необхідності. Такі підприємства формують у споживача позитивний «зелений» імідж, який широко популяризується у суспільстві та соціальних мережах.

3. Модернізація технологій. Логістична система підприємництва відіграє велику роль в успішному управлінні, адже саме використання електромобілів, гібридних автомобілів дозволяють не тільки швидше доставляти товари, а й підтримувати «зелені» тренди. Впровадження альтернативних водневих технологій, замість традиційного використання палива, енергоефективні промислові процеси забезпечують дешевшим та безпечнішим методом логістичних зв'язків.

4. Зміна вподобань споживачів. Суспільство остаточно усвідомило важливість створення нових механізмів для забезпечення власної та екологічної безпеки. Тому, сталий розвиток є основою успішного функціонування бізнесу.

5. Постійний тиск та контроль. Стандартизації та посилення контролю над екологічними питаннями призвело до чіткого виконання завдань. Ухвалені нормативно-правові акти зобов'язують підприємства скорочувати викиди вуглекислого газу, зменшення використання пластику, ретельне сортування сміття та контроль на збутом відходів стимулюють ринок впроваджувати «зелені» стандарти у виробництві.

6. Розвиток екологічних послуг. З поширенням ідей сталого розвитку, багато компаній вирішили залучитися підтримкою європейських інвесторів та активно вивчають систему та механізм впровадження у власне виробництво ідей сталого розвитку. Саме тому багато маркетингових, консалтингових компаній пропонують свої послуги для реалізації проектів та співробітництва з європейським бізнесом.

Поряд з «зеленою» економікою набуває популярності циркулярна економіка. Циркуляційна економіка – це замкнута модель, яка передбачає замкнутий цикл використання ресурсів та мінімізацію відходів. Порівнюючи з зеленою економікою цей тип економіки є більш вузьким та не охоплює всі сфери розвитку, такі як енерговідновлення, зниження викидів вуглецю та звісно впровадження зеленої економіки через призму сталого розвитку. Підсумовуючи, циркуляційна економіка є частиною зеленої економіки, яка базується на мінімізації відходів та замкнутій системі виробництва.

Отже, сталий розвиток Європейського Союзу – це міжконтинентальний та один з найпотужніших проривів нашого часу. Політика сталого розвитку дозволяє забезпечити всі

сфери життя в державах у рівноцінному обсязі, зокрема приділяючи достатньо уваги питанням екологічної безпеки, соціального захисту, економічної стабільності та поступового розвитку держави й суспільства. «Зелена» економіка як складова програми сталого розвитку своєю чергою забезпечує перехід до екологічно чистих технологій, розвиток суспільства у сфері охорони довкілля, зміни корпоративних вподобань та врегулювання проблем довкілля та людства. Ця політика не тільки несе у собі розвиток екологічних питань, але й важливий стратегічний аспект для підприємства та бізнесів різного типу, які впроваджуючи ESG мають на меті підвищити конкурентоспроможність власної продукції, підвищити репутацію серед населення, трансформувати та модернізувати обладнання та способи виробництва й отримати фінансування і допомогу світових партнерів. Законодавче врегулювання цього питання стимулює бізнес дотримуватись стандартизованих правил та контролювати діяльність підприємств. Таким чином, «зелена» політика не лише спрямована на трансформацію людської та державної свідомості у сфері екології, а й формує нову бізнес-модель, де сталий розвиток є фундаментом успішного функціонування на міжнародній арені.

1. Кузнецова К. О., Ченуша О. С., Маяцький М. В. (2024). Тренди «зеленої» економіки в контексті сталого розвитку та їх вплив на міжнародні ринки. *Бізнес-інформ*, №10, 29-34.

2. Орловська Ю.В. , Чала В.С. , Глущенко А.В. (2023). *Політика ЄС щодо зеленої економіки та інновацій*, Дніпро: ДНУ.

3. Глущенко А. (2025). Інституційне забезпечення розвитку «зеленої» економіки: досвід країн ЄС. *Сталий розвиток економіки*, №1 (52), 167-172.

Баран Мар'яна
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут просторового планування та перспективних технологій
Мокрицька Христина
Національний університет «Одеська юридична академія»

ЮРИДИЧНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ЗЕЛЕНОГО МАЙБУТНЬОГО КРАЇНИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

На початку двадцять першого століття країни світу, включаючи Європейський Союз, зіткнулися з багатьма екологічними проблемами, які необхідно вирішувати для сприяння сталому розвитку та захисту навколишнього середовища. Зелена економіка, заснована на принципах екологічної стійкості, енергоефективності та відповідного використання ресурсів, стала першим напрямком для досягнення сталого майбутнього.

Для реалізації переходу до зеленої економіки необхідна правова основа, що регулює діяльність різних секторів економіки з урахуванням екологічних вимог та забезпечує відповідальність за їх порушення [1]. Правове регулювання екології економіки в країнах ЄС охоплює широкий спектр питань, включаючи:

- **Захист атмосферного повітря:** встановлення нормативів викидів забруднюючих речовин в атмосферу, регулювання діяльності промислових підприємств та транспортних засобів, сприяння використанню відновлюваних джерел енергії.

- **Охорона водних ресурсів:** встановлення нормативів скидання забруднених стічних вод, регулювання використання водних ресурсів, забезпечення доступу до чистої питної води.

- **Управління відходами:** встановлення вимог до збирання, переробки та утилізації відходів, сприяння зменшенню утворення відходів.

- **Охорона обґрунтувань:** запобігання ерозії та забрудненню обґрунтувань, відновлення деградованих земель.

- **Захист біорізноманіття:** збереження природних екосистем, охорона видів рослин та тварин, регулювання мисливства та рибальства.

- **Енергоефективність:** встановлення вимог до енергоефективності будівель, побутових приладів та промислового обладнання, сприяння використанню відновлюваних джерел енергії.

Важливим інструментом правового регулювання екологізації економіки є екологічна оцінка, яка оцінює вплив на довкілля запланованої діяльності та приймає рішення на основі результатів цієї оцінки.

Правове регулювання екології економіки в країнах ЄС створено на різних рівнях:

- **Міжнародний рівень:** міжнародні договори та конвенції, такі як Паризька угода про зміну клімату, Конвенція про біологічне різноманіття, Орхуська конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступу до правосуддя з питань, що стосуються довкілля.

- **Рівень ЄС:** директиви та регламенти ЄС, які встановлюють загальні вимоги до екології економіки та транспонуються в національне законодавство країн-членів.

- **Національний рівень:** закони та підзаконні акти країн-членів ЄС, які конкретизують вимоги директив та регламентів ЄС з урахуванням національних особливостей.

Формування зеленого майбутнього країни Європейського Союзу вимагає подальшого удосконалення правового регулювання економіки, зокрема:

- Встановлення більш амбітних цілей щодо скорочення викидів парникових газів та забруднення довкілля.

- Сприяння інноваціям та розвиток зелених технологій.

- Забезпечення справедливого переходу до зеленої економіки, який враховує інтереси всіх зацікавлених сторін.

- Посилення контролю за дотриманням екологічного законодавства та відповідальність за його порушення.

- Забезпечення доступу громадськості до інформації про стан довкілля та участь у процесі прийняття екологічно важливих рішень.

Якщо зацентрувати увагу на Україні, як країні з перспективою вступу у Європейський союз, то можна стверджувати, що держава [1]:

- має продовжувати узгоджувати своє екологічне законодавство із існуючим у державі законодавством, включаючи Директиви ЄС про якість повітря, якість води та управління відходами.

- повинна інвестувати кошти у відновлювані джерела енергії та підвищити енергоефективність, щоб зменшити свою залежність від викопного палива та досягти цілої кліматичної нейтральності.

- повинна сприяти сталому сільському господарству, включаючи органічне землеробство, скорочення використання пестицидів та добрив і покращення здоров'я ґрунтувань.

- повинна інвестувати в чистий транспорт, включаючи електромобілі, громадський транспорт та інфраструктуру для велосипедистів.

- має підтримувати інновації та розвиток зелених технологій і стимулювати підприємство, яке сприяє сталому розвитку.

Для формування зеленого майбутнього України як країни ЄС забезпечені чіткі та вимірювані юридичні норми. Україна має гармонізувати своє екологічне законодавство із законодавством ЄС через:

- Транспозицію директиви ЄС. Україна має транспонувати директиви ЄС у національне законодавство.

- Впровадження регламентів ЄС. Україна має запроваджувати регламенти ЄС, які мають пряму дію.

- Позицію співпраці з ЄС. Україна має співпрацювати з ЄС для обміну передовим досвідом.

Отже, для забезпечення сталого розвитку має вирішальне значення ефективне правове регулювання. Ефективне правове регулювання екологізації економіки є необхідною умовою для формування зеленого майбутнього країни Європейського Союзу та забезпечення сталого розвитку. Міждержавне екологічне співробітництво тут відіграє велику роль.

1. *Європейський зелений курс: можливості та загрози для України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dixigroup.org/storage/files/2020-05-26/european-green-dealwebfinal.pdf> (дата звернення 28.03.2025).*

Бачинська Олена, Долинюк Микола
Навчально-реабілітаційний заклад вищої освіти
«Кам'янець-Подільський державний інститут»

ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НА ЗАСАДАХ КОРПОРАТИВНОЇ СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Сучасний етап розвитку світової економіки позначений зростаючим усвідомленням планетарних меж та нагальної потреби у переході до парадигми сталого розвитку. Глобальні виклики, зокрема, антропогенна зміна клімату, катастрофічне вичерпання природних ресурсів, поглиблення соціальної нерівності, зростання екологічних ризиків та пандемічні загрози, вимагають фундаментальних змін у підходах до ведення бізнесу та функціонування економічних систем. У цьому контексті корпоративна соціальна відповідальність (КСВ) виступає не просто етичним імперативом, а й ключовим інструментом забезпечення сталого розвитку на мікро- та макрорівнях.

КСВ являє собою багаторівневу концепцію, що відображає добровільну інтеграцію соціальних та екологічних аспектів у стратегічну та операційну діяльність організації, а також у її взаємодію з широким колом зацікавлених сторін. Цей підхід виходить далеко за межі формального дотримання законодавчих норм та передбачає активну відповідальність компаній перед суспільством, своїми працівниками, споживачами, інвесторами, місцевими громадами та навколишнім природним середовищем [1].

Забезпечення сталого розвитку на засадах КСВ є складним та багатогранним процесом, що передбачає органічну інтеграцію трьох ключових складових: економічної, соціальної та екологічної. Концепція «потрійного критерію», вперше сформульована Елкінгтоном [2], стала каталізатором для розуміння сталого розвитку як балансу між цими трьома вимірами діяльності компанії.

Економічний аспект КСВ у контексті сталого розвитку не обмежується максимізацією прибутку для акціонерів у короткостроковій перспективі. Він включає відповідальне та ефективне управління всіма видами ресурсів (фінансовими, матеріальними, людськими), активне впровадження інноваційних та екологічно чистих технологій, підтримку сталого місцевого економічного розвитку через створення робочих місць, закупівлю місцевої продукції та сплату податків, дотримання принципів чесної конкуренції та забезпечення прозорості ведення бізнесу через відкриту звітність та антикорупційні заходи. Компанії, які послідовно впроваджують принципи економічної КСВ, не лише забезпечують власну довгострокову фінансову стійкість, але й сприяють загальному економічному зростанню, підвищенню продуктивності та створенню якісних робочих місць у суспільстві.

Соціальний аспект КСВ охоплює широкий спектр питань, пов'язаних із людським капіталом та соціальною справедливістю. До них належать забезпечення гідних та безпечних умов праці, охорона здоров'я та добробут працівників, інвестиції в професійний розвиток та навчання персоналу, підтримка місцевих громад через благодійні програми, волонтерство та соціальні інвестиції, безумовне дотримання прав людини у всіх сферах діяльності компанії, забезпечення гендерної рівності та створення інклюзивного робочого середовища, а також

активна боротьба з усіма формами дискримінації. Соціально відповідальні компанії розглядають своїх працівників та громади не як зовнішні фактори, а як ключових стейкхолдерів, інвестиції в яких приносять довгострокові вигоди як для бізнесу, так і для суспільства в цілому, сприяючи соціальній згуртованості та зменшенню соціальної напруги.

Екологічний аспект КСВ є критично важливим у контексті сталого розвитку, оскільки спрямований на мінімізацію негативного впливу господарської діяльності компанії на навколишнє природне середовище. Це включає раціональне використання природних ресурсів (води, енергії, сировини), значне зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу, воду та ґрунт, ефективне управління відходами та їх переробку відповідно до принципів циркулярної економіки, впровадження екологічно чистих виробничих процесів та технологій, збереження біологічного різноманіття та підтримку природоохоронних ініціатив. Екологічно відповідальні компанії не лише зменшують свій екологічний слід та мінімізують екологічні ризики, але й демонструють лідерство у переході до ресурсоефективної економіки, сприяючи збереженню планети для майбутніх поколінь. У своїх працях Портер та Крамер [3] обґрунтували стратегічна інтеграція КСВ у діяльність компанії, що може стати джерелом значних конкурентних переваг.

Впровадження принципів КСВ є невід'ємною умовою для досягнення сталого розвитку не лише на рівні окремих підприємств, але й для забезпечення довгострокового та інклюзивного зростання національної та глобальної економіки. Корпоративна соціальна відповідальність виступає потужним каталізатором позитивних змін, сприяючи:

- підвищенню довгострокової конкурентоздатності компаній (інтеграція екологічних та соціальних аспектів у бізнес-модель сприяє оптимізації витрат, підвищенню ефективності використання ресурсів, стимулює інновації та покращує репутацію компанії, залучаючи етично свідомих інвесторів та споживачів);
- значному зменшенню операційних та стратегічних ризиків (активне управління екологічними та соціальними ризиками допомагає компаніям уникнути значних фінансових втрат, штрафів, судових позовів та втрати ліцензій);
- ефективному залученню висококваліфікованих працівників (компанії з високим рівнем соціальної відповідальності сприймаються як більш привабливі роботодавці, що полегшує залучення фахівців та сприяє підвищенню їхньої продуктивності);
- покращенню та зміцненню відносин зі стейкхолдерами (відкритий та прозорий діалог, а також активна співпраця з працівниками, споживачами, інвесторами, місцевими громадами, урядовими органами та громадськими організаціями сприяє зміцненню довіри та налагодженню партнерських відносин);
- стимулюванню інновацій та технологічного розвитку (прагнення до екологічної та соціальної відповідальності спонукає компанії до пошуку та впровадження нових більш екологічно чистих, ресурсоефективних та соціально орієнтованих технологій).

Попри значний та зростаючий потенціал КСВ у забезпеченні сталого розвитку, на практиці існує низка значних викликів та перешкод, що уповільнюють її широке поширення та ефективне впровадження. До ключових з них належать: недостатнє усвідомлення довгострокових переваг КСВ серед частини бізнес-лідерів, особливо у малому та середньому бізнесі; відсутність уніфікованих та чітких стандартів, методологій оцінки та верифікації КСВ-діяльності; складнощі у вимірюванні прямого впливу КСВ на фінансові результати компанії; недостатня державна підтримка та регуляторні стимули для соціально відповідального бізнесу.

Для ефективного подолання цих викликів та створення сприятливого середовища для інтеграції принципів КСВ у бізнес необхідно вжити комплексних заходів на різних рівнях, а саме:

- підвищення рівня обізнаності та поширення знань про переваги КСВ та її ключову роль у досягненні цілей сталого розвитку серед представників бізнесу, органів державної влади, громадських організацій та широкої громадськості;
- розробку та впровадження чітких, уніфікованих та практично орієнтованих стандартів, методологічних рекомендацій та інструментів оцінки та звітності щодо КСВ-

діяльності компаній. У цьому контексті важливим є врахування міжнародних стандартів, таких як ISO 26000:2010 «Настанови щодо соціальної відповідальності» [4], які надають комплексне керівництво з питань КСВ;

- забезпечення ефективної державної підтримки та запровадження дієвих регуляторних стимулів для соціально відповідального бізнесу, включаючи податкові пільги, державні закупівлі у соціально відповідальних компаній та підтримку інвестицій у екологічно чисті технології;

- активне заохочення відкритого діалогу та налагодження ефективної співпраці між бізнесом, урядом, громадськими організаціями, науковими установами та іншими зацікавленими сторонами для спільного розроблення та впровадження ініціатив у сфері КСВ;

- впровадження прозорих та надійних систем звітності та незалежного аудиту щодо КСВ-діяльності компаній, що дозволить забезпечити достовірність інформації та підвищити довіру з боку зацікавлених сторін. Важливим є також врахування стратегічних документів національного рівня, таких як Національна стратегія сталого розвитку «Україна-2030» [5], яка визначає пріоритетні напрями розвитку країни.

В умовах гострої соціальної кризи, спричиненої війною та її наслідками – руйнуванням інфраструктури, безробіттям і втратою засобів існування для багатьох українців – нагальною є необхідність публічного обговорення плану відновлення країни за участі всіх верств суспільства. Соціальна відповідальність влади вимагає відкритості, публічності, підзвітності та врахування інтересів усіх громадян України. Лише залучення широкого кола людей та використання колективного інтелекту дозволить знайти швидкі й ефективні рішення, які відповідатимуть очікуванням більшості. Відкрита взаємодія різних суспільних груп сприяє зміцненню соціального капіталу та зростанню цінності соціальних зв'язків. Міжнародний досвід свідчить, що розвиток соціальної відповідальності на принципах відкритості та залучення суспільства сприяє підвищенню конкурентоздатності як окремих компаній, так і національної економіки в цілому, завдяки розвитку соціальних ініціатив, детінізації бізнесу, зниженню корупції, подоланню соціальної ізоляції та конфліктності, а також розвитку нових форм партнерства між суспільством, бізнесом і державою.

Отже, КСВ є невід'ємною складовою успішного та сталого розвитку сучасних підприємств та національних економік. Її послідовна інтеграція в усі аспекти бізнес-діяльності сприяє не лише підвищенню конкурентоздатності та довгостроковій стійкості бізнесу, але й забезпечує позитивний вплив на суспільство та навколишнє середовище. Подальший розвиток, поширення та вдосконалення практик КСВ є ключовою умовою для побудови більш справедливого, екологічно сталого та економічно процвітаючого майбутнього кожної країни.

1. Carroll, A. B. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, 34(4), 39-48.

2. Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone Publishing.

3. Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2006). Strategy & society: The link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard Business Review*, 84(12), 78-92.

4. ISO. (2010). *ISO 26000:2010, Guidance on social responsibility*. URL: <https://www.iso.org/standard/42546.html>

5. Кабінет Міністрів України. (2017). *Національна стратегія сталого розвитку «Україна-2030»* [National Sustainable Development Strategy «Ukraine-2030»]. URL: <https://www.google.com/search?q=https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/683-2017-%25D1%2580>

ВПРОВАДЖЕННЯ ESG-ПРИНЦИПІВ В ІТ-СЕКТОРІ: СИНЕРГІЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Застосування ESG-принципів в ІТ-компаніях не обмежується лише внутрішньою політикою – воно впливає і на екосистему постачальників, користувачів, партнерів та місцевих громад. Сучасна практика передбачає інтеграцію принципів сталого розвитку у весь життєвий цикл цифрових продуктів і послуг: від етапу розробки програмного забезпечення до його використання і утилізації апаратного забезпечення. Зокрема, «зелений» ІТ-аутсорсинг передбачає обрання постачальників, які дотримуються етичних та екологічних норм, що сприяє загальному підвищенню стандартів у глобальному ланцюгу вартості.

Окремої уваги заслуговує питання цифрової енергоефективності, особливо у контексті стрімкого зростання обсягів даних і активного використання хмарних технологій. ІТ-сектор є одним з найбільших споживачів енергії у світі, і впровадження енергозберігаючих технологій, оптимізація дата-центрів, перехід на відновлювані джерела енергії стають обов'язковими умовами для зниження вуглецевого сліду. Такі інструменти як еко-дизайн ІТ-інфраструктури, віртуалізація серверів, інтелектуальні системи управління енергією дозволяють знизити споживання електроенергії, зменшити теплові викиди та покращити екологічний баланс в регіонах, де розташовані технологічні кластери.

З іншого боку, принципи соціальної відповідальності в ІТ-сфері охоплюють такі напрями, як забезпечення рівного доступу до цифрових послуг, боротьба з цифровою нерівністю, створення інклюзивного середовища праці, зокрема для жінок, людей з інвалідністю та представників різних культур [1]. Відповідальні ІТ-компанії активно впроваджують корпоративні політики рівності, підтримують ініціативи з розвитку цифрової грамотності, беруть участь у проєктах «цифрового менторства» та партнерства з навчальними закладами. Усі ці заходи не лише формують позитивний імідж компанії, але й посилюють її соціальний капітал і довіру з боку громадськості.

Ще одним стратегічно важливим аспектом ESG є корпоративне управління. Успішні ІТ-компанії дедалі частіше формують спеціалізовані підрозділи з питань сталого розвитку, призначають відповідальних за ESG-індикатори у складі топменеджменту та впроваджують регулярну нефінансову звітність [2]. Прозорість у питаннях впливу на довкілля, соціального ефекту та внутрішніх управлінських практик дозволяє забезпечити довгострокову лояльність інвесторів, зменшує ризики репутаційних втрат та забезпечує конкурентні переваги на глобальних ринках.

Технології відіграють фундаментальну роль у забезпеченні ефективного моніторингу та вимірювання ESG-показників, слугуючи ключовим інструментом для реалізації концепції прозорого та відповідального корпоративного управління. Використання інструментів Big Data дозволяє обробляти великі обсяги структурованої та неструктурованої інформації, отриманої з різних джерел – сенсорів, корпоративних баз даних, онлайн-платформ, соціальних мереж – що забезпечує комплексне охоплення екологічних, соціальних та управлінських аспектів діяльності компанії. Застосування аналітики даних на базі штучного інтелекту (AI) сприяє ідентифікації трендів, аномалій і кореляцій, які можуть свідчити про потенційні порушення стандартів ESG або потребу в оперативному втручанні з боку менеджменту.

Технології блокчейн, завдяки своїй децентралізованій та незмінній природі, забезпечують прозорість і достовірність даних, зокрема у сфері контролю етичності ланцюгів постачання – від простежуваності походження сировини до перевірки відповідності контрагентів соціальним та екологічним стандартам. Це особливо важливо для ІТ-компаній, які здійснюють глобальне постачання компонентів або користуються послугами зовнішніх підрядників.

Також все більшої популярності набуває практика створення інтерактивних ESG-дашбордів – візуалізованих панелей управління, що в режимі реального часу відображають критичні метрики: рівень викидів CO₂, споживання енергії, гендерний баланс у команді,

участь у соціальних програмах тощо [3]. Такі дашборди не лише забезпечують внутрішній контроль, а й сприяють зовнішній звітності відповідно до міжнародних стандартів GRI, SASB або TCFD.

Автоматизовані системи звітності, інтегровані у внутрішню IT-інфраструктуру компаній, дозволяють генерувати аналітичні звіти, прогнозувати екологічні та соціальні ризики, а також здійснювати сценарний аналіз для формування стратегічних планів сталого розвитку. Це значною мірою підвищує точність управлінських рішень, знижує ризики репутаційних втрат, сприяє дотриманню регуляторних вимог та створює додаткову вартість для інвесторів, які все частіше орієнтуються на ESG-показники при ухваленні рішень щодо фінансування. Таким чином, цифрові технології трансформують ESG-управління з формального інструмента відповідності у потужний механізм аналітичної підтримки сталих стратегій.

Таким чином, цифрові технології трансформують ESG-управління з формального інструмента відповідності у потужний механізм аналітичної підтримки сталих стратегій.

Прикладом ефективного застосування таких інструментів на міжнародному рівні є компанія Microsoft, яка розробила власну платформу Microsoft Cloud for Sustainability [4]. Ця хмарна система дозволяє автоматично збирати та аналізувати дані про викиди парникових газів, споживання ресурсів, енергетичну ефективність і звітувати згідно зі стандартами GHG Protocol. Завдяки цьому компанія зобов'язалася до 2030 року стати вуглецево-нейтральною, а до 2050 – вилучити всі викиди, які коли-небудь спричинила за час свого існування.

Ще одним прикладом є IBM, яка інтегрувала блокчейн у свою платформу Supply Chain Intelligence, що забезпечує повну прозорість походження сировини та відповідність постачальників екологічним і соціальним стандартам. Цей підхід особливо актуальний у випадках, коли продукція IT-компаній включає рідкоземельні метали або електроніку, вироблену в країнах з підвищеними соціальними ризиками.

В Україні прикладом інноваційного використання ESG-інструментів є діяльність компанії SoftServe, яка не лише активно впроваджує внутрішні політики сталого розвитку, але й бере участь у розробці цифрових рішень для моніторингу екологічних параметрів [5]. Компанія реалізувала ініціативу із встановлення датчиків якості повітря в містах України у співпраці з громадськими організаціями, а зібрані дані передаються до відкритих онлайн-платформ. Це сприяє не лише екологічній просвіті населення, але й формуванню нових інструментів для екологічного урядування.

ESG-підхід також відкриває нові горизонти для IT-інновацій. Зростає попит на цифрові продукти, які мають позитивний екологічний або соціальний вплив, зокрема: мобільні додатки для енергозбереження, платформи для віддаленої освіти, сервіси для управління відходами або моніторингу стану довкілля. Таким чином, ESG стає не лише стандартом відповідального ведення бізнесу, а й каталізатором інноваційної діяльності.

Впровадження ESG-принципів в IT-секторі є не просто трендом, а об'єктивною необхідністю в умовах глобальних викликів сталого розвитку. IT-компанії мають потенціал бути лідерами трансформації, поєднуючи технологічні інновації з високими стандартами екологічної відповідальності, соціальної інклюзії та ефективного корпоративного управління. Інтеграція ESG дозволяє не лише знизити негативний вплив на довкілля та посилити соціальну відповідальність, але й формує довгострокову стійкість і конкурентоспроможність компанії. У подальшому перспективи розвитку IT-галузі будуть тісно пов'язані з її здатністю адаптуватися до нових вимог прозорості, сталості та довіри.

1. Корчагіна, Л. (2023). Науково-методичні засади побудови механізму управління ESG-активністю на підприємстві. *Економіка та суспільство*, (52). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-71>

2. Приказюк, Н. (2024). Впровадження принципів esg небанківськими фінансовими інститутами: тенденції та перспективи. *Економіка та суспільство*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-39>

3. Sarkar, P. K., Nayak, P. (2023). Trends in ESG: an insurance perspective. Eur. Chem. Bull. 12 (Special Issue 1, Part-B), 2474-2481. DOI: 10.31838/ecb/2023.12.s1-B.249
4. Microsoft Cloud for Sustainability. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/sustainability/cloud>
5. Екологічне, соціальне та корпоративне управління (ESG) та послуги зі сталого розвитку. URL: <https://www.softserveinc.com/uk-ua/services/esg-and-sustainability-services>

Павло Гориславець, Сергій Кожан
Національний університет «Львівська політехніка»

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПІДХОДІВ ESG НА СТРАХОВОМУ РИНКУ

Імплементація принципів сталого розвитку та врахування ESG-ризиків перебуває у фокусі уваги вітчизняних науковців [1-3], зокрема Н.Приказюк, Р.Опальчук, Л.Бондаренко, І.Скоропад та інших, які досліджують проблеми та перспективи впровадження ESG-принципів у діяльність страхових компаній з урахуванням глобальних трендів і місцевих особливостей.

За результатами їхніх досліджень встановлено [1], що принципи ESG можуть застосовуватись на різних етапах страхового процесу: при розробці або вдосконаленні страхових продуктів; на етапах ціноутворення; при консультуванні клієнтів щодо ризиків; у процесі врегулювання претензій; а також у системах контролю капіталу та ризиків.

Автори зазначають як переваги, так і виклики впровадження ESG-практик у страховому бізнесі [2]. Серед переваг – відповідність сучасним світовим трендам, підвищення прозорості та зрозумілості діяльності компаній, зростання довіри з боку інвесторів, покращення екологічних та соціальних показників. Серед викликів – економічні проблеми і виклики, політична нестабільність, а також обмежена готовність і ресурсна спроможність деяких страховиків до впровадження нових підходів.

Згідно з дослідженнями зарубіжних науковців, зокрема [4], критерії ESG (екологічні, соціальні та управлінські) набувають дедалі більшого значення в усіх сферах економіки, зокрема і у сфері страхування. Імплементація принципів сталого розвитку, визначених ООН та іншими міжнародними організаціями, підтверджує актуальність цієї теми для страхового ринку. Діяльність страхових компаній, яка пов'язана як із наданням страхового захисту економіці, так і з виконанням функції інституційного інвестування, підкреслює важливість інтеграції підходів ESG у страхову практику. Все більше страхових компаній у світі, зокрема й в Україні, трансформують свої стратегії з урахуванням принципів сталого розвитку. Вони моделюють та кількісно оцінюють вплив ESG-факторів, зокрема кліматичних змін, у процесах стрес-тестування. Провідні страховики вже здійснюють страхування екологічних ризиків, враховують зміни клімату в андеррайтингових стратегіях, переспрямовують капітал у «зелені активи» та адаптують політику корпоративного управління відповідно до принципів ESG. Вчені констатують зростаюче значення ESG у страхуванні, важливу роль міжнародних стандартів і регуляторів, необхідність врахування фінансових характеристик як чинників ESG-усвідомленості.

Оскільки впровадження ESG-підходів пов'язане з фінансовими витратами та управлінськими рішеннями, що впливають на фінансові потоки компаній, постає логічне завдання: оцінити взаємозв'язок між результатами діяльності страховиків та рівнем їхньої обізнаності і реалізації ESG-принципів. У дослідженні [4] автори дослідили модель такого взаємозв'язку. Зокрема, було встановлено позитивну кореляцію між впровадженням ESG-факторів і фінансовими характеристиками страховиків (прибутковістю, масштабами діяльності та рівнем платоспроможності). Також доведено зворотний зв'язок: найбільш прибуткові та системно важливі страхові компанії першими імплементують ESG-принципи і формують відповідні політики. Водночас слід враховувати, що подібні результати можуть відрізнятися залежно від регіону чи

країни, проте в середньостроковій перспективі їх можна розглядати як універсальну тенденцію для глобального страхового ринку.

Нові технології, які підтримують цілі Net Zero та ESG названі одним із головних технологічних трендів 2024 року, які вплинуть на ефективність компаній [5]. Стійкі технології допомагають компаніям управляти своїми процесами відповідально, що дає їм перевагу на ринку в довгостроковій перспективі. Технології, які підтримують принципи ESG, стають важливою частиною стратегії компаній після цифровізації. Вони не тільки відповідають вимогам, а й підвищують цінність компанії. Наприклад, важливо правильно управляти та звітувати про дані, пов'язані з ESG, зокрема викидами вуглецю, щоб досягти цілей кліматичної нейтральності. Відділи закупівель будуть брати на себе більше стратегічних завдань, зокрема через нові закони щодо перевірки ланцюгів поставок. Впровадження циркулярних технологій також допомагає покращити репутацію компанії та зробити її пропозицію більш привабливою для споживачів.

У таблиці на основі [8] систематизовано сфери застосування та заходи для імплементації Принципів сталого страхування (PSI).

Сфери застосування та заходи для імплементації Принципів сталого страхування (PSI).

Принцип PSI	Сфера застосування	Основні дії / заходи
1. Інтеграція ESG у прийняття рішень	Стратегія компанії	Формування ESG-стратегії на рівні керівництва; включення ESG у HR, навчання та мотивацію персоналу
	Управління ризиками та андеррайтинг	Виявлення та оцінка ESG-ризиків у портфелі; інтеграція ESG у процеси андеррайтингу та оцінки капіталу
	Продукти та послуги	Розробка ESG-орієнтованих продуктів; підтримка освітніх програм з ESG
	Урегулювання збитків	Швидке та справедливе обслуговування клієнтів; включення ESG у процеси ремонту та заміни
	Продажі та маркетинг	Навчання персоналу ESG-питанням; прозорість у представленні продуктів
	Інвестування	Врахування ESG при інвестуванні страхових резервів; впровадження принципів відповідального інвестування
2. Співпраця з клієнтами та партнерами	Клієнти (страхувальники) та постачальники	Обговорення переваг ESG; надання інструментів для управління ESG; інтеграція ESG у тендерні процеси
	Інші суб'єкти	Популяризація принципів; включення ESG до професійної освіти та етики
3. Співпраця з урядом та зацікавленими сторонами	Держава регулятори та	Підтримка політик та регуляцій щодо ESG; партнерство, корпоративна соціальна відповідальність бізнесу
	Інші стейкхолдери	Співпраця з ЗВО, ЗМІ та асоціаціями для просування ESG та обміну досвідом
4. Підзвітність і прозорість	Звітування	Вимірювання ESG-прогресу та публічне розкриття інформації; участь у системах звітності; рейтингування

Окремі страхові компанії, які працюють в Україні, вже розпочинають консультування бізнесу щодо впровадження ESG-стратегій [6]. Зокрема, компанія UNIQA у 2024 році запустила сервіс для корпоративних клієнтів, орієнтований на малі та середні підприємства, в контексті забезпечення сталого розвитку. Усвідомлюючи, що зміна клімату є вже не загрозою, а реальністю, з якою стикається суспільство, необхідно формувати готовність до зростаючих ризиків, пов'язаних зі стихійними лихами. Наприклад, у 2023 році глобальні збитки від стихійних лих сягнули 200 мільярдів євро. Прогнозується, що ключові ризики у майбутньому

будуть прямо або опосередковано пов'язані саме зі змінами клімату. У відповідь на ці виклики, UNIQA розробила сервіс Business Solution, який забезпечує комплексну оцінку ризиків та вразливості малого і середнього бізнесу, а також надає рекомендації щодо пом'якшення впливу змін клімату. Попит на подібні сервіси зумовлений не лише реальними кліматичними загрозами, а й змінами у законодавстві, зокрема в межах Європейського Союзу. Відповідно зростає потреба уніфікації управлінських систем, здатних збирати, аналізувати та використовувати дані для ефективного управління кліматичними ризиками. Крім того, виникає потреба у розробці нових моделей діяльності страхових компаній, зокрема у сфері перестрахування, щоб краще відповідати на виклики сталого розвитку.

Національний банк України, як регулятор страхового ринку, не може залишатися осторонь процесів, пов'язаних із впровадженням принципів ESG на страховому ринку. З цією метою НБУ у квітні 2025 року представив «Білу книги» щодо управління екологічними, соціальними та управлінськими ризиками у фінансово-страховому секторі. Цей документ слугує дорожньою картою для впровадження ESG-принципів у діяльність фінансових установ, а також є основою для узгодження підходів до оцінювання та моніторингу відповідної діяльності. Основний акцент у документі зроблено на запобіганні негативному впливу ESG-факторів на сталий розвиток окремих фінансових інститутів та страхового ринку загалом. ESG-ризиків розглядаються в контексті їх можливого впливу на: фінансові потоки, репутацію компаній, взаємовідносини з контрагентами, інвестиційну діяльність страховиків [7]. Окремі розділи документа також передбачають перспективні вимоги до діяльності органів управління, розвиток системи комплаєнсу, а також удосконалення корпоративного управління з урахуванням ESG-підходів. Пропонуються методики формування, аналізу та поширення інформації, узгоджені з практиками Європейського Союзу, зокрема в контексті Європейського зеленого курсу, орієнтованого на досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року.

Отже, імплементація ESG-підходів у страховому секторі стає не лише глобальним трендом, а й необхідністю для адаптації до сучасних викликів – як економічних, так і кліматичних. Врахування екологічних, соціальних та управлінських аспектів дозволяє страховим компаніям не тільки зменшувати ризики, але й посилювати довіру клієнтів, інвесторів і партнерів. ESG-фактори дедалі активніше інтегруються в усі етапи страхового процесу – від розробки страхових продуктів до інвестування тимчасово вільних коштів страхових резервів. Незважаючи на виклики та загрози, українські страховики вже демонструють перші кроки до сталого розвитку, розробляючи нові сервіси та стратегії. Підтримка з боку регулятора, зокрема НБУ, а також законодавчі ініціативи ЄС створюють додаткові стимули для трансформації. У довгостроковій перспективі ESG стане ключовим чинником успішності страхової компанії на ринку, адже йдеться не лише про відповідність вимогам, а й про формування нової культури відповідального ведення бізнесу.

1. Приказюк, Н. (2024). ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ESG НЕБАНКІВСЬКИМИ ФІНАНСОВИМИ ІНСТИТУТАМИ: ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ. *Економіка та суспільство*, (61). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-39>

2. Опальчук, Р., Чорновол, А., & Поплюйко, Я. (2025). ІНТЕГРАЦІЯ ESG-ПРИНЦИПІВ У ДІЯЛЬНІСТЬ УКРАЇНСЬКИХ СТРАХОВИХ КОМПАНІЙ: ГЛОБАЛЬНІ ТРЕНДИ ТА МІСЦЕВІ ОСОБЛИВОСТІ. *Економіка та суспільство*, (72). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-113>

3. Бондаренко, Л., Скоронад, І. (2024) СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ESG-АКТИВНОСТЕЙ КОМПАНІЙ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ. *Економіка та суспільство*, (66). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-62>.

4. Brogi, M., Cappiello, A., Lagasio, V., & Santoboni, F. (2022). Determinants of insurance companies' environmental, social, and governance awareness. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(5), 1357–1369. <https://doi.org/10.1002/csr.2274>

5. Forinsurer. (2023, 24 листопада). Головні технологічні тренди 2024 року, які вплинуть на ефективність компаній. *Forinsurer*. <https://forinsurer.com/news/23/11/24/43278>

6. Forinsurer. (2024, 9 липня). UNIQA запустила для корпоративних клієнтів ESG рішення щодо сталого розвитку. Forinsurer. <https://forinsurer.com/news/24/07/09/43995>

7. Forinsurer. (2025, 29 квітня). НБУ представив проєкт управління ESG ризиками у фінансово-страховому секторі України. Forinsurer. <https://forinsurer.com/news/25/04/29/44831>

8. United Nations Environment Programme Finance Initiative. (2012). Principles for Sustainable Insurance (PSI). <https://www.unepfi.org/psi/wp-content/uploads/2012/06/PSI-document.pdf>

Дегтяр Владислав, Загвойська Людмила
Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ІТ-КОМПАНІЯХ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЗЕЛЕНОГО МАЙБУТНЬОГО: ДОСВІД КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДЛЯ УКРАЇНИ

Європейський Союз визначив цифрову та екологічну трансформації як взаємопов'язані «подвійні виклики», які є однаково критичними для майбутнього Європи [1]. Ініціатива «Європейський зелений курс» (2019) ставить за мету досягти кліматичної нейтральності економіки ЄС до 2050 року. Для реалізації цих цілей необхідно задіяти цифрові технології у всіх секторах, адже вони стали невід'ємним інструментом прискорення сталого розвитку. Зокрема, сучасні ІТ-рішення дозволяють замінити енергоємні процеси більш екологічними альтернативами: наприклад, проводити відеоконференції замість далеких відряджень, відстежувати споживання енергії в будинках за допомогою смарт-лічильників, оптимізувати сільське господарство через цифрові платформи. Цифровізація розглядається не лише як підтримка, але і як каталізатор «зеленої» трансформації – від штучного інтелекту, що оптимізує споживання енергії, до хмарних рішень, які зменшують кількість відходів.

Водночас ІТ-компанії усвідомлюють, що власна цифрова інфраструктура теж повинна бути екологічно ефективною. Сьогодні на цифрові технології припадає близько 8–10% споживання енергії та 2–4% глобальних викидів парникових газів, тому галузь впроваджує заходи для зменшення свого впливу (приміром, подовження строку служби пристроїв: лише +1 рік життя кожного смартфона може заощадити до 2030 року ~2,1 млн тонн CO₂, що еквівалентно зменшенню кількості автомобілів на 1 млн). Однією з цілей ЄС є забезпечення кліматичної нейтральності та енергоефективності великих дата-центрів до 2030 року. Для цього впроваджуються екоінновації, як-от використання відновлюваної енергії, більш «зелені» хмарні послуги та підвищення ефективності охолодження серверів. У 2021 році провідні європейські ІТ-компанії навіть утворили Європейську коаліцію зелених цифрових технологій, зобов'язавшись інвестувати в енергоощадні цифрові рішення та спільно виробляти методики вимірювання їхнього впливу на клімат [1, 2]. Така співпраця бізнесу і влади покликана забезпечити, щоб цифровізація йшла пліч-о-пліч із досягненням цілей сталого розвитку та Європейського зеленого курсу. У цьому контексті розглянемо найважливіші тенденції розвитку процесу цифровізації в самих ІТ-компаніях.

Насамперед розглянемо ключові цифрові технології для забезпечення сталого розвитку, які виступають драйверами «зеленої» трансформації:

- Штучний інтелект (ШІ). Системи ШІ сьогодні оптимізують виробничі процеси та енергоспоживання. У промисловості алгоритми AI дозволяють точніше налаштовувати обладнання, підвищуючи енергоефективність і зменшуючи відходи. Наприклад, прогнозування попиту на електроенергію за допомогою ШІ дає змогу операторам електромереж збалансувати навантаження та скоротити втрати енергії. Такі розумні системи сприяють і проектуванню більш сталих продуктів, і підвищенню ефективності будівель (напрямку оптимізуючи роботу кліматичних систем) [1, 2].

- Інтернет речей (IoT). Мережі сенсорів та підключених пристроїв забезпечують моніторинг у реальному часі споживання енергії, води та інших ресурсів на виробництві, у

містах і будинках. Завдяки IoT компанії можуть відстежувати та автоматично регулювати процеси – від температури в «розумних» будівлях до стану промислових верстатів – що допомагає негайно виявляти перевитрати та скорочувати викиди. В енергетиці датчики IoT надають дані для «розумних мереж» і децентралізованих систем, інтегруючи відновлювані джерела та підвищуючи надійність і сталість енергопостачання [1, 2].

- **Аналіз великих даних.** Збір та обробка великих масивів даних створює основу для прийняття науково обґрунтованих рішень у сфері сталого розвитку. Платформи Big Data дають можливість урядам і бізнесу отримувати безпрецедентну прозорість щодо викидів, споживання ресурсів та ефективності заходів. Наприклад, аналітичні інструменти допомагають моделювати сценарії скорочення викидів CO₂, відслідковувати прогрес до цілей сталого розвитку та оптимізувати логістичні ланцюги, мінімізуючи «вуглецевий слід». Дані в режимі реального часу, об'єднані з машинним навчанням, дозволяють прогнозувати екологічні ризики та оперативно реагувати на них [1, 2].

- **Блокчейн.** Розподілений реєстр (DLT) застосовується для забезпечення прозорості й простежуваності в ланцюгах постачання та екологічних проєктах. Наприклад, блокчейн-технології можуть підтверджувати автентичність «зелених» сертифікатів (на відновлювану енергію чи вуглецеві кредити), гарантувати, що продукція та сировина відповідають стандартам сталості, а також полегшувати торгівлю чистою енергією між виробниками і споживачами. ЄС особливо підтримує розвиток стійких блокчейн-рішень – таких, що допомагають протидіяти зміні клімату та реалізувати цілі Європейського зеленого курсу. Уже сьогодні існують пілотні блокчейн-системи для відстеження викидів у логістиці, контролю сталості рибальства та управління розподілом відновлюваної енергії [3].

- **Хмарні обчислення.** Хмарні платформи дозволяють компаніям відмовитися від надлишкового фізичного обладнання і користуватися обчислювальними ресурсами за потребою, що підвищує ефективність використання техніки. Великі провайдери хмарних сервісів активно переходять на відновлювану енергію для живлення своїх дата-центрів і впроваджують енергоощадні технології (наприклад, рідинне охолодження серверів, утилізацію тепла). Завдяки ефекту масштабу хмари сприяють скороченню сукупного енергоспоживання IT-інфраструктури та відходів електроніки [4]. Крім того, хмарні технології тісно інтегровані з IoT та AI-рішеннями: через хмару збираються й обробляються дані від мільйонів сенсорів, що допомагає компаніям у будь-який момент оцінити свої екологічні показники та гнучко реагувати на них в масштабі всієї організації.

Далі розглянемо приклади «зелених» цифрових рішень провідних IT-компаній:

- **Siemens.** Німецький технологічний гігант Siemens впроваджує цифрові технології у промисловості, енергетиці та транспорті для підвищення їхньої сталості. Зокрема, Siemens активно використовує концепцію «цифрового двійника» – віртуальної моделі продукту чи фабрики – щоб моделювати й оптимізувати процеси до їх реалізації. Це дозволяє спроектувати вироби та виробничі лінії з мінімальними витратами енергії і матеріалів, зменшуючи відходи ще на етапі проєктування. У реальному часі IoT-платформа Siemens MindSphere збирає дані з обладнання на заводах та інфраструктурі міст, а ШІ-алгоритми аналізують ці дані для покращення ефективності [5]. Такий підхід вже дає результати: ШІ допомагає оптимізувати промислові процеси і підвищувати енергоефективність будівель, а у сфері енергетики – точно прогнозувати коливання попиту на електроенергію, що забезпечує більш збалансовану роботу мереж та скорочення втрат. Таким чином, цифровізація від Siemens сприяє одночасно підвищенню конкурентоспроможності бізнесу та досягненню кліматичних цілей.

- **SAP.** Як лідер ринку бізнес-програмного забезпечення, SAP інтегрує цілі сталого розвитку у свої продукти. Компанія пропонує клієнтам системи обліку та аналізу викидів, рішення для сталого ланцюга постачання та ESG-звітності. Згідно з аналізом, програмні рішення SAP допомагають організаціям ідентифікувати ділянки, де можна зменшити екологічний вплив, і формувати нові, більш бізнес-моделі сталого розвитку [6]. Наприклад, модулі SAP Sustainability Control Tower та Product Footprint Management дозволяють відстежувати вуглецевий слід продуктів на всіх етапах виробництва і постачання, що спонукає компанії скорочувати викиди

й оптимізувати використання ресурсів. SAP також співпрацює з урядами (наприклад, GIZ) у проєктах цифрової сертифікації зеленого водню – для прозорого підтвердження походження екологічно чистого палива.

- **Schneider Electric:** Спеціалізуючись на рішеннях для енергоменеджменту та автоматизації, французька компанія Schneider Electric реалізує стратегію «все електричне, все цифрове» для сталого майбутнього. Її IoT-архітектура EcoStruxure об'єднує датчики, системи керування та аналітику III, що дозволяє клієнтам – від промислових підприємств до будівель – активно управляти енергоспоживанням і зменшувати вуглецевий слід [7]. Показовим є новий «розумний» офісний комплекс *IntenCity* у Греноблі (Франція), побудований Schneider Electric як зразок цифрової та зеленої будівлі майбутнього. Завдяки повній цифровізації інженерних систем та використанню відновлюваної енергії *IntenCity* споживає лише ~37 кВт·год енергії на м² на рік – це близько 11% від середнього рівня споживання для будівель в Європі (~330 кВт·год/м²). Досягнувши поставлених цілей енергоефективності, комплекс зможе виробляти стільки ж чистої електроенергії (через сонячні панелі, вітротурбіни та акумулятори), скільки споживає, тобто стати будівлею з нульовим енергетичним балансом [8]. Schneider Electric демонструє, як цифрові рішення (моніторинг, автоматизація, аналіз даних) дозволяють радикально скоротити енергоспоживання й викиди CO₂ в будівлях і на підприємствах.

- **Infineon Technologies.** Виробник напівпровідників Infineon показує, що інновації в апаратному забезпеченні теж є ключем до «зеленого» майбутнього. Компанія розробляє енергоефективні чипи та сенсори для електромобілів, відновлюваної енергетики, промислової автоматизації та IoT, що сприяють загальному зниженню викидів у цих секторах. За оцінками, продукти і рішення Infineon протягом свого використання дозволяють заощадити у 34 рази більше викидів CO₂, ніж було вироблено при їх виготовленні. Це означає, що впровадження мікроелектроніки Infineon (наприклад, силових модулів для сонячних панелей, зарядних станцій чи електротранспорту) має істотно позитивний кліматичний ефект [9]. Сама компанія також демонструє лідерство у сталості: впроваджуючи принципи Industry 4.0 і «зеленого виробництва», Infineon скоротила власні прямі та непрямі викиди на 56,8% у 2023 році (від рівня 2019) і перебуває на шляху до досягнення вуглецевої нейтральності до 2030 року. На рівні галузі Infineon активно просуває принцип «зеленого і цифрового переходу йдуть поруч», демонструючи, як цифровізація в поєднанні з новими матеріалами (широкозонні напівпровідники SiC, GaN тощо) прискорює енергетичний перехід.

- **Atos.** Компанія Atos, один з найбільших європейських постачальників IT-послуг, зробила «цифрову декарбонізацію» центральним елементом своєї стратегії. Atos не лише взяла зобов'язання досягти нульових власних викидів (Net Zero) до 2028 року – на 22 роки раніше загальноєвропейської мети, – але й розгорнула цілий портфель сервісів, що допомагають клієнтам скорочувати їхній вуглецевий слід за рахунок цифровізації. Компанія консулює бізнес щодо цифрових рішень для декарбонізації: від оптимізації дата-центрів і міграції в хмару (щоб зменшити IT-витрати енергії) до впровадження спеціалізованих платформ моніторингу викидів, цифрових робочих просторів з меншим енергоспоживанням та even-блокчейн-рішень для відстеження вуглецевих кредитів [10]. За словами Atos, поєднання цифрової трансформації з декарбонізацією дає подвійний ефект: сучасні технології дозволяють бізнесу значно скоротити викиди та одночасно підвищити ефективність операцій. Приміром, Atos впроваджує для клієнтів інструменти *Digital Decarbonization Assessment*, які аналізують усю IT-інфраструктуру компанії та пропонують конкретні кроки (модернізація обладнання, оптимізація кодів, використання відновлюваної енергії) для зменшення її енергоспоживання. Такий підхід зробив Atos одним із визнаних лідерів рейтингу сталості у сфері IT-послуг, і демонструє, що екологічна відповідальність може йти поряд з цифровими інноваціями.

Досвід перелічених компаній і численні ініціативи в ЄС показують, що цифровізація відіграє ключову роль у досягненні цілей сталого розвитку. Цифрові рішення вже сьогодні прямо сприяють виконанню Цілей сталого розвитку ООН – від SDG 7 (чиста енергія) та SDG 11 (сталі міста) до SDG 13 (кліматичні дії) – забезпечуючи інструменти для переходу на відновлювані джерела, розумного управління ресурсами та скорочення викидів. За оцінками

експертів, широке впровадження сучасних цифрових технологій здатне скоротити глобальні викиди парникових газів до 15% вже до 2030 року – тобто покрити третину шляху, необхідного для досягнення Паризьких кліматичних цілей [11]. Такий потенціал можна порівняти з сукупним вуглецевим слідом країн ЄС і США разом. Експоненційне розгортання цих процесів забезпечують технології четвертої промислової революції – зокрема 5G, IoT та AI, які дають змогу вивести ефективність на новий рівень. Водночас важливо, щоб розвиток цифровізації супроводжувався «зеленим» мисленням: енергомережі, дата-центри, пристрої і програмне забезпечення мають проектуватися з урахуванням вимог енергоефективності та економіки замкнутого циклу [12, 13].

Отже, сучасні засади цифровізації в IT-компаніях Європи передбачають тісну інтеграцію інноваційних технологій зі стратегіями сталого розвитку. Це взаємовигідний тандем: цифрові рішення прискорюють досягнення кліматичних цілей, а вимоги зеленого переходу стимулюють нові хвилі цифрових інновацій. Результатом є поступове формування більш стійкої, ресурсоефективної економіки ЄС – з «розумними» містами, декарбонізованою промисловістю та екологічно свідомими бізнес-моделями. Такий напрям розвитку забезпечує не лише зелене майбутнє для наступних поколінь, а й закладає фундамент для конкурентоспроможності й технологічного лідерства Європейського Союзу в цифрову добу.

1. European Commission. (2024, February 15). *Green digital sector – Shaping Europe's digital future*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/green-digital>
2. Дегтяр, В. О., & Загвойська, Л. Д. (2024). Значення інформаційних технологій в інноваційному та економічному зростанні України. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(7), 30-36. <https://doi.org/10.36930/40340704>
3. European Commission. (2024, December 12). *Blockchain and Web3 Strategy – Shaping Europe's digital future*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-strategy>
4. European Commission. (2021, March 19). *Companies take action to support the green and digital transformation of the EU* (DIGIBYTE news). Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/companies-take-action-support-green-and-digital-transformation-eu>
5. Veneziani, L. (2025, March 31). *Powering Europe's Green Transition With Digital Technology*. Disruptive Competition Project. Retrieved from <https://project-disco.org/european-union/powering-europes-green-transition-with-digital-technology>
6. Thakur, S. S. (2023, May 24). *The Role of SAP in Enabling Sustainability in European Businesses*. YASH Technologies Blog. Retrieved from <https://www.yash.com/blog/the-role-of-sap-in-enabling-sustainability-in-european-businesses>
7. Marcotte, N. (2024, July 11). *The new role of digital in reducing carbon emissions for sustainable manufacturing*. Schneider Electric Blog. Retrieved from <https://blog.se.com/digital-transformation/2024/07/11/the-new-role-of-digital-in-reducing-carbon-emissions-for-sustainable-manufacturing>
8. D'Acosta, L. (2021, October 7). *How to transform your facilities today into Buildings of the Future*. Schneider Electric Blog. Retrieved from <https://blog.se.com/buildings/building-management/2021/10/07/how-to-transform-your-facilities-today-into-buildings-of-the-future>
9. Infineon Technologies. (2023, December 11). *Infineon is one of the most sustainable companies globally* (Press release). Retrieved from <https://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/press-releases/2023/INFXX202312-037.html>
10. Atos & EcoAct. (n.d.). *Digital decarbonization: The key enabler for corporate decarbonization* (White paper). EcoAct – an Atos company. Retrieved from <https://gsma.my.site.com/mwcoem/servlet/servlet.FileDownload?file=00P6900002pu0N1EAI>
11. Ekholm, B., & Rockström, J. (2019). *Digital technology can cut global emissions by 15%. Here's how*. World Economic Forum. Retrieved from <https://www.weforum.org/stories/2019/01/why-digitalization-is-the-key-to-exponential-climate-action>

12. Atos. (2021, February 18). *Atos boosts its decarbonization ambition committing to Net Zero by 2028* (Press release). Retrieved from https://atos.net/en/2021/press-release_2021_02_18/atos-boosts-its-decarbonization-ambition-committing-to-net-zero-by-2028

13. Загвойська, Л.Д., Соловій, І.П., Пелюх, О.Р. Штучний інтелект і блокчейн у бізнесі 4.0: можливості та виклики для сталого розвитку. *Грааль науки* 48, 140-150.

Качан Сергій

Національний університет «Львівська політехніка»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ІНТЕГРОВАНІХ СТРУКТУР БІЗНЕСУ В ІТ-СЕКТОРІ

У сучасних умовах цифровізації економіки та глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, соціальними трансформаціями та потребою у відповідальному управлінні, питання забезпечення сталого розвитку набуває особливої актуальності для ІТ-сектору. Технологічні компанії виступають не лише рушієм інновацій, а й ключовим фактором трансформації економічної моделі, суспільних практик та екологічного впливу. У цьому контексті інтегровані бізнес-структури, що поєднують різні функціональні підрозділи, повинні орієнтуватися на принципи сталого розвитку як основу довгострокової конкурентоспроможності та соціальної відповідальності.

Сталий розвиток в ІТ-секторі передбачає інтеграцію економічної ефективності, соціальної відповідальності та екологічної безпеки в управлінські процеси компаній [1-3]. Це означає впровадження практик оптимізації енергоспоживання, мінімізації викидів парникових газів, забезпечення рівного доступу до можливостей професійного зростання, дотримання прав людини та етичних стандартів ведення бізнесу. Таке розуміння сталої моделі дозволяє компаніям переходити від традиційного фокусування на прибутку до балансу економічних, соціальних і екологічних цілей.

Інтегровані бізнес-структури в ІТ-компаніях характеризуються високим рівнем внутрішньої координації та взаємодії між підрозділами, що забезпечує гнучкість у впровадженні інновацій і швидку адаптацію до змін зовнішнього середовища. Це створює сприятливе підґрунтя для ефективного управління ресурсами, оптимізації операційних процесів, швидкого прийняття стратегічних рішень і формування комплексної політики сталого розвитку.

Одним із ключових інструментів інтеграції сталого розвитку у корпоративну діяльність є впровадження ESG-принципів (Environmental, Social, Governance). У контексті ІТ-сектору екологічний компонент включає зменшення споживання електроенергії дата-центрами, використання «зеленої» енергетики, управління електронними відходами [4]. Соціальний компонент охоплює створення інклюзивного робочого середовища, підтримку балансу між роботою та особистим життям, розвиток людського капіталу. У свою чергу, управлінський компонент пов'язаний із прозорістю в корпоративному управлінні, боротьбою з корупцією, ефективним управлінням ризиками та відповідальністю перед стейкхолдерами. Дослідження свідчать, що ІТ-компанії, які інтегрували ESG-принципи у свою стратегію, демонструють стабільніший фінансовий результат, вищу довіру з боку інвесторів та партнерів, а також підвищений рівень лояльності клієнтів.

Суттєвим чинником сталого розвитку є технологічні інновації, які використовуються в ІТ-секторі для моніторингу ESG-показників, управління ризиками та прийняття обґрунтованих рішень. Зокрема, хмарні обчислення сприяють зменшенню навантаження на ІТ-інфраструктуру та оптимізації споживання енергії. Big Data та аналітика даних забезпечують постійний моніторинг екологічних параметрів, дозволяють прогнозувати ризики та оперативно реагувати на зміни. Штучний інтелект використовується для виявлення неефективних процесів, а блокчейн – для забезпечення прозорості у ланцюгах постачання. Ці інструменти дають змогу автоматизувати звітність, підвищити прозорість операцій та контролювати екологічну ефективність на кожному етапі виробничо-комерційного циклу.

Попри очевидні переваги, реалізація принципів сталого розвитку в ІТ-компаніях супроводжується низкою викликів. Серед них слід відзначити високі початкові витрати на екологічні технології, недостатній рівень обізнаності персоналу щодо практик сталого розвитку, фрагментарне або неузгоджене нормативне регулювання ESG-звітності, а також технічні труднощі, пов'язані з інтеграцією нових систем у наявні бізнес-процеси [5]. Ці бар'єри знижують темпи впровадження трансформацій і вимагають системного підходу до розбудови інституційної та технологічної спроможності підприємств.

З метою забезпечення довготривалого сталого розвитку в ІТ-сфері доцільно реалізувати низку стратегічних заходів. По-перше, необхідно розробити чіткі внутрішні стратегії розвитку на основі ESG-показників, що передбачатимуть довгострокове планування, індикатори ефективності та регулярну оцінку впливу на довкілля й суспільство. По-друге, слід інвестувати в підвищення кваліфікації кадрів, створення навчальних програм з фокусом на сталий розвиток. По-третє, важливо вибудовувати партнерські відносини з державними органами, науковими установами, громадськими організаціями задля спільного формування стандартів, обміну досвідом та реалізації спільних проєктів. Нарешті, ІТ-компанії мають активно впроваджувати інноваційні рішення, що дозволяють не лише знижувати негативний екологічний вплив, а й створювати нові бізнес-моделі, орієнтовані на сталий розвиток.

Отже, сталий розвиток інтегрованих бізнес-структур в ІТ-секторі є не просто трендом, а об'єктивною необхідністю сучасного економічного середовища. Його реалізація базується на ESG-принципах, інноваційних технологіях і стратегічному управлінні змінами. Подолання існуючих викликів відкриває широкі можливості для посилення конкурентоспроможності компаній, підвищення їх соціального капіталу та формування відповідальної екосистеми цифрової економіки. Успішне впровадження підходів до сталого розвитку в ІТ-бізнесі забезпечить синергію між технологічним прогресом, соціальною відповідальністю та екологічною безпекою, що є запорукою стійкого зростання у XXI столітті.

1. Карий, О. І., Гальків, Л. І., & Цапулич, А. Ю. (2021). Розвиток ІТ-сфери України: чинники та напрями активізації. *Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues*, 5(1), 42–55.
2. Мельник, М. І. (2018). Інституційне забезпечення розвитку ІТ-сектору в Україні: основні проблеми та пріоритетні напрями удосконалення. *Регіональна економіка*, 1, С. 102-110.
3. Куцик, П. О., Процикевич, А. І. (2022). *Розвиток інвестиційних процесів на ринку ІТ-послуг: методологія та практика державного регулювання* : монографія. Львів : Видавництво Львівського торговельно-економічного, 224 с.
4. Екологічне, соціальне та корпоративне управління (ESG) та послуги зі сталого розвитку. URL: <https://www.softserveinc.com/uk-ua/services/esg-and-sustainability-services>
5. Лісік, О., & Моряк, Т. (2023). Аналіз стану іт-сектору України в умовах повномасштабної війни. *Економіка та суспільство*, 55. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-67>

Кудрик Роман
Національний університет «Львівська політехніка»

РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОТЕНЦІАЛУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У сучасних умовах трансформацій соціально-економічного простору України, зокрема внаслідок воєнних дій, екологічна складова потенціалу територіальних громад набуває стратегічного значення для забезпечення стійкого розвитку, збереження природного середовища та підвищення якості життя населення. Екологічний компонент територіального потенціалу є не лише складовою сталого розвитку, але й важливим фактором інвестиційної привабливості, соціальної згуртованості та просторової конкурентоспроможності громад.

Під екологічною складовою потенціалу територіальної громади слід розуміти сукупність природних ресурсів, екосистемних послуг, рівня екологічної безпеки та здатності громади здійснювати ефективне управління навколишнім середовищем на принципах збалансованого природокористування. Це поняття охоплює як наявні природні багатства (вода, ґрунти, ліси, біорізноманіття), так і системи поводження з відходами, рівень забруднення довкілля, екологічну культуру населення та інституційні механізми управління екологічними процесами.

Актуальність розвитку екологічної складової зумовлена низкою чинників: інтенсифікацією урбанізаційних процесів, деградацією природного середовища, необхідністю відновлення екосистем унаслідок військових руйнувань та зростанням потреби у відновлюваних ресурсах у межах Європейського зеленого курсу [1]. Зокрема, територіальні громади, які постраждали від бойових дій, стикаються з проблемами хімічного забруднення ґрунтів, руйнування природних територій, знищення зелених насаджень і погіршення екологічних умов проживання.

Одним із ключових напрямів забезпечення розвитку екологічної складової потенціалу громад є формування локальної екологічної політики, що базується на принципах сталого розвитку. Це передбачає впровадження екологічного моніторингу, розробку програм відновлення порушених територій, підтримку біорізноманіття, стимулювання екологічного підприємництва та інвестицій у "зелені" технології. Важливим інструментом реалізації таких програм є залучення міжнародної технічної допомоги та коштів з екологічних фондів, зокрема в рамках програм ЄС щодо поствоєнної відбудови та кліматичної адаптації.

Невід'ємною складовою розвитку екологічного потенціалу є підвищення рівня екологічної свідомості населення та впровадження освітніх програм у сфері екології, ресурсозбереження і зміни клімату. Екологічна освіта, як формальний, так і неформальний її сегмент, сприяє залученню мешканців до участі в екологічному управлінні, зменшенню рівня забруднення навколишнього середовища та посиленню культури екологічного споживання.

Окрему увагу слід приділити інтеграції цифрових технологій у систему екологічного управління громад. Використання геоінформаційних систем (ГІС), супутникового моніторингу, Інтернету речей (IoT) та big data-аналітики дозволяє здійснювати точкову діагностику екологічного стану територій, своєчасно реагувати на екологічні загрози та формувати адаптивні стратегії розвитку. Такі цифрові інструменти є основою концепції "smart-ecology", яка може стати ключовим напрямом формування екологічної стратегії на локальному рівні [2].

Також важливо враховувати просторові аспекти екологічної безпеки. Зокрема, в умовах інтегрованого просторового планування необхідно здійснювати екологічне зонування територій з урахуванням вразливості ландшафтів, наявності охоронюваних природних територій, об'єктів культурної спадщини та ресурсного потенціалу. Формування екологічного каркасу громади дозволить забезпечити збалансований розвиток як природного, так і антропогенного середовища.

Слід також зазначити, що сталий розвиток громад унеможливлений без енергетичної трансформації, яка включає перехід до відновлюваних джерел енергії, енергоефективність та децентралізовані моделі енергозабезпечення [2]. Встановлення сонячних електростанцій, біогазових установок, систем енергоаудиту та управління споживанням сприяє не лише зменшенню викидів CO₂, але й формує нову економіку на основі "зелених" технологій.

Іншим важливим аспектом є запровадження екосистемного підходу до управління природними ресурсами, що ґрунтується на збереженні функціонування екосистем у цілому, а не лише на експлуатації окремих компонентів. Такий підхід дозволяє підтримувати екологічну рівновагу, адаптуватися до змін клімату та мінімізувати ризики для здоров'я населення.

У контексті децентралізації екологічна відповідальність поступово передається органам місцевого самоврядування, що вимагає підвищення їхньої спроможності до екологічного управління. Необхідною умовою є наявність кваліфікованих екологічних служб на місцях, інтеграція екологічних критеріїв у процеси бюджетування, управління проектами та розробки стратегій розвитку. Спроможність територіальної громади реагувати на екологічні виклики є одним із ключових індикаторів її стійкості.

Отже, розвиток екологічної складової потенціалу територіальних громад є комплексним завданням, яке потребує міжсекторальної координації, інноваційних підходів, активної участі громадян та підтримки з боку держави і міжнародних партнерів. Формування екологічно збалансованого простору є важливою передумовою для соціально-економічного зростання, збереження природної спадщини та формування сприятливих умов для майбутніх поколінь..

1. Жук, П. В. (2023). *Територіальний розвиток, природне довкілля, економіка: наукові розвідки*: монографія. Львів, 2023, 257 с.
2. Ткаленко, Н., Михайловська, О., Маргасова, В., Гарафонов, О., & Піщенко, О. (2023). Екологічна складова сталого розвитку територіальних громад. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 4(51), 451–465. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.4.51.2023.4059>

Луців Наталія
Національний лісотехнічний університет України
Капраль Андрій
Національний лісотехнічний університет України

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРАКТИКИ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

Накопичення твердих побутових відходів (ТПВ), що генеруються домогосподарствами є однією з найактуальніших глобальних проблем ХХІ століття. Зростання чисельності населення, підвищення рівня споживання та домінування лінійної економічної моделі ("взяти-виробити-викинути") призводять до стрімкого збільшення обсягів ТПВ [1]. Традиційні методи поводження з твердими побутовими відходами, зокрема, захоронення на полігонах, спричиняють значне екологічне навантаження: забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод токсичним фільтратом, викиди метану (потужного парникового газу), втрату цінних вторинних ресурсів та вилучення значних земельних площ [2]. Ці наслідки становлять пряму загрозу для екосистем, здоров'я населення та перешкоджають досягненню Цілей сталого розвитку, прийнятих ООН.

Концепція сталого бізнесу набуває дедалі більшого поширення, що передбачає інтеграцію екологічних, соціальних та економічних аспектів у процес прийняття рішень [3]. Вона базується на принципі створення довгострокової цінності для всіх зацікавлених сторін та врахуванні "потрійного критерію" (Triple Bottom Line – TBL) – економічний успіх, соціальна відповідальність та екологічна стійкість [4].

У цьому контексті, проблема поводження з ТПВ перестає бути виключно муніципальною відповідальністю та стає важливим аспектом стратегії сталого бізнесу. Еколого-економічне обґрунтування поводження з ТПВ домогосподарств у контексті сталого розвитку передбачає аналіз, впровадження та підтримку суб'єктами господарювання ефективних екологічно безпечних систем управління відходами. Такий підхід дозволяє знайти рішення щодо охорони довкілля та досягнення економічних цілей, що сприяє довгостроковій конкурентоспроможності та стійкості бізнесу [5].

Еколого-економічне обґрунтування поводження з ТПВ ґрунтується на кількох взаємопов'язаних концептуальних засадах: сталий бізнес, корпоративна соціальна відповідальність (КСВ) та врахування екологічних, соціальних та управлінських чинників (ESG). Врахування чинників ESG вимагає від суб'єктів бізнесу прозорості та звітності щодо їхніх екологічних показників, включаючи управління відходами, що безпосередньо впливає на репутацію, залучення інвестицій та відносини зі стейкхолдерами [6].

Також для впровадження практики сталого поводження з ТПВ важливе дотримання принципів ієрархії або засад циркулярної економіки.

Принцип ієрархії поводження з відходами, який закріплений у законодавстві багатьох країн (Рамкова директива ЄС про відходи [7]), встановлює пріоритетність методів управління відходами з метою мінімізації їх негативного впливу на довкілля та максимізації збереження ресурсів. Класична ієрархія управління ТПВ включає такі етапи: запобігання; підготовку до повторного використання; переробку, утилізація. Дотримання принципу запобігання передбачає мінімізацію утворення відходів на стадії дизайну продукту, виробництва та споживання (наприклад, оптимізація упакування, перехід на багаторазові альтернативи). Підготовка до повторного використання означає забезпечення інфраструктури відновлення (ремонт) товарів (одяг, меблі, електроніка) для їх подальшого використання за прямим призначенням. Рециклінг передбачає переробку відходів (папір, скло, пластик, метал, органіка) для отримання вторинної сировини або нових продуктів. Утилізація: енергетична утилізація (спалювання ТПВ з виробленням енергії); видалення (безпечне захоронення на полігонах як крайній захід для залишків, що не можуть бути утилізовані іншими методами). При цьому, для підвищення ефективності процесів рециклінгу та утилізації відходів слід використовувати інноваційні технології: роботизований рециклінг на основі штучного інтелекту; плазмова газифікація; пневматичні технології збору; автоматизовані пункти збору ТПВ тощо [8].

Циркулярна економіка ТПВ розглядає як ресурс. Виробництво у циркулярній економіці передбачає виготовлення товарів тривалого використання, їх ремонтпридатність під час використання; переробку; використання вторинної сировини при виробництві; створення замкнених виробничих циклів [9].

Визначимо основні екологічні та економічні ефекти від впровадження сталої практики поводження з ТПВ.

Екологічні ефекти:

1. Зменшення навантаження на земельні і водні ресурси та їх забруднення. Полігони ТПВ займають великі площі потенційно продуктивних земель, стають джерелами довготривалого забруднення ґрунтів та водних горизонтів токсичним фільтратом. Запобігання утворенню ТПВ, їх повторне використання та переробка скорочують обсяги, що потребують захоронення;

2. Збереження природних ресурсів. ТПВ містять значну кількість цінних матеріалів: метали, папір, скло, пластики, органічні речовини. Їх переробка дозволяє повторно використовувати сировину при виробництві товарів та зменшити потребу у видобутку первинної сировини (нафти, руди, деревини), що часто пов'язано зі значним споживанням енергії, руйнуванням ландшафтів та втратою біорізноманіття [10];

3. Пом'якшення зміни клімату. Розклад органічних відходів на полігонах є значним джерелом антропогенних викидів метану (CH_4), парниковий ефект якого значно вищий, ніж у CO_2 у короткостроковій перспективі. Компостування або анаеробне зброджування органіки запобігає цим викидам. Виробництво товарів з вторинної сировини зазвичай є менш енергоємним, що знижує викиди CO_2 . Енергетична утилізація неперероблюваних відходів може замінювати використання викопного палива;

4. Зниження токсичного навантаження на екосистеми. Небезпечні компоненти ТПВ (важкі метали з батарейок та електроніки, залишки фарб, розчинників, медикаментів) при потрапленні на полігони або неконтрольованому спалюванні можуть отруювати довкілля та становити загрозу для здоров'я людей. Сорткування та безпечна утилізація небезпечних відходів є критично важливими.

Економічні ефекти:

1. Зменшення витрат суб'єктів бізнесу. Досягається через зниження витрат на сировину та матеріали (використання вторинної сировини замість первинної, оптимізація використання матеріалів через еко-дизайн тощо); зниження енергетичних витрат (виробництво власної енергії через спалювання відходів); зменшення плати за розміщення відходів внаслідок зниження обсягів, що відвантажуються на полігони;

2. Збільшення доходів. Отримання доходу від продажу вторинної сировини (маку латура, ПЕТ-пляшка, склобій, брухт металів); виробництва і реалізації товарів з переробленої сировини; збільшення доходів через надання послуг з ремонту та відновлення товарів;

3. Розширення ринків збуту продукції внаслідок покращення іміджу та підвищення лояльності споживачів (усе більше споживачів віддають перевагу компаніям, що демонструють екологічну відповідальність);

4. Підвищення інвестиційної привабливості. Інвестори враховують ESG-фактори при прийнятті рішень. Також суб'єкти бізнесу, які впроваджують сталі практики мають кращий доступ до отримання капіталу та "зелених" фінансових інструментів [12];

5. Збільшення інноваційного потенціалу. Пошук рішень для мінімізації відходів та їх переробки стимулює інновації в матеріалознавстві, дизайні, технологіях та бізнес-моделях, що може стати джерелом довгострокової конкурентної переваги [13].

6. Створення нових робочих місць у сферах збору, сортування, переробки відходів та ремонту товарів.

7. Інтерналізація зовнішніх ефектів. Зменшення витрат суспільства на лікування хворіб, спричинених забрудненням, витрат на рекультивацію територій, зниження витрат екосистемних послуг [13]. Стале поведіння з ТПВ допомагає зменшити ці зовнішні витрати.

Отже, впровадження сталої практики поведіння з твердими побутовими відходами домогосподарств у контексті сталого бізнесу є ключовим підходом, що демонструє синергію між екологічними аспектами охорони довкілля та економічною ефективністю виробництва. Перехід від лінійної моделі до циркулярної, впровадження принципів ієрархії поведіння з відходами та активна роль бізнесу у цьому процесі є інструментами збереження ресурсів довкілля та джерелом економічних вигод, підвищення конкурентоспроможності та довгострокової стійкості бізнесу.

1. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Publications.

2. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. Urban development series knowledge papers, (15).

3. Bansal, P., & DesJardine, M. R. (2014). *Business sustainability: It is about time*. Strategic Organization, 12(1), 70-78. <https://doi.org/10.1177/1476127013520265>

4. Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone Publishing. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>

5. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). *The Circular Economy—A new sustainability paradigm?* Journal of Cleaner Production, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

6. Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance. *Management Science*, 60(11), 2835–2857. <http://www.jstor.org/stable/24550546>

7. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Waste Framework Directive).

8. Луців Н. Г., Капраль А. Р. (2024) Впровадження інноваційних технологій переробки твердих побутових відходів в Україні. *Ефективна економіка*. №12. <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.12.64>

9. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*.

10. Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2003). *Industrial ecology*. Prentice Hall.

11. Jambeck, J. R., et al. (2015). *Plastic waste inputs from land into the ocean*. Science, 347(6223), 768-771.

12. Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). *ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies*. Journal of Sustainable Finance & Investment, 5(4), 210-233. <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>

13. Pearce, D. W., Atkinson, G. D., & Mourato, S. (2006). *Cost-benefit analysis and the environment: recent developments*. OECD Publishing.

ЗАМКНУТИЙ ЦИКЛ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ШЛЯХ «ЗЕЛЕНОЇ» МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦУКРОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ УКРАЇНИ

Роль цукрової промисловості в останні роки, особливо в період повномасштабного вторгнення до України російських військ, значно зміцніла завдяки значному зростанню експорту цукру-сирцю на світовий ринок, зокрема в країни Європейського Союзу [1]. Складна логістика, зростаючі ціни на паливо та інші ресурси, перебої з постачанням електроенергії, обмеження трудових ресурсів відображаються на всіх етапах виробництва та позначаються на кінцевій вартості продукції, тому оптимізація різних етапів виробництва та економне споживання природних ресурсів знижує собівартість виробництва цукру.

Одними з важливих викликів ефективного функціонування цукропереробного підприємства є осучаснення всіх технологічних етапів перероблення сировини, впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій, ресурсощадних та енергоефективних практик, які дозволяють знижувати використання дороговартісних природних ресурсів та максимально використовувати їхній потенціал.

Коротка характеристика джерел водопостачання, виробничих стічних вод та практики їхнього використання за відкритої схеми водозабору.

Використання значних обсягів водних ресурсів на цукропереробних підприємствах є необхідним як для забезпечення виробничих етапів перероблення цукрових буряків, так і для роботи залученого у виробництво обладнання, господарсько-побутових потреб тощо. Водні ресурси, які при цьому використовуються, можуть бути різного походження залежно від доступності поверхневих водних об'єктів, можливості розроблення артезіанських свердловин чи застосування для водозабору обох типів джерел водопостачання. Важливим джерелом технологічної води є сама сировина, адже цукрові буряки приблизно на 75–80% складається з води. Під час перероблення ця вода вивільняється і змішуючись із доданою водою утворює дифузійний сік. Потім цей сік уварюється і згущується, при цьому значна частина води відганяється у вигляді пари, яка вловлюється, конденсується і повертається в обіг. Завдяки великому запасу вологи в сировині завод значною мірою покриває свої потреби у воді за рахунок самих буряків. Підприємство може підтримувати практично безперервний цикл водообігу з мінімальним зовнішнім підживленням. Вода, що випаровується з дифузійного соку, конденсується і використовується повторно – з її допомогою знову екстрагують цукор або підігрівають дифузійний апарат. Волога з буряків також зменшує потребу у свіжій воді для миття: корені надходять на мийку вже вологими, а частина води після миття повертається разом із ґрунтовими рештками на поля. Таким чином, до 90–95% всієї води, що циркулює в технологічному процесі, – це вода, вивільнена з буряків і повернена в систему через конденсати та рецикли. Це унікальна особливість цукрового виробництва, яка сприяє значній економії водних ресурсів. Без такої «автономності» підприємству довелося б забирати з річки в рази більше води. Отже, висока природна вологість буряків суттєво знижує навантаження на зовнішні джерела водопостачання.

Виробничі стічні води, які утворюються після перероблення сировини, є дуже забрудненими і складними щодо компонентного складу. Вони характеризуються змінами фізико-хімічних показників, високим рівнем органічного і мінерального забруднення, про яке зокрема свідчать високі значення таких показників як біохімічне споживання кисню, хімічне споживання кисню, високий вміст кальцію тощо [2].

Значна кількість стічних вод також виникає після миття поверхонь цехів, апаратури (випарювачів, седиментаторів, вакуумних камер, центрифуг, роторних вакуумних фільтрів). Такі стічні води навантажуються органічними та неорганічними забруднювачами, що наявні в миючих засобах, або утворюються при додаванні гідроксиду натрію та хлороводню задля видалення мінеральних відкладень на поверхнях труб теплообмінників та випарювачів.

Як правило, такі стічні води скидаються на поля фільтрації. Очищені стічні води з достатнім вмістом органічних сполук та поживних речовин у стічних водах можуть використовуватися для зрошення полів, завдяки чому збільшується концентрація фосфатів і сульфатів, а це сприятливо позначається на підвищенні родючості ґрунту.

Вода, яка застосовується для охолодження апаратури, має практично незмінні фізико-хімічні властивості і може спрямовуватись на миття цукрових буряків. Частою є практика повернення такої нагрітої води до водних об'єктів, що може приводити до евтрофікаційних процесів у них та позначатись на стані водних екосистем. Така практика одноразового використання водних ресурсів залишається найбільш поширеною в українських виробників цукру. Основним її недоліком є постійна потреба у постійному поновленні використовуваних об'ємів води та практично цілодобова робота насосів, що перекачують воду під час сезону перероблення цукрового буряка. Така система є енерго- та ресурсомісткою, адже споживається значна кількість багато електроенергії за величезних скидів стічних вод.

Організація замкнутого циклу оборотного водопостачання та можливості використання очищеної води

Оптимальним рішенням щодо зменшення обсягів забору води з природних джерел є повторне використання стічних вод, отриманих у технологічних операціях, для виробничих потреб після їхнього очищення. Попередньо стічні води повинні піддаватись багатоетапному очищенню із використанням різних фізико-хімічних методів і специфічного обладнання і в подальшому використовуватись з різною метою. Ефективні методи очищення, такі як седиментація, біологічне очищення та вдосконалена фільтрація, є важливими для забезпечення безпечного повторного використання при мінімізації екологічних порушень [3, 4].

Найчастішим способом використання очищених стічних вод є їхня подача до контурів охолодження обладнання. Після нагрівання така вода поступає на охолодження і в подальшому за допомогою насосів знову подається на теплообмінне обладнання. Цей цикл можна повторювати безліч раз, оминаючи етап скидання. Через випаровування невідворотними є втрати незначних об'ємів води, які необхідно поповнювати із зовнішніх джерел. Також можливе повторне використання такої очищеної води як сировини для виробництва біогазу, або як розчинника для приготування дифузійного соку, для миття апаратів і сировини тощо. Такі підходи до використання очищених стічних вод пом'якшують вплив на навколишнє середовище та підвищують ефективність використання водних ресурсів.

Окрім того, відчутними стають економічний вигаш для підприємства, тому що відчутно зменшується рентна плата за спеціальне водокористування, скорочується робота насосів і водопідіймального обладнання і витрати на електроенергію, стають меншими витрати на експлуатацію очисних споруд. Окрім того, підприємство уникає необхідності платити екологічний податок за скиди забруднюючих речовин у воду, адже скидання відсутні та уникає штрафних санкцій, тому що відсутнє перевищення лімітів чи забруднення водного об'єкта. Рациональне водокористування підвищує екологічну репутацію підприємства, що опосередковано сприяє інвестиційній привабливості та діловій репутації.

Висновки. Очищення та повторне використання стічних вод цукропереробних підприємств у замкнутому циклі оборотного водопостачання, приводить до зменшення екологічного навантаження на водні ресурси, зниження використання енергоресурсів і економії грошових витрат. Такі підходи сприяють сталому розвитку цукрової галузі і є важливим компонентом циркулярної економіки та екологічної модернізації цукропереробних підприємств.

1. Kuzmenko, S.V., Melnychenko, V.V. (2024). Tendentsii ta perspekvyvy rozvytky rynku tsuktu Ukrainy [Trends and prospects of the Ukrainian sugar market development]. *Innovatsiyna ekonomika*, 2[98], 54-61 [in Ukrainian].

2. Bhatnagar, A., Kesari, K.K., & Shurpali N. (2016). Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227, 1–11.

3. Bagheri, M., Mirbagheri, S.A. (2018). Critical review of fouling mitigation strategies in membrane bioreactors treating water and wastewater. *Bioresource Technology*, 2018. №258. PP. 318–334.

4. Khakimova, N., Maravić, N., Davidović, P., et al. (2022). Sugar beet processing wastewater treatment by microalgae through biosorption. *Water*, 14.

Майстрок Наталія
Інститут соціології НАН України

РИЗИКОЛОГІЧНИЙ НАПРЯМ НАУКОВИХ РЕФЛЕКСІЙ ТА ТРАНСНАЦІОНАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ ЄС В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

Сучасний глобальний світ характеризується як мінливий, невизначений, турбулентний тощо. Провідними тенденціями сучасності стали формування (після катастроф обох світових війн) соціальних держав та глобалізація і транснаціоналізація, яка створила нові соціальні зв'язки, відносини економічної, а потім і глобальної взаємозалежності в цілому, що перетинали національні кордони та призвели до формування наднаціональних об'єднань, зокрема Європейського Союзу, що обумовило необхідність вироблення засад спільної життєдіяльності, зокрема транснаціональної політики, що не виключає національний політичний вектор, а, навпаки, передбачає можливість дій, як у транснаціональному, так і національному просторі та їх узгодженість. Європейськість тісно пов'язана з коренями західної цивілізації: грецька філософія, римське право, християнські моральні принципи, Відродження, Реформа, Просвітництво тощо. Наприклад, Ю. Габермас зазначає, що європейські держави всезагального добробуту достатньо довго грали роль взірців та моделей. Християнство та капіталізм, природознавство та техніка, римське право та Кодекс Наполеона, громадсько-міська форма життя, демократія та права людини, секуляризація держави та суспільства розповсюдилися із Європи на інші континенти (Habermas, 2004). У червні 2022 року Україні було надано статус кандидата у члени ЄС. Зміна клімату, втрата біорізноманіття, шкода довкіллю, війни знов і знов висувають на порядок денний питання виживання як Європи, так і глобального світу в цілому. Разом з цим, Європа послідовно відстоює позиції відповідального глобального лідера як у сенсі вироблення нового наукового знання, активного впровадження інновацій, зокрема цифрових технологій, ШІ тощо, так і упередження ризиків. Зокрема, задля прискореного відновлення ЄС після пандемії COVID-19 довгостроковим бюджетом ЄС на 2021-2027 рр., а також спеціальним планом відновлення Next Generation EU передбачено виділення 2018 млрд. євро, з метою зробити Європу здоровішою, більш сильною в екологічному та цифровому аспектах. Проблематика криз, глобальних ризиків є однією з провідних на Всесвітньому економічному форумі (ВЕФ) у Давосі. У 2025 році, на думку експертів, збройні конфлікти є найбільшим ризиком, оскільки війна в Україні та події останніх років у світі поставили під загрозу існування людства. Кожний четвертий з 900 експертів з науковців, бізнесу і політики, назвав конфлікти, включаючи війни і тероризм, найбільш серйозним ризиком задля економічного зростання. В цілому, лейтмотивом ВЕФ у 2025 році була проблематика «співпраці в інтелектуальну епоху», оскільки події останніх трьох років в Україні та світі поставили під сумнів ефективність інститутів світового порядку, що виникли після Другої світової війни. Зберігають своє значення і такі ризики, як екстремальні погодні явища, а також дезінформація, технологічні загрози, негативні наслідки використання штучного інтелекту.

Різні аспекти особливостей протікання трансформаційних процесів, у тому числі в конфліктологічному та ризикологічному ракурсі, а також у глобальному, європейському, українському вимірі проаналізовано у працях Є. Головахи, Н. Паніної, В. Судакова, С. Макеєва, В. Степаненка, Г. Чепурко, Л. Скокової та інших українських соціологів. Різноманітний емпіричний матеріал для аналізу тенденцій соціальних змін в Україні та Європі надавав загальноєвропейський

моніторинговий проект «Європейське соціальне дослідження» (ESS), що проводилося з 2005 р. ІС НАН України за участі наукових колективів 30 країн Європи, і щорічний соціологічний моніторинг «Українське суспільство» (Інститут соціології НАН України), започаткований у 1991 році.

Проблематика ризиків є однією з центральних тем у наукових рефлексіях таких європейських соціологів, як Н. Луман, У. Бек, Е. Гіденс та ін. (Майструк, 2024). Так, німецький соціолог У. Бек у праці «Суспільство ризику. На шляху до іншого Модерну» характеризує глобалізацію як процес деполітизації та дерегулювання суспільств. Глобалізація розглядається ним у контексті аналізу її наслідків – екологічної кризи та інших криз, а також ризиків, підкреслюючи їх системний характер. Системні ризики трактуються як закономірний наслідок швидких і докорінних технологічних, економічних та соціальних змін сучасного світу (Скокова, 2022). Сучасні ризики відрізняються від небезпек минулих часів тим, що, вони є невід’ємним моментом сучасної модернізації та тим, що постійно породжують у людей відчуття невпевненості й страху. Вони внутрішньо притаманні процесу модернізації та відмічаються своїм «мирним походженням» у світових центрах раціональності в межах закону та порядку, є результатом колективних рішень на користь техноекономічних переваг та нових можливостей, які базуються на трактовці небезпек просто як витрат прогресу. Зворотній бік прогресу все частіше стає рушійною силою політики. Ядерна загроза, зміни клімату, фінансова криза, теракти: такі ризики не обмежені просторовими, часовими, суспільними межами, від них не можна застрахуватися. Крім того, «високодиференційованому розподілу праці відповідає загальна співучасть у злочині, а цій співучасті – всезагальна безвідповідальність» (Beck, 1986). Так, поняття «природної катастрофи», на думку Бека, належить минулим століттям і є помилковим, оскільки природі невідомі катастрофи. Цунамі або землетруси стають катастрофами тільки в контексті їх відношення до цивілізації в цілому. Будівництво атомних електростанцій у сейсμοзагрозливій зоні, наприклад у Японії, – це політичне рішення, відповідальність за яке повинні нести ті, хто його приймає. У сьогоденні людство опинилося у стані сприйняття цивілізаційної загрози людства самому собі. Якщо політична теорія суверенітету Т. Гоббса базується на формулі «людина людині вовк», то «на противагу цьому, політична теорія суспільства ризику виходить з дещо іншого принципу: *людство людству вовк*. «Хижацький характер», про який говорить Гоббс, приписується не тільки окремій людині, а й людству. Людство є суб’єктом і об’єктом загрози самому собі. Легітимність створюється *...вірою в можливість відвернути* небезпеку, що загрожує людству, *за допомогою* політичної дії *від імені* загроженого людства, яке й забезпечує легітимність. У цьому сенсі основні відносини спільного життя, включаючи сам національно-державний порядок, опиняються під владою примату мінливості, альтернативності й контингентності (Бек, 2015).

Ризикогенність глобального соціуму посилюється турбулентністю, яка на думку, академіка НАН України В. Бакірова, набуває ознак довготривалого процесу. Ми є свідками нескінченного потоку безпрецедентно небезпечних ситуацій, подій, трендів, що радикально змінюють і руйнують соціальні порядки на всіх рівнях. На глобальному рівні зростає політична, ідеологічна, економічна напруженість, але зменшується авторитет міжнародних організацій та інше і, як результат – реальна загроза ядерного апокаліпсису. Додамо до цього переліку активізацію міжнародного тероризму, бурхливі некеровані міграційні потоки, зростання політичного радикалізму і екстремізму, кліматичні і техногенні катастрофи, щоби отримати сумну картину загальної нестабільності, нестійкості і невизначеності (Бакіров, 2025). До цих чинників турбулентності, підвищеної ризикогенності слід додати і війну в Україні. Є. Головаха зазначає, що російсько-українська війна принесла українському народові величезні страждання, катастрофічні збитки в економіці, інфраструктурі та довкіллі. Але, якщо десять років тому українське суспільство перебувало в стані хаотичної трансформації з невиразним вектором розвитку та відкладеним пострадянським транзитом, то нині, внаслідок спротиву повномасштабній агресії, суспільство чітко визначилося на користь європейського цивілізаційного курсу (Головаха, 2025).

Для збереження цивілізації, зокрема європейської неабияке значення має її відповідальне глобальне лідерство. Слід зазначити, що глобальне лідерство є однією з провідних цілей Європейського Союзу як впливового міжнародного об'єднання, яке сьогодні переживає внутрішні суперечності та протистоїть глобальним викликам. Однією із останніх спроб ЄС зміцнити свій вплив є запровадження у 2021 році глобальної стратегії Global Gateway, яка спрямована на розвиток розумних, чистих і безпечних зв'язків у різних секторах, зокрема цифровому, транспортному та енергетичному, а також на зміцнення систем освіти, охорони здоров'я та наукових досліджень у світі. На її реалізацію заплановано фінансування до 300 млрд. євро задля розумних інвестицій в якісну інфраструктуру із дотриманням найвищих стандартів, як екологічних, так і соціальних, та збереженням непорушності основних принципів і цінностей ЄС (Івасечко&Цебенко, 2024). З метою реалізації зазначених напрямів, а також сприянню екологізації економіки, Постановою Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р., № 684 затверджено «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем». Дані та інформація, одержані в рамках функціонування системи моніторингу та її підсистем, є складовими частинами автоматизованих інформаційних систем, що створені для забезпечення їх функціонування та відображаються на Єдиній екологічній платформі «ЕкоСистема». Її складовими є моніторинг атмосферного повітря; моніторинг вод; моніторинг земель та ґрунтів; моніторинг лісів; моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття; моніторинг у сфері управління відходами; моніторинг геологічного середовища; моніторинг впливу фізичних факторів (температура, шум, вібрація, іонізуюче та неіонізуюче випромінювання) (*Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем*, 2024). Ефективне функціонування системи моніторингу має сприяти зниженню ризикогенності соціуму.

Також велику ризикогенність має сфера, що пов'язана із розвитком та впровадженням (особливо неконтрольованим) штучного інтелекту (ШІ). Тому ризики, що пов'язані з ШІ, більшою мірою знаходяться у центрі уваги ухваленого 13 березня 2024 року Європарламентом (набув чинності у Євросоюзі 1 серпня 2024 року) першого у світі Закону ЄС про штучний інтелект (AI Act), який регулює розробку та використання ШІ. Згідно нього, пріоритетом є забезпечення того, що системи штучного інтелекту будуть безпечними, прозорими, можуть бути відслідковуваними, не дискримінаційними та екологічно безпечними. Провідною темою цього закону є обґрунтування необхідності регулювання ШІ на підставі його потенційних ризиків і їх впливу на суспільство. 17 травня 2024 року Радою Європи було ухвалено «Рамкову конвенцію про штучний інтелект, права людини, демократію і верховенство права», що відкрита для приєднання також для країн за межами Європи, охоплює усі аспекти застосування і ризиків, пов'язаних із застосуванням ШІ в контексті дотримання прав людини, поваги до демократичних стандартів і верховенства права (Ємець, 2024). Велика частина роботи у цьому напрямі вже зроблено в нашій країні, оскільки вже з жовтня 2019 року Україна приєдналася до Рекомендацій Організації економічного співробітництва і розвитку з питань штучного інтелекту, а у 2020 році розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р., № 1556-р. схвалено Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні, яка визначала наявність низької проблем у розвитку ШІ в Україні та основні напрями діяльності у цьому контексті (*Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні*, 2020). Неабияке значення мало розроблення у 2023 році Дорожньої карти з регулювання ШІ в Україні, яка мала допомогти українським компаніям підготуватися до ухвалення в Україні закону, що став би аналогом європейського AI Act, а громадянам – навчитися захищати себе від ризиків ШІ, а також Білої книги з регулювання ШІ в Україні, яка була підготовлена за підтримки Агентства США з міжнародного розвитку в рамках Проєкту USAID «Кібербезпека критично важливої інфраструктури України» та Проєкту «Підтримка цифрової трансформації» за підтримки USAID і UK Dev із залученням до її розробки експертів з громадського сектору, бізнесу, державних посадовців, науковців (Соболева, 2024). Важливим елементом стратегії є розробка механізмів підтримки й розвитку культури співрегулювання і саморегулювання у цій сфері, а саме – системи кодексів добровільної поведінки для бізнесу задля укріплення довіри між громадянами

та розробниками ШІ. Так, вже розроблено рекомендації з відповідального використання штучного інтелекту у сфері освіти, медіа, дотримання прав людини та захисту персональних даних, готельного бізнесу.

Отже, незважаючи на багатовікові зусилля науковців, представників широких кіл громадськості, глобальний світ перебуває у стані все більшої турбулентності, конфліктності, ризикованості, що актуалізує необхідність подальших мультидисциплінарних досліджень у цьому напрямі.

1. Бакіров, В. (2025). *Жити в турбулентному світі*. [https://isnasu.org.ua/popsci/028_Bakirov - Zhyty v turbulentnomu sviti.php](https://isnasu.org.ua/popsci/028_Bakirov_-_Zhyty_v_turbulentnomu_sviti.php)
2. Бек, У. (2015). *Влада і контрвлада у добу глобалізації. Нова світова політична економія*. (О. Юдіна, Пер.). Ніка-центр. (Оригінал опубліковано 2002 р.)
3. Головаха, Є. (2025). *Виступ директора Інституту соціології на Сесії Загальних зборів Відділення історії, філософії та права НАН України*. https://isnasu.org.ua/news/news_item.php?id=vystup-dyrektora-na-sesii-zagalnyh-zboriv
4. *Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем*. (2024, 13 червня). Схвалено Постановою Кабінету Міністрів України № 684. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-p#Text>
5. Ємець М. (2024, 17 травня). *Рада Європи ухвалила першу конвенцію щодо штучного інтелекту*. <https://www.eurointegration.com.ua/news/2024/05/17/7186177/>
6. Івасечко, О.Я., Цебенко, О.О. (2024). Глобальна стратегія ЄС Global Gateway: імплементація інфраструктурних проєктів на рівні ЄС-АСЕАН. У *Сталий розвиток ЄС – кращі практики для України*. (с.77-82). Національний університет «Львівська політехніка». [https://www.researchgate.net/publication/379832284_STALIY_ROZVITOK_ES - KRASI PRAKTIKI DLA UKRAINI](https://www.researchgate.net/publication/379832284_STALIY_ROZVITOK_ES_-_KRASI_PRAKTIKI_DLA_UKRAINI)
7. *Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні*. (2020, 2 грудня). Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1556-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-p/print>
8. Майструк, Н. (2024). Нові та старі ризики в контексті глобалізації та війни в Україні / Українська соціологічна думка в пошуках шляхів соціально-економічного розвитку. *Соціологія: теорія, методи, маркетинг*, 2024, 2, 178-204, 199-201.
9. Скокова, Л. (2022). Системні ризики в нестабільному суспільстві: соціальні та культурно-інформаційні виміри. За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 22 грудня 2021 року. *Вісник НАН України*, 2022, №2, 44-56. http://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2022_2_8.pdf
10. Соболева, К. (2024, 2 липня). *Штучний інтелект у лежачах закону: Мініцифри презентувало Білу книгу з регулювання ШІ в Україні*. <https://mind.ua/publications/20275687-shtuchnij-intelekt-u-leshchatah-zakonu-minicifri-prezentovalo-bilu-knigu-z-regulyvannya-shi-v-ukrayini>
11. Beck, U. (1986). *RISIKOGESELLSCHAFT. AUF DEM WEG IN EINE ANDERE MODERNE*. Suhrkamp.
12. Eurointegration. (б.д.). У ЄС набув чинності Закон про штучний інтелект. Взято 1 серпня 2024 з <https://www.eurointegration.com.ua/news/2024/08/1/7191323/>
13. Habermas, J. (2004). *Der gespaltene Westen*. Suhrkamp Verlag.
14. WEF. *The Global Risks Report 2025*. <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2025/>

СТАНДАРТИ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРАВА ЄС СЕРЕД УМОВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ ТА РИЗИКИ ЇХНЬОГО ВИКРИВЛЕННЯ

Використання енергії та викопне паливо є не єдиними факторами, що сприяють забрудненню навколишнього середовища. Якщо публічно-правові інституції неефективні, екологічна політика щодо скорочення відтоку вуглецю може бути поставлена під загрозу. Екологічна чиста політика суттєво посилюється якісними інститутами, політичною стабільністю, верховенством права, домінуванням доброчесності над корупцією, організаційно-правовими спроможностями уряду, а також зростаючими тенденціями у фінансових технологіях. Протягом останнього десятиліття фінанси, гроші та бізнес були революціонізовані FinTech, що включає криптовалюти, краудфандинг, блокчейн, онлайн-банкінг, мобільні платежі та веб-сайти. FinTech відповідальний за підвищення фінансової інклюзії та збільшення економічного зростання. Рішення, що надаються FinTech, допомагають мінімізувати відходи та забруднення, а також максимізувати використання відновлюваних джерел енергії для організацій та людей. Фінтех-центри, хмарні обчислення та швидкісний Інтернет призводять до покращення використання енергії та викидів вуглецю. Водночас робота фінтех-технологій заснована на енерговитратній потужній інфраструктурі і пристроях. Їхнє створення потребує видобутку величезних обсягів корисних копалин, під час якого відбуваються викиди вуглецю. На додаток до цього їхня амортизація призводить до накопичення небезпечних речовини у вигляді відходів електроніки та її утилізації [1, с. 1]. Екологічна ефективність є зв'язком між використанням ресурсів та його впливом на довкілля, й, відповідно, ключовою умовою для досягнення сталого розвитку [2, с. 11].

На 21-му пленарному засіданні 16 червня 1972 р. Конференція ООН вперше визначила, що збереження та поліпшення якості навколишнього середовища є важливою проблемою, що впливає на добробут народів та економічний розвиток усіх країн світу; це є вираженням волі народів усього світу та обов'язком урядів усіх країн (п. 2). Людина є творінням і водночас творцем свого довкілля, що забезпечує її фізичне існування та надає їй можливості для інтелектуального, морального, соціального та духовного розвитку. У ході довгої і болісної еволюції людства на нашій планеті було досягнуто такої стадії, на якій в результаті прискореного розвитку науки і техніки людина набула здатності перетворювати численними шляхами і в небачених досі масштабах своє довкілля. Обидва аспекти оточуючого людину середовища, як природного, так і створеного людиною, мають вирішальне значення для її добробуту і для здійснення основних прав людини, включаючи навіть право на саме життя (п. 1). Останні документи загальносвітового масштабу з імперативними екологічними нормами з'явилися у вигляді Паризької угоди про зміну клімату від 19.12.2015. У цій угоді низка екологічних зобов'язань, які у кращому випадку виконує ЄС і деякі учасники групи держав з G7, зокрема щодо заходів для утримання приросту глобальної середньої температури набагато нижче 2 °C понад доіндустріальних рівнів та докладання зусиль з метою обмеження зростання температури до 1,5 °C, визнаючи, що це значно скоротить ризики та вплив зміни клімату (аб. а) п. 1 ст. 2); стосовно надання підтримки країнам, що розвиваються, включаючи фінанси, для здійснення підвищення опірності до зміни клімату та скорочення викидів парникових газів, у тому числі для зміцнення спільних дій у галузі розробки та передачі технологій на різних етапах технологічного циклу, з метою забезпечення балансу між підтримкою запобігання зміні клімату та підтримкою адаптації (п. 6 ст. 10) [3].

З тих пір життя людства почали суттєвою мірою визначати віртуальні активи, ІІІ та інші кібернетичні інструменти розвитку. Електромобілі і запуски космічних ракет стали масовими явищами. Війна зовнішнього агресора з його союзниками проти України безпрецедентно руйнівною як для антропогенної екосистеми, так й для інших природних систем. Жодних новацій міжнародного екологічного права, що зумовлені енергетичними витратами на

генерацію криптовалют, живлення роботи обладнання для ІІІ, руйнування озонового шару ракетами та усі інші технологічні тренди не з'явилося. «Економічні злочини, такі як корупція, «зелена» злочинність, шахрайство та торгівля наркотиками, є поширеними проблемами, що генерують значні фінансові прибутки для злочинців. ... За оцінками Управління ООН з наркотиків і злочинності, щороку у світі відмивається від 800 до 2 трильйонів доларів, що становить 2–5 % світового ВВП. ... Боротьба з екологічними злочинами вимагає цілісного підходу, який інтегрує соціально-економічні фактори та структури управління із заходами боротьби з відмиванням коштів, підкреслюючи важливість міжнародної співпраці та посиленого екологічного управління» [4, с. 1, 13].

Очевидно, що ООН суттєво відстає у вирішенні екологічних питань людства, які є глобальними і не можуть бути вирішені в межах хоча й прогресивної у сфері захисту природи, проте всього-навсього регіональної спільноти ЄС. Хоча ця відсталість екологічних зусиль ООН цілком логічна частина її загальної неспроможності забезпечити фундаментальні права людини у вигляді профілактики, недопущення і/або оперативного припинення війн. Наприклад, така послабленість ООН для України означає можливість розраховувати на допомогу у відшкодуванні екологічної шкоди, що завдана зовнішнім військовим агресором, тільки у вигляді висновків і рекомендації від Комісії ООН з питань компенсації цієї шкоди, й перед цим ще чималим викликом залишається створення цієї комісії, оперативність, доброчесність та якість її роботи. Відповідно визначальною є адміністративна, правова і фінансова допомога Україні від ЄС у подоланні руйнівних для природи наслідків війни та адаптацію його прогресивних екологічних стандартів права до національного простору, зокрема й у межах євроінтеграційних процедур.

Зелене / екологічне споживання стане потужною рушійною силою трансформації зеленої економіки. Зелене споживання стосується споживання, спрямованого на мінімізацію негативного впливу різних продуктів на навколишнє середовище, включаючи купівлю зелених продуктів та мінімізацію впливу на навколишнє середовище під час логістики, використання та відходів різних продуктів. Спостерігається великий розрив між поточною моделлю споживання та зеленим споживанням у країнах з низькими показниками захисту довкілля від руйнівного впливу людської діяльності. Домінуюча у світі модель використання природи характеризується величезними втратами її ресурсів, що спричинено надмірним споживанням та його неправильним режимом, відставання концепції споживання, марнування ресурсів, спричинене незеленими продуктами тощо. Зелене споживання сприяє досягненню сталого економічного та соціального розвитку та створенню сприятливого виробничого середовища. Оскільки зелене споживання вимагає більших витрат та фінансового тягаря для прийняття громадськістю, зовнішнє політичне втручання відіграє важливу роль для стимулювання і примусу до дотримання вимог екологічного права [5, с. 1]. Фірми несуть основну відповідальність за скорочення викидів вуглецю шляхом удосконалення своїх виробничих процесів та підвищення енергоефективності. При цьому уряди відіграють вирішальну публічно-управлінську роль, впроваджуючи та забезпечуючи дотримання екологічних норм. Однак корумпованість публічної влади призводить до зниження енергоефективності, погіршення екології та зменшення результатів сталого розвитку [2, с. 11].

Взірцевим у цьому відношенні залишається тільки система вимог екологічного права у країнах Європи. Основні положення екологічного права ЄС містяться у Договорі про функціонування ЄС від 25.03.1957 (ст. 11, 191-193), Єдиному європейському акті від 17.02.1986 (розділ VII склав першу правову основу для спільної політики ЄС у сфері збереження якості довкілля, захист здоров'я людини та забезпечення раціонального використання природних ресурсів), Маастрихтському договорі від 07.02.1992 (розділ XVI), стаття 3с Амстердамському договорі від 02.10.1997 (стаття 3с), Лісабонському договорі від 13.12.2007 (сталий розвиток і протидія зміні клімату були визначені пріоритетом) тощо.

ЄС і Британія у 2024 р. складають першу 20 країн за Індексом екологічної ефективності (Environmental Performance Index; відображає 58 показників з 11 категорій питань – пом'якшення наслідків зміни клімату, забруднення повітря, управління відходами, сталістю рибальства та

сільського господарства, вирубкою лісів, захист біорізноманіття тощо) і обіймають 13 місць у першій 20 країн у Глобальному індексі інновацій (Таблиця) [6; 7].

Перша десятка країн в Індексі екологічної стійкості і Глобальному індексі інновацій 2024 р.

Місце країни в Індексі екологічної стійкості і Глобальному індексі інновацій 2024 р.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бали зі 100 можливих країни в Індексі екологічної стійкості 2024 р.									
Естонія	Люксембург	Німеччина	Фінляндія	Британія	Швеція	Норвегія	Австрія	Швейцарія	Данія
75.7	75.1	74.5	73.8	72.6	70.3	69.9	68.9	67.8	67.7
Бали зі 100 можливих у Глобальному індексі інновацій 2024 р.									
Швейцарія	Швеція	США	Сінгапур	Британія	Південна Корея	Фінляндія	Нідерланди	Німеччина	Данія
67.5	64.5	62.4	61.2	61.0	60.9	59.4	58.8	58.1	57.1

Корупція пригнічує екологічне споживання й, з боку виробництва послаблює якість продукції та екологічні інвестиції; з боку продажу – витрати на продаж та частку ринку екологічної продукції; з боку споживання, зменшує розкриття урядової інформації та екологічну відповідальність [5, с. 1]. Схожість передових досягнень країн за обома індексами демонструє часткову кореляції захисту довкілля з технологічними спроможностями сучасних економік, й так само обидва індекси співвідносяться зі свободою від корупційних викривлень доброчесних практик застосування правового законодавства, повноцінне забезпечення якої у правовій реальності завжди перманентний виклик для будь-якої країни. Наприклад, у країнах ЄС ці кореляції повніше, а ось показовою ілюстрацією розбіжностей у цих взаємозв'язках є Південна Корея, яка за індексом екологічності обіймає 58-ме місце з 50.6 балами, інноваційність демонструє суттєво вищу, посідаючи 6 місце у світі, а за індексом сприйняття корупції – 31 місце з 64 балами [8]. Серед її останніх технологічно-екологічних досягнень наведемо приклад з науковим відкриттям колективу вчених під керівництвом г. н. с. Джу-Юл Лі з Корейського інституту матеріалознавства (한국재료연구원), що полягає у розробці першої у світі екологічно чистої технології срібного (Ag / 은) покриття напівпровідників, медичних пристроїв, оптичних датчиків та інших електронних компонентів, де використовується кислотний розчин на основі сполук фосфору (P), який успішно створює однорідні та стабільні тонкі плівки. Цей метод дозволяє проводити сріблення без використання високотоксичного ціаніду [9, с. 1].

Отже, прогресивність екологічних вимог законодавства на прикладі високорозвинених країн ЄС аксіоматична, оскільки у них відображено публічний інтерес, який домінує над будь-яким приватним інтересом, та інноваційність, що зумовлює стале економічне зростання і національну безпеку нації на тлі нинішніх загроз. Усуваючи власним предметом зазначений конфлікт інтересів, будь-яка норма екологічного матеріального і процесуального законодавства антикорупційна. Екологічний компонент безпеки націй передбачає кореляцію переслідування будь-ким прибутку і/або іншої вигоди як всередині країни, так і ззовні, з покращенням природних умов життя людей. Нинішній критичний стан екології на Землі означає збереження корупційних викривлень в сфері екології на користь приватного інтересу, що робить сталість економічного прогресу ефемерним. Вирішення екологічних проблем у кореляціях зі стійким розвитком людства вимагає від формалізованих вимог екологічного права динаміки, яка надолужує втрати публічного інтересу і забезпечує випередження ним приватного інтересу в сфері охорони природи від негативного антропогенного впливу. Достатньою, але завжди тимчасовою, підставою відхилення від цієї закономірності соціального поступу є тільки внутрішньо-національна і транснаціональна нерівномірність економічного розвитку, що історично детермінована. Відповідно екологічні законодавчі перетворення та конструктивні практики

правозастосування корисні тоді, коли вірно враховують соціальний контекст і забезпечують стійку рівновагу між інтересами економічно сильно розшарованих соціальних спільнот (націй, громад, трудових колективів, сімей): розвинених і тих, які ще розвиваються. Інакше екологічні правила не забезпечують публічний інтерес, втрачають свій антикорупційний потенціал, переслідуючи забезпечення приватного інтересу економічно домінуючої соціальної спільноти (класу, нації, держави і т.д.).

1. Shahida, M. N., Zahida, Z., Sherb, F., Ishtiaq, M. Impact of FinTech and control of corruption on environmental sustainability. *Journal of Economic Criminology*. 2025. Vol. 8. С. 1-10. doi.org/10.1016/j.jeconc.2025.100162
2. Yang, Y., Chih, S.-H., Chiu, C.-R. Association between the environmental efficiency and corruption perception index: A dynamic alternative metafrontier SBM approach. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 374. P. 1-12. doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124046
3. On The Human Environment: report of the United Nations Conference. A/CONF.48/14/Rev.1. 5-16 June 1972. Stockholm. URL: digitallibrary.un.org/record/523249?v=pdf
4. Andiojaya, A. Do stronger Anti Money Laundering (AML) measures reduce crime? An empirical study on corruption, bribery, and environmental crime. *Journal of Economic Criminology*. 2025. Vol. 8. P. 1-15. doi.org/10.1016/j.jeconc.2025.100157
5. Lu, J., Li, H. The impact of environmental corruption on green consumption: A quantitative analysis based on China's Judicial Document Network and Baidu Index. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2023. Vol. 86. P. 1-12. doi.org/10.1016/j.seps.2022.101451
6. Environmental Performance Index. 2024. URL: epi.yale.edu/measure/2024/epi
7. Global Innovation Index 2024 rankings. URL: wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/
8. Corruption Perceptions Index 2024. URL: www.transparency.org/en/cpi/2024
9. Lee, S. Lee, Ju-Yul, Kim, Y., Kim, S. Electroplating behavior of a phosphorous-based cyanide-free silver electrolyte in an acidic environment. *Electrochimica Acta*. 2025. Vol. 523. P. 1-9. doi.org/10.1016/j.electacta.2025.145902

Нестер Анатолій
Хмельницький національний університет

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ-ПРИКЛАД УКРАЇНИ

У XXI столітті питання екологічної безпеки стало ключовим викликом для глобальної спільноти. Країни Європейського Союзу (ЄС), усвідомлюючи загрози, які несе зміна клімату, деградація природних ресурсів та зростання викидів парникових газів, активно впроваджують стратегії з екологізації економіки. Це – комплексний процес переходу від традиційної, ресурсоємної економіки до моделі "зеленої" економіки, яка базується на принципах сталого розвитку, енергоефективності, циркулярності та зниження екологічного впливу.

Успішна екологізація економіки потребує також активної участі суспільства, бізнесу та наукових установ, а також тісної співпраці між державами-членами ЄС.

Одним з найважливіших питань екологічної безпеки України та країн Європи є декарбонізація енергетики тобто розвиток відновлюваних джерел енергії, відмова від вугілля та атомної енергії. Цей процес передбачає значне скорочення викидів парникових газів, які виникають під час виробництва та споживання енергії, через відмову від традиційних джерел енергії – вугілля, нафти та у ряді країн – атомної енергії, а також масштабне впровадження відновлюваних джерел енергії.

ЄС послідовно інвестує у розвиток таких джерел, як сонячна енергія, вітрова та гідроенергетика, біомаса, біогаз та геотермальна енергія. У 2023 році понад 40% електроенергії в ЄС було вироблено з відновлюваних джерел, і цей показник постійно зростає. Особливо

динамічно розвивається вітрова енергетика у Німеччині, Данії, Іспанії та сонячна – у Греції, Італії, Нідерландах.

В Україні станом кінець 2020 року встановлено СЕС загальною номінальною потужністю 6320 МВт без урахування близько 407,9 МВт потужностей, які перебувають на окупованій Росією території, які генерують 1,265 млрд кВт·год електроенергії. Частка СЕС на перший квартал 2021 року у загальній генерації України складає близько 6 %. А враховуючи що в Україні річне надходження сонячного випромінювання перебуває на одному рівні з країнами, які активно використовують сьогодні сонячні колектори (Швеція, Німеччина, США), то у нас ще є достатньо можливостей для зменшення декарбонізації.

Вугілля – найбільш «брудне» джерело енергії – поступово зникає з енергетичних балансів країн ЄС. Так Німеччина планує повністю відмовитись від вугілля до 2038 року, хоча існують пропозиції пришвидшити цей термін, а Франція, Бельгія, Австрія та Швеція вже закрили свої останні вугільні електростанції. А Європейський інвестиційний банк з 2022 року не фінансує проекти, пов'язані з викопним паливом.

Ведеться дискусія навколо атомної енергетики тому що ставлення в ЄС до цієї проблематики неоднозначне. Деякі країни, як-от Франція, продовжують активно експлуатувати АЕС і навіть будувати нові, вважаючи атомну енергію "низьковуглецевою". Інші ж країни, як Німеччина, Італія, Австрія, розглядають її як ризиковану з точки зору екології та безпеки й повністю відмовились від неї. Євросоюз у 2022 році включив атомну енергію до таксономії зелених інвестицій за певних умов, що викликало суперечки серед держав-членів.

ЄС планує до 2030 року скоротити викиди парникових газів на щонайменше 55% від рівня 1990 року та до 2050 року стати вуглецево нейтральним континентом. Декарбонізація енергетики – не просто технічне завдання, а фундаментальний компонент зеленої трансформації ЄС. Вона забезпечує як зменшення екологічного навантаження, так і формує нові економічні можливості у сферах ВДЕ, "зелених" технологій, інноваційного виробництва та зайнятості.

В умовах кліматичної кризи та зростаючих екологічних викликів промислова трансформація стала одним із ключових пріоритетів політики Європейського Союзу у рамках Європейського зеленого курсу (European Green Deal). Метою цієї трансформації є перехід від традиційного, ресурсо- та енергоємного виробництва до інноваційної, низьковуглецевої, ресурсоефективної та стійкої промисловості. Чисті технології (clean tech) – це інноваційні технологічні рішення, які дозволяють зменшити викиди CO₂ та інших забруднювачів, знизити споживання води, енергії та сировини, впровадити замкнуті цикли виробництва, використовувати екологічно безпечні матеріали. Через це ЄС активно інвестує у розвиток зеленого водню як майбутньої альтернативи викопному паливу, електрифікації промислових процесів, уловлювання та зберігання вуглецю, роботизації та автоматизації, що дозволяє підвищити ефективність виробництва.

Країни ЄС також підтримують розвиток екодизайну (ecodesign) тобто підхід до створення товарів, який враховує повний життєвий цикл продукту: від виробництва до утилізації. Він дозволяє зменшити використання шкідливих речовин, полегшити ремонт, повторне використання і переробку, зменшити кількість відходів. З 2021 року в ЄС діє оновлена директива з екодизайну, яка поширюється не лише на побутову техніку, а й на промислове обладнання, електроніку та інші товари.

Сталий ланцюг постачання означає, що на всіх етапах – від видобутку сировини до постачання кінцевому споживачу – дотримуються принципи екологічної безпеки, соціальної відповідальності (відсутність дитячої праці, гідні умови праці), прозорості та простежуваності джерел.

ЄС зобов'язує великі компанії запроваджувати ESG-звітування (екологічні, соціальні, управлінські показники) та відповідати стандартам корпоративної відповідальності за сталий розвиток. Крім того, у 2023 році був ухвалений Регламент про екологічні претензії (Green Claims Directive), що забороняє "зелене" маніпулювання (greenwashing) і зобов'язує бізнес доводити свої "зелені" заяви доказами.

Промислова трансформація неможлива без інноваційної екосистеми. ЄС підтримує підприємства через програми Horizon Europe, NextGenerationEU, InvestEU та концепції людиноцентричного, сталого та стійкого виробництва. Промислова трансформація країн Європейського Союзу – це не лише відповідь на екологічні виклики, але й стратегічна інвестиція в економіку майбутнього. Впровадження чистих технологій, екодизайну та сталих ланцюгів постачання створює передумови для конкурентоспроможної, інноваційної та кліматично нейтральної промисловості, що є основою зеленого майбутнього ЄС.

У традиційній (лінійній) моделі економіки ресурси добуваються, використовуються та утилізуються, часто – у вигляді відходів, які не піддаються подальшій переробці. Такий підхід призводить до надмірного виснаження природних ресурсів, забруднення навколишнього середовища та зростання кількості відходів. У відповідь на ці виклики країни Європейського Союзу впроваджують модель циркулярної економіки, яка базується на максимальному продовженні життєвого циклу ресурсів.

Основні принципи циркулярної економіки можна визначити наступним напрямками:

- зменшення відходів – шляхом оптимізації виробничих процесів та використання меншої кількості матеріалів;
- переробка та повторне використання – вторинна сировина стає повноцінним ресурсом у новому виробничому циклі;
- дизайн для циклічності – продукти створюються з урахуванням їх подальшої переробки, ремонту чи розбирання;
- споживання як послуга – перехід від володіння речами до їх оренди, обміну чи спільного використання (наприклад, шерингова економіка);
- відновлення природних систем – зменшення тиску на довкілля та відновлення біорізноманіття.

Європейський Союз розробив план дій для циркулярної економіки (Circular Economy Action Plan) у межах Європейського зеленого курсу, який передбачає встановлення чітких вимог до екодизайну продуктів (розширення дії Ecodesign Directive), розвиток ринку вторинної сировини, заборону одноразових пластиків, стимулювання ремонту, повторного використання та обміну товарів, обов'язкове маркування екологічного сліду товарів, та впровадження розширеної відповідальності виробника тобто – виробники відповідають за утилізацію своїх товарів.

Циркулярна економіка охоплює як побутову, так і промислову сферу. Зокрема, активно розвивається *Upscycling* – створення нових продуктів з використаних матеріалів, індустриальна симбіоз – коли відходи однієї компанії стають ресурсом для іншої, та біоекономіка – переробка органічних відходів у біогаз, біопластик або добрива.

Як висновок можна стверджувати що циркулярна економіка – це не просто нова модель споживання та виробництва, а фундаментальна зміна підходу до ресурсів, екології та економіки загалом. Країни Європейського Союзу, переходячи до циркулярних моделей, не лише скорочують шкідливий вплив на довкілля, але й створюють нові робочі місця, розвивають інноваційні галузі та зменшують залежність від імпортової сировини.

Успішне впровадження зеленої трансформації потребує значних фінансових ресурсів. Екологічна модернізація енергетики, транспорту, промисловості, інфраструктури, сільського господарства та інновацій – усе це вимагає інвестицій на сотні мільярдів євро щороку. Саме тому зелене фінансування стало ключовим інструментом для формування сталого та кліматично нейтрального майбутнього Європейського Союзу.

Зелене фінансування – це процес мобілізації фінансових ресурсів (інвестицій, кредитів, грантів, облігацій) для реалізації проектів, що зменшують викиди парникових газів, сприяють адаптації до змін клімату, розвивають відновлювану енергетику, захищають біорізноманіття та екосистеми, підтримують циркулярну економіку, скорочують забруднення повітря, ґрунту та води.

У 2020 році ЄС представив стратегію зі сталого фінансування, яка передбачає створення єдиного фінансового середовища, що сприятиме «зеленим» інвестиціям. Основні інструменти цієї політики:

– -таксономія ЄС це офіційна система класифікації економічної діяльності, яка вважається екологічно сталою. Вона допомагає інвесторам визначити, які проєкти справді «зелені», запобігає greenwashing'у (нечесному просуванню як «екологічних» неекологічних проєктів), сприяє прозорості фінансового ринку;

– -зелені облігації (Green Bonds) це інструмент, за допомогою якого уряди, банки чи компанії залучають кошти для реалізації екопроєктів. ЄС запровадив стандарт EU Green Bond Standard, який уніфікує вимоги до таких облігацій;

– -програми фінансування, серед яких InvestEU – підтримка екологічних проєктів через Європейський інвестиційний банк (EIB), NextGenerationEU – масштабний відновлювальний фонд, з якого щонайменше 37% коштів мають бути спрямовані на "зелені" цілі та механізм справедливого переходу (Just Transition Mechanism) – допомога регіонам, що найбільше залежать від викопного палива.

Зелений мандат для Європейського інвестиційного банку (EIB) став офіційно "кліматичним банком ЄС", який до 2025 року має спрямовувати половину всіх інвестицій на кліматичні проєкти. За оцінками Єврокомісії, для досягнення кліматичних цілей до 2030 року ЄС щороку потребує щонайменше 350 млрд євро "зелених" інвестицій. У 2022 році обсяг зелених облігацій у ЄС перевищив 300 млрд євро. Більше 60% європейських інвесторів враховують екологічні фактори при ухваленні фінансових рішень.

Як висновок можна зафіксувати, що зелене фінансування є ключовим елементом переходу Європейського Союзу до сталого та кліматично нейтрального майбутнього. Воно не лише забезпечує необхідні кошти для реалізації екологічних проєктів, а й формує нову фінансову культуру, в якій економічна вигода поєднується з відповідальністю перед планетою. Розбудова ефективної системи зеленого фінансування – це стратегічна інвестиція у здорове довкілля, стабільну економіку та добробут майбутніх поколінь.

Транспорт є одним з найбільших джерел парникових газів у Європейському Союзі: він генерує близько 25% усіх викидів CO₂, з яких лівова частка припадає на дорожній транспорт. У зв'язку з цим розвиток екологічної мобільності став стратегічним напрямком зеленої трансформації в межах Європейського зеленого курсу.

Екологічна мобільність передбачає перехід від залежності від викопного палива до стійких, безпечних і доступних видів транспорту, що зменшують вплив на довкілля та покращують якість життя громадян. Одним із пріоритетів є модернізація та популяризація громадського транспорту, зокрема:

-електрифікація автобусів та трамваїв;

-використання водневого палива;

-інтеграція квиткових систем (один квиток – кілька видів транспорту);

-розвиток приміського та регіонального залізничного транспорту.

Німеччина запровадила 49-євровий щомісячний квиток на весь громадський транспорт країни, щоб зменшити використання приватних авто.

Франція активно інвестує в нові трамвайні маршрути та інфраструктуру для електробусів.

Перехід до електромобільності – ще один ключовий компонент екологічної мобільності. У межах стратегії "Fit for 55" ЄС ухвалив рішення заборонити продаж нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння з 2035 року, розвивати мережу зарядних станцій (ЄС ставить за мету мати зарядну станцію кожні 60 км на основних автомагістралях), стимулювати купівлю електромобілів через гранти та податкові пільги.

Нідерланди, Швеція та Норвегія (не член ЄС, але в зоні ЄЕЗ) демонструють найвищі показники електромобілізації: у деяких регіонах частка електрокарів серед нових авто перевищує 80%.

Розвиток екологічної мобільності у країнах ЄС – це не просто транспортна модернізація, а перехід до нової якості життя, зниження забруднення повітря, зменшення заторів і викидів CO₂, підвищення безпеки та зручності пересування. Стійкий транспорт – це фундамент зеленого та комфортного майбутнього міст і громад у Європейському Союзі. Україна намагається не

відставати від світових трендів та планує вже через 10 років значною мірою перейти на екологічні види транспорту, зокрема громадського

Розвиток велосипедного транспорту – це не лише екологічно, а й економічно вигідне рішення для міст. Створюються велошосе, виділені смуги, велопарковки, запроваджуються державні програми субсидування купівлі велосипедів та електровелосипедів, популяризуються системи bike-sharing (велосипеди в оренду). Копенгаген (Данія) та Амстердам (Нідерланди) вважаються світовими лідерами велосипедної мобільності – понад 40% мешканців щодня пересуваються містом на велосипеді.

Завдяки своїй індивідуальній культурі та мальовничим ландшафтам Україна має потенціал для розвитку велосипедної інфраструктури. Активний відпочинок за допомогою їзди на велосипеді стає все більш поширеним за останні два десятиліття, знаменуючи значний прогрес у підході країни до цього екологічно чистого виду транспорту.

1. Волинець Л. М. (2021). Лібералізація міжнародних автомобільних перевезень – новий імпульс розвитку транспортної галузі. Економіка транспортного комплексу. 37. 161–176.

2. Кашканов А. А., Пальчевський О. В. (2022). Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. №1(18). 97-102.

3. Бондаренко І., Прокопенко В., Шененко М., Шульга К. (2021) Огляд іноземних велосипедних стратегій. Київ.

4. Сментина Н.В., Доброва Н.В. (2017). Модернізація міського електротранспорту на шляху забезпечення збалансованого розвитку міста. Економіка. Фінанси. Право. 5(2). 55-60

5. Яновицька А. В. (2013). Правове регулювання міжнародних вантажних перевезень автомобільним транспортом. Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. 3. 106–116.

Taras Ozarkiv
Lviv Polytechnic National University

ANALYTICS FOR SUSTAINABLE FINANCIAL ECOSYSTEMS IN THE EU

The challenges of ensuring the analytical development of the financial ecosystem remain highly relevant in the context of technological transformation and the implementation of the European Green Deal. The financial ecosystem is a complex, interconnected network of institutions, services, technologies, and market participants whose interaction supports the flow and accessibility of financial resources. It plays a critical role in maintaining economic stability, supporting financial inclusion, facilitating access to services and investments, and stimulating innovation. In the context of sustainable development and green transformation, the ecosystem must adapt to new requirements, including the need for transparent, data-driven decision-making.

This necessitates the development of robust analytical support capable of processing large volumes of data, identifying risks, and forecasting outcomes for green finance initiatives. As financial institutions integrate environmental, social, and governance (ESG) criteria into their operations, analytical tools become essential to measure sustainability performance, model impact scenarios, and ensure regulatory compliance. Advanced analytics, artificial intelligence, and blockchain technologies are central to this transition, providing the necessary capabilities to handle complex data environments and support strategic planning. Analytical platforms must meet specific functional requirements, including the ability to process real-time data, generate actionable insights, and ensure data security. Such platforms enhance the financial ecosystem's capacity to support sustainable finance by enabling risk assessment, transparency, and optimization of resource allocation.

The study identifies several categories of users of these platforms—regulators, financial institutions, investors, non-governmental organizations, and consumers—each with distinct interests and motivations. Classifying users based on these factors is crucial for tailoring analytical tools to diverse stakeholder needs and fostering the widespread adoption of analytical technologies. By aligning the design of analytical platforms with stakeholder expectations, financial ecosystems can improve digital maturity, increase efficiency, and support the long-term objectives of sustainable development. The technological transformation of the financial sector opens new opportunities but also introduces challenges related to data inequality, infrastructure readiness, and skills availability. Therefore, strategic investments in analytical capabilities are needed to balance innovation with resilience and inclusivity. Strengthening the analytical infrastructure will allow financial ecosystems to better manage risks, support green finance instruments, and contribute to the broader goals of the European Union’s green transition. This paper underscores the necessity of integrating advanced analytics into the strategic and operational levels of financial ecosystems. It highlights the importance of platform interoperability, scalability, and user-centered design in achieving effective analytical support. A significant contribution of this research lies in its proposed classification of analytical platform requirements, which offers a framework for institutions to select suitable tools for their needs.

The transition to a sustainable financial ecosystem is not only a technological shift but also an institutional one, requiring coordinated efforts among all participants and alignment with policy objectives. Analytical support thus becomes both a catalyst and a foundation for the green transformation of finance. Moreover, real-world applications of analytical platforms in green finance demonstrate their potential to transform how financial institutions allocate resources and evaluate risks. For instance, the use of climate risk analytics by major European banks has enabled them to integrate scenario-based stress testing into their investment models, supporting compliance with the EU Taxonomy and the Sustainable Finance Disclosure Regulation. These examples highlight how analytical ecosystems not only increase efficiency but also contribute to the alignment of private capital flows with sustainable objectives. In this context, platforms must also support multilingual environments, ensure compliance with cross-border data regulation, and incorporate real-time ESG data streams from multiple providers. In addition, further development of predictive modeling capabilities and natural language processing for regulatory texts could significantly reduce the burden on financial analysts and compliance teams.

Finally, the integration of these technologies must be supported by ongoing capacity-building initiatives, including professional education in sustainable finance and data analytics. Without the necessary human capital and cross-disciplinary expertise, even the most advanced platforms may fall short of their intended impact. Thus, a holistic approach is needed—one that combines digital innovation, institutional change, and stakeholder engagement to build resilient, transparent, and adaptive financial ecosystems that will underpin the EU’s long-term vision of a climate-neutral and equitable economy.

The table outlines their distinct and overlapping elements, including participants, objectives, technologies, challenges, and regulatory frameworks. While both are interdependent, the financial ecosystem focuses on mobilizing and directing capital towards green and socially responsible goals, whereas the analytical support system ensures transparency, efficiency, and resilience through data-driven decision-making.

Factors for Financial Ecosystem Development in the Context of the EU Green Deal

Aspect	Sustainable Development Financial Ecosystem	Analytical Support for the Financial Ecosystem
Key Participants	Financial institutions, regulators, investors, consumers, enterprises	Analytical platform developers, analysts, regulators, financial institutions
Objective	Ensuring sustainable development, supporting green financing	Supporting decision-making through data analysis, minimizing financial risks
Key Technologies	Green financial instruments, blockchain, financial technologies (FinTech)	Big data, artificial intelligence (AI), analytical platforms, machine learning

Aspect	Sustainable Development Financial Ecosystem	Analytical Support for the Financial Ecosystem
Risks and Challenges	Inequality in access to green investments, adaptation to new regulations	Complexity of technology integration, data protection, skills and training needs
Governance Principles	ESG criteria, transparency, social responsibility	Transparency of analytical processes, data accuracy, process automation
Use of Data	Assessing environmental and social investment impact, monitoring results	Risk assessment, trend forecasting, investment decision support
Tools and Platforms	Green bonds, environmental certificates, investment funds	Big data analytics platforms, BI systems, platforms for financial analysts
Impact on Business Processes	Optimization of sustainable investment, attracting responsible investors	Enhancing efficiency of business decisions, automating analytical workflows
Regulatory Requirements	Compliance with EU Taxonomy standards, sustainable finance regulations	Data transparency requirements, compliance with personal data protection laws
Development Prospects	Expansion of the green finance market, integration of sustainability in strategies	Integration of AI and ML into financial decision-making processes

The comparative analysis highlights that sustainable development of the financial ecosystem is not feasible without robust analytical support. As environmental, social, and governance (ESG) principles become central to financial operations, the role of analytics in monitoring, evaluating, and optimizing financial activities is growing rapidly. Integration of artificial intelligence, big data tools, and decision support platforms enables financial institutions to adapt to EU Green Deal objectives and address systemic risks more effectively. Strengthening analytical infrastructure, therefore, is a prerequisite for achieving a stable, inclusive, and innovative green financial future in line with the strategic goals of the European Union.

1. Krasnova, I.V., & Shcheglyuk, M.S. (2022). Innovations in the formation of financial ecosystems. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences, 308(4), 19-25. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-308-4-3>

2. Bryukhovetska, N.Yu., & Chernykh, O.V. (2020). Industry 4.0 and digitalization of the economy: Opportunities for implementing foreign experience in Ukrainian industrial enterprises. Economy of Industry, 2, 116-132.

3. Bygstad, B., & Dulsrud, A. (2020). Digital ecosystems as a unit of scientific analysis. A sociological investigation. Oslo Metropolitan University. <https://oda.oslomet.no/oda-xmlui/handle/10642/9782>

4. KPMG International. (2019). The Pulse of FinTech 2019. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/07/pulse-of-fintech-h1-2019.pdf>

5. Jacobides, M., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. Strategic Management Journal, 39(8), 2255-2276.

6. Shlapak, A.V. (2022). FinTech and BigTechs as drivers of digitalization of global financial services markets and the international capital market. Modeling the Development of Economic Systems, 3, 210-216.

7. Akerlof, G., & Shiller, R. (2015). Phishing for phools: The economics of manipulation and deception. Princeton University Press.

8. Rajan, R. (2023). Monetary policy and its unintended consequences. The MIT Press.

9. Prymostka, L.O., Krasnova, I.V., Prymostka, O.O., & Shevaldina, V.G. (2022). The paradigm shift in financial market regulation. Business Inform, 2, 89-97. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-2-89-97>

ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Вперше потребу в зміні традиційної економічної ментальності та необхідність формування нового еколого-економічного світогляду було відзначено на симпозіумі «Економічні аспекти охорони навколишнього середовища», (м. Цахкадзор, жовтень 1977 р.). Ще тоді вперше було обґрунтовано доцільність застосування ринкових підходів до вирішення проблеми охорони природи і раціонального використання природних ресурсів [1]. Проблема подолання еколого-економічних суперечностей ринкової економіки за допомогою гармонізації взаємодії суспільства і природи й зараз є ключовою проблемою сучасності, а дослідження внутрішніх глибинних суперечностей між суто економічними та екологічними вимогами є важливим науковим питанням. Середовище життєдіяльності людини і природні ресурси становлять матеріальну основу як економічної, так і екологічної систем. Однак традиційна економічна система враховує лише природні ресурси як сировинну базу різних секторів економіки, в той час як екологічна економіка природокористування розглядає триєдиний процес використання, охорони та відтворення об'єднаних компонентів еколого-економічної системи – навколишнього природного середовища і природних ресурсів. Природокористування, як і взагалі увесь процес виробництва матеріальних благ, супроводжується не лише економічними затратами, а й екологічними ефектами: змінами у просторі та часі якості навколишнього середовища, кількості та якості природних ресурсів. Ці зміни можуть мати як позитивний, так і негативний характер: поліпшення або погіршення природних умов життєдіяльності, зростання чи зниження кількості та якості природних ресурсів. Компенсаційні витрати на відтворення якісних умов природного середовища повинні відповідати рівню інтенсивності використання природних ресурсів та рівню забруднення навколишнього природного середовища. Розуміння цього дасть змогу підтримувати баланс між екологічною та економічною системами, забезпечувати постійний соціально-економічний прогрес суспільства.

Відсутність екологічної компоненти в традиційних економічних системах можна пояснити тим, що значна частина екологічних ефектів господарської діяльності не піддається точним економічним оцінкам, а подальший соціально-економічний розвиток суспільства є неможливим без розв'язання наявних екологічних проблем. Масштаби впливу людини на різні компоненти біосфери з року в рік розширюються, і це призводить до зміни життєво важливих параметрів довкілля. Відповідно побудова еколого-економічних математичних моделей глобального розвитку сучасного світу є актуальною задачею [2].

Моделювання та прогнозування стану довкілля являє собою систему понять і методів, націлених на відтворення, аналіз та прогноз розвитку різноманітних природних та техногенних екологічних систем на різних рівнях їх ієрархічної організації – від окремої екосистеми до національних і глобальних екосистем планети. Кількісно обґрунтовуючи методи підвищення екологічної безпеки та мінімізуючи екологічні ризики, моделювання та прогнозування стану довкілля дозволяє розробляти стратегії підвищення якості навколишнього середовища з урахуванням інтересів теперішніх та майбутніх поколінь, підтримуючи біорізноманітність та багатство природних ресурсів. Методи моделювання та прогнозування стану довкілля включають постановку задачі згідно з обраною метою, ідентифікацію досліджуваних структур, вибір оптимального методу моделювання, побудову моделі і доведення її адекватності досліджуваному процесу, варіантну реалізацію моделювання, прогноз розвитку подій та контроль за здобутими результатами. Ефективне управління екологічними ризиками та загрозами неможливе без застосування відповідної моделі досліджуваного процесу, що потребує глибоких знань та сучасних підходів до процесу моделювання стану довкілля, а також володіння основними методами моделювання в економіці та екології. Лише системний підхід до розгляду екологічних явищ і економічних проблем дає можливість робити життєздатні прогнози та рекомендації щодо оптимізації діяльності.

Для того, щоб застосувати математичні методи для дослідження реальної проблеми, сформулюємо задачу математичними термінами, тобто побудуємо математичну модель задачі. Багато явищ і процесів стосуються відносин між змінними величинами. Оскільки швидкості змін математично представлені похідними, то математичні моделі включають рівняння, що стосуються невідомої функції та однієї або декількох її похідних, тобто диференціальні рівняння. Математична модель прикладної задачі майже завжди простіша, ніж досліджувана реальна ситуація, оскільки для отримання математичної задачі, яку можна вирішити, зазвичай потрібні спрощення припущень. Хороша математична модель має дві важливі властивості: по-перше, є досить простою, щоб можна було розв'язати математичну задачу; а по-друге, має досить добре відображати реальну ситуацію, щоб розв'язання математичної задачі прогнозувало результат реальної задачі з корисним ступенем точності. Якщо результати, які прогнозовані моделлю, не узгоджуються з практичними спостереженнями, то основні припущення моделі повинні бути переглянуті до отримання задовільного узгодження.

Особливістю математичних моделей є їх базування на певному ступені їх детермінованості. Стохастичні моделі враховують деяку невизначеність взаємозв'язку входу і виходу при заданих значеннях параметрів, тобто одним і тим самим значенням вхідних параметрів можуть відповідати з деякою імовірністю різні значення вихідних параметрів. При побудові стохастичних моделей використовують методи математичної статистики. На практиці моделі з елементами стохастичного підходу більш адекватні реальності, оскільки природні явища залежать від величезного числа впливових факторів, які неможливо врахувати детерміновано одночасно.

Однією з перших спроб економіко-екологічного моделювання була модель Дж. Форрестера [3], яка містить п'ять змінних у часі параметрів: P – чисельність населення Землі, V – виробничий капітал (основні фонди), S – частка сільськогосподарського капіталу в загальному виробничому капіталі, R – невідновлювальні природні ресурси, Z – забруднення навколишнього середовища. Ці параметри визначають ряд функцій, що характеризують взаємозв'язок найважливіших економіко-екологічних факторів розвитку суспільства.

Зміна чисельності населення відображає баланс між народжуваністю B та смертністю D (з урахуванням основних демографічних залежностей):

$$dP/dt = B - D = f_1(B, D).$$

Диференціальне рівняння зменшення невідновлювальних природних ресурсів має вигляд

$$dR/dt = -PR_M = f_2(P, V, S, M_S, E_R).$$

Вважається, що природні ресурси зникають зі швидкістю, яка пропорційна до чисельності населення та деякого фактора R_M , який враховує уповільнення темпів видобутку ресурсів із зростанням матеріального рівня життя M_S . Ця залежність пов'язана з використанням природних ресурсів, перш за все, на предмети промислового виробництва, потреба в яких асимптотично прямує до насичення з підвищенням матеріального рівня життя M_S . В свою чергу, M_S виражається через параметри P , V , S та функцію $E_R(R_R)$, яка відображає зростання затрат на видобуток корисних копалин зі зменшенням їх запасів.

Динаміка капіталовкладень описується рівнянням

$$dV/dt = PC_V V_M(M_S) - V/T_V = f_3(P, M_S, C_V, T_V).$$

Функція $V_M(M_S)$ характеризує приріст вкладів коштів населення у виробництво під впливом зростання матеріального рівня життя M_S ; сталі C_V та T_V – коефіцієнти, визначені на основі вивчення інвестиційних процесів та процесів зношення основних фондів.

Динаміку сільськогосподарського капіталу

$$dS/dt = (S_F S_Q - S)/T_S = f_4(S_F, F_R, S_Q, Z, T_S)$$

описують функції S_F – вплив на величину сільськогосподарського капіталу рівня харчування F_R ; T_S – час, необхідний для перерозподілу капіталу; S_Q – залежність між сільськогосподарським

капіталом і якістю життя. В свою чергу, якість життя визначається матеріальним рівнем життя M_S , кількістю продуктів на душу населення, щільністю населення та рівнем забруднення навколишнього середовища Z .

Динаміка забруднення навколишнього середовища може бути змодельована рівнянням

$$dZ/dt = PZ_N Z_V - Z/T_Z = f_5(P, Z_N, V_R, T_Z).$$

Перший доданок описує генерацію забруднення і є пропорційним до чисельності населення P , сталої Z_N , яка відображає нормальний рівень забруднення, та функції $Z_V(V_R)$ – швидкості забруднення середовища при збільшенні граничного капіталу. Другий доданок характеризує процес природного розпаду забруднення, T_Z визначає час, який необхідний для зміни у певну кількість разів показника забруднення за відсутності нових забруднень.

Враховуючи те, що зміни в часі значної частини параметрів, які входять у вищезгадані диференціальні рівняння, має випадковий характер, то цю математичну модель можна покращити. Введемо стохастичні коефіцієнти γ_i , які характеризують ймовірності того, що відповідні явища (процеси) відбудуться. При цьому вважаємо, що $0 \leq \gamma_i \leq 1$, ($i = \overline{1,5}$). Граничне значення $\gamma_i = 0$ відповідає практичній неможливості процесу, а $\gamma_i = 1$ – достовірності його перебігу. Змінені таким чином співвідношення утворюють сукупність лінійних диференціальних рівнянь першого порядку, яка є вдосконаленням моделі Дж. Форрестера з урахуванням ймовірнісного перебігу еколого-економічних процесів:

$$\begin{cases} dP/dt = \gamma_1 f_1(B, D) \\ dR/dt = \gamma_2 f_2(P, V, S, M_S, E_R) \\ dV/dt = \gamma_3 f_3(P, M_S, C_V, T_V) \\ dS/dt = \gamma_4 f_4(S_F, F_R, S_Q, Z, T_S) \\ dZ/dt = \gamma_5 f_5(P, Z_N, V_R, T_Z) \end{cases}$$

Аналітичні та чисельні методи розв'язування таких рівнянь є добре відомими, вони зводяться до знаходження частинних розв'язків диференціальних рівнянь з відокремленими змінними. Однак обчислювальні труднощі виникають через багатопараметричність поставленої задачі [4]. Громіздкості числовим обчисленням також надає необхідність табуляції можливих значень стохастичних коефіцієнтів γ_i , ($i = \overline{1,5}$).

Зміни в поведінці функції Форрестера та закон наростання швидкості забруднення середовища із збільшенням граничного капіталу при різних значеннях стохастичних коефіцієнтів γ_i подано відповідно на рис. 1 та рис. 2. Даними для визначення функціональних зв'язків між параметрами системи є усереднені дані статистики. При граничних значеннях $\gamma_i = 1$, ($i = \overline{1,5}$) отримаємо аналог графіків вихідної моделі [3].

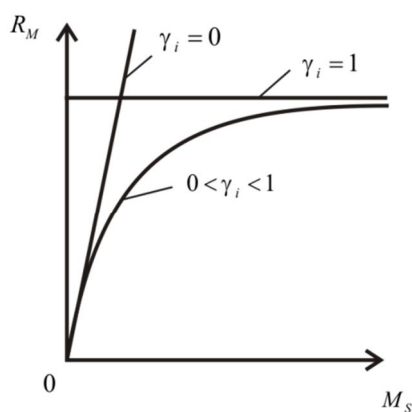


Рис. 1. Функція Форрестера

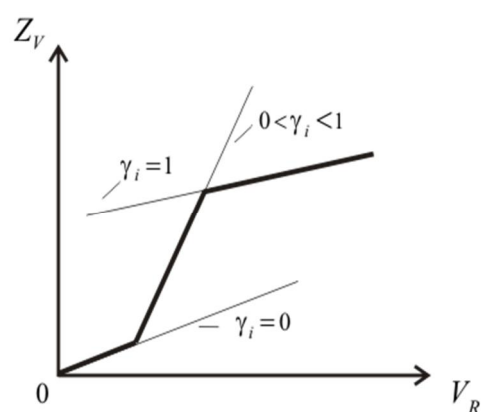


Рис. 2. Зміна швидкості забруднення

Відзначимо також, що прогнозоване зменшення природних ресурсів спричиняє спад у промисловості, оскільки зростання цін на ресурси внаслідок виснаження їхніх запасів уповільнює темпи зростання капіталовкладень та призводить до скорочення виробництва. Це відображається на рівні життя, погіршення якого спочатку призводить до зниження темпу його зростання, а згодом – і до зменшення чисельності населення. Навіть найзначиміші економічні цілі нівелюються екологічними потребами, а суспільство з ринковою економікою постає перед необхідністю видозміни своєї життєдіяльності і потребою в пристосуванні до відтворювальних можливостей природи.

В наш час, коли під впливом людини відбулися помітні зміни як живої, так і неживої природи, дедалі більшого значення набуває гармонійна взаємодія суспільства і природного довкілля, адже людина отримує від природи все необхідне для життя: енергію, продукти харчування, матеріали та отримує від неї емоційну й естетичну наснагу. Тому вкрай необхідна не лише чітка стратегія охорони природного середовища і посилення контролю за природокористуванням, а й розробка ефективних методів попередження негативного впливу господарської діяльності людини на навколишнє середовище з метою: раціонального використання природних ресурсів; профілактики забруднення довкілля промисловими відходами та транспортом; запобігання знищенню природних утворень; збереження генофонду рослинного і тваринного світів. Реалізація цих завдань неможлива без адекватного моделювання і прогнозування стану довкілля [5]. Складність такого типу моделювання полягає в необхідності достовірного відображення екологічних та економічних законів, потребі повноти статистичних даних, використанні складного математичного апарату, верифікації отриманих результатів.

1. Туниця Ю.Ю. (2006) *Екоекономіка і ринок: подолання суперечностей*. К.: Знання, 314 с.
2. Ляшенко І.М., Коробова М.В., Столяр А.М. (2006) *Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів*. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 304 с.
3. Forrester, Jay W. (1973) *World dynamics*. (2 ed.) Waltham, MA: Pegasus Communications, 144 p.
4. Охріменко М.Г., Жуковська О.А., Купка О.О. (2017) *Методи розв'язування некоректно поставлених задач*. К: Центр навчальної літератури, 166 с.
5. Onyshkevych, V., Barabash, G. (2020) Consideration of stochastic factors in the global environmental economic mathematical model. *Perspectives of world science and education. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference*. CPN Publishing group, Osaka, Japan, pp.147-153.

Печериця Іванна, Самотій Наталія
Національний Університет «Львівська політехніка»

ІНТЕГРАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ В ЕКОНОМІЧНУ ПОЛІТИКУ УКРАЇНИ : ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Сучасний світ стоїть перед серйозними екологічними викликами: зміна клімату, деградація природного середовища, виснаження ресурсів. У відповідь на ці загрози Європейський Союз активно впроваджує модель зеленої економіки як інструмент досягнення сталого розвитку. Термін «зелена» економіка на сучасному етапі не отримав однозначного визначення, оскільки відповідна концепція перебуває в стадії розробки. Згідно з UNEP (Програма ООН з навколишнього середовища), «зеленою» є така економіка, яка забезпечує довгострокове підвищення добробуту людей та скорочення нерівності, дозволяючи майбутнім поколінням уникнути суттєвих ризиків для навколишнього середовища та його збіднення [1]. Принципи «зеленої» економіки базуються на гармонії між економічною діяльністю та захистом довкілля.

Передумовами розвитку зеленої економіки в Україні є потреба масштабної післявоєнної відбудови та задекларований Державою стратегічний курс на європейську інтеграцію. Попри значну Міжнародну підтримку та природний потенціал на шляху до екологізації економіки перед державою стоїть ряд викликів:

- Неефективність державного управління на всіх рівнях;
- Кадровий дефіцит: нестача фахівців у сфері екологічного менеджменту та зелених технологій;
- Корупційні ризики. Небезпека використання екологічних фондів;
- Повільне впровадження реформ ;
- Фінансова нестабільність. Через війну та економічну кризу залучення інвестицій у «зелену» модернізацію залишається складним завданням;
- Застаріла інфраструктура. Багато підприємств використовують застарілі технології, що ускладнює екологічну модернізацію у сфері охорони довкілля
- Низький рівень екологічної свідомості та екологічного контролю. Частина бізнесу та громадськості досі сприймає екологічні реформи як тягар.

Подолання цих проблем можливо тільки за рахунок політичної волі, фінансової підтримки та активної участі громадянського суспільства.

Екологізація економіки передбачає впровадження екологічних стандартів у всі галузі – від енергетики до аграрного сектору. Це означає перехід від застарілих, ресурсно і енергоємних виробництв до інноваційних, чистих технологій. Важливу роль у цьому процесі відіграє «Європейська угода», зокрема її екологічний розділ, який зобов'язує Україну адаптувати національне законодавство до Правової системи Європейського Союзу «*Acquis communautaire*» [2].

Незважаючи на тернистий і непростий шлях Україна вже зробила суттєві практичні кроки згідно вимог Європейського Союзу, а саме:

1. Участь України в Європейському зеленому курсі (European Green Deal).
У 2020 році Україна підтвердила готовність долучитися до цього стратегічного плану ЄС [3]. Йдеться про дотримання кліматичної нейтральності до 2050 року, розвиток відновлюваної енергетики, «зелену» трансформацію транспорту та промисловості.
2. Розвиток відновлюваних джерел енергії.
Станом на 2023 рік частка «зеленої» енергетики в енергетичному балансі України перевищила 10%. Зокрема, вітрові електростанції активно будуються в Запорізькій та Миколаївській областях [4].
3. Реформа системи управління відходами.
У 2022 році ухвалено рамковий Закон України «Про управління відходами», розроблений відповідно до директив ЄС [5].
4. Розвиток сталого транспорту.
У містах України реалізуються проєкти електрифікації транспорту за підтримки ЄІБ (Європейський інвестиційний банк), ЄБРР (Європейський банк реконструкції та розвитку) та інших партнерів ЄС [6].

Попри труднощі, перспективи екологізації економіки України залишаються позитивними. Програми ЄС, зокрема EU4Environment, надає допомогу Україні в розробці політики «зеленої» економіки, запровадженні ресурсоефективного та чистішого виробництва (RECP) в діяльності МСП, сприяє виробництву «зеленої» продукції, «зеленим» державним закупівлям і екологічному маркуванню, посилює забезпечення нормативно-правової відповідності, виконує оцінку й зміцнює адміністративну спроможність, а також розробляє показники зеленого зростання. **Інститут глобального управління (GGI)** надає технічну й фінансову підтримку, яка полягає в вирішенні конкретних завдань для впровадження зелених реформ в Україні, а саме [7]:

- Визначенні потреб у відновленні переміщених промислових підприємств та можливостей відновлення у цільових регіонах;
- Консультуванні підприємств за обраними напрямками;

- Пошуку та підборі фінансових можливостей для “зеленого” відновлення підприємств;
- Популяризації “зеленого” відновлення через успішні бізнес-кейси;

Інтеграція принципів зеленої економіки Європейського Союзу в економічну політику України сприятиме:

1. Підвищенню енергоефективності та зменшення залежності від викопного палива.
2. Залученню іноземних інвестицій та фінансування «зелених» проектів.
3. Створенню нових робочих місць у сфері «зеленої» зайнятості.
4. Поліпшенню експортного потенціалу української продукції.
5. Сприянню інноваційному розвитку та модернізації економіки.
6. Зміцненню екологічної безпеки та покращення якості життя населення.

Ці конкретні перспективи дозволять Україні впевнено почувати себе в Європейській спільноті, відкриють шлях до економічної стабільності країни та пришвидшать відновлення держави в післявоєнний період.

1. Дорогунцова С. І. (Ред.). (2020). *Сталий розвиток та зелена економіка: теоретико-прикладний контекст* (312 с.). НДЕІ.
2. Угода про асоціацію між Україною та ЄС. (n.d.). *EU-UA.org*. <https://eu-ua.org>.
3. Європейська комісія. (n.d.). *Європейський зелений курс*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en
4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. (2023). *Звіт 2023 року*. <https://saee.gov.ua>
5. Верховна Рада України. (2022). *Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
6. Європейський інвестиційний банк. (n.d.). *Підтримка сталого транспорту в Україні*. <https://www.eib.org/en/projects/regions/eastern-neighbours/ukraine>
7. EU4Environment. (n.d.). *Офіційний сайт проєкту*. <https://eu4environment.org>

Потопник Богдан
Національний університет «Львівська політехніка»

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІНАНСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ІТ-СЕКТОРУ В УМОВАХ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ

У сучасних умовах глобальної трансформації економіки, спричиненої не лише цифровізацією, але й масштабними соціальними, екологічними та військовими потрясіннями, особливої актуальності набуває проблема формування дієвих механізмів фінансового забезпечення сталого розвитку підприємств. В ІТ-секторі, який одночасно є інноваційним драйвером і потенційним джерелом високих екологічних навантажень, застосування цифрових технологій може стати ключовим фактором інтеграції принципів екологізації у стратегічне управління. Це особливо важливо в контексті повоєнної відбудови України, де необхідність відновлення інфраструктури поєднується з потребою у сталому та технологічно орієнтованому зростанні.

Використання цифрових технологій у фінансовому забезпеченні сталого розвитку ІТ-підприємств проявляється через кілька ключових механізмів. По-перше, це автоматизація процесів обліку, звітності та фінансового прогнозування, що забезпечує прозорість у розподілі ресурсів, особливо тих, що спрямовані на екологічні ініціативи. Зокрема, застосування технологій Big Data дозволяє підприємствам аналізувати структуру витрат, ідентифікувати неефективні екологічні практики та переорієнтовувати інвестиції у сталий розвиток. Системи бізнес-аналітики (BI) інтегрують екологічні KPI до загальної фінансової звітності, що сприяє прийняттю зважених управлінських рішень.

По-друге, цифрові платформи дозволяють ефективно залучати зовнішнє фінансування для екологічних проєктів. Такі інструменти, як краудфандинг, токенизація активів, фінансові маркетплейси з ESG-фокусом дають змогу підприємствам залучати капітал з урахуванням екологічних та соціальних критеріїв. Блокчейн-технології, у свою чергу, забезпечують прозорість у використанні коштів, унеможливлюючи їх нецільове витрачання [1-2].

Застосування цифрових рішень сприяє також формуванню нової екосистеми зеленого фінансування в ІТ-сфері. Електронні платформи для випуску «зелених» облігацій та інструментів сталого інвестування забезпечують швидкий доступ підприємств до капіталу, необхідного для реалізації проєктів з енергоефективності, зменшення викидів CO₂, утилізації електронних відходів та переходу на відновлювані джерела енергії. У післявоєнних умовах, коли держава і донори орієнтовані на інфраструктурну та економічну реабілітацію, наявність цифрово інтегрованих фінансових механізмів створює конкурентні переваги для підприємств, що декларують сталі цілі.

У цьому контексті особливе значення має інституційна підтримка впровадження ESG-принципів (Environmental, Social, Governance) у фінансове планування підприємств ІТ-сектору [3]. Цифрові інструменти дозволяють не лише агрегувати показники ESG у дашборди в реальному часі, але й автоматизувати екологічний аудит. Завдяки штучному інтелекту можна прогнозувати екологічні ризики, моделювати сценарії сталого зростання, проводити стрес-тестування екологічних ініціатив за умов дефіциту ресурсів, що характерно для повоєнної економіки.

Водночас, ІТ-сектор сам по собі має значний потенціал екологізації. З одного боку, діяльність ІТ-компаній супроводжується споживанням електроенергії (особливо у сфері дата-центрів), генеруванням електронних відходів, викидами вуглецю внаслідок цифрових операцій. З іншого боку, саме ІТ забезпечує інструментарій для зменшення цього впливу: впровадження хмарних обчислень замість фізичних серверів, використання енергоефективного обладнання, побудова циркулярної ІТ-економіки, що передбачає повторне використання техніки, ресайклінг, екологічне проектування. Фінансове забезпечення таких рішень потребує не лише інвестицій, але й прозорого обґрунтування ефективності, яке можливо реалізувати завдяки цифровим інструментам оцінки життєвого циклу технологій (Life Cycle Assessment, LCA).

Повноцінна реалізація фінансових стратегій екологізації у повоєнних умовах вимагає участі держави. Національні платформи екологічного звітності, інтегровані з цифровими реєстрами компаній, можуть стати інструментом моніторингу прогресу підприємств у досягненні сталих цілей. Впровадження державних субсидій, пільгового кредитування або податкових стимулів для цифрово-екологічних рішень доцільно поєднувати з використанням ІТ для прозорого моніторингу ефективності таких стимулів. Таким чином, формування «цифрово-фінансової архітектури» екологізації бізнесу забезпечує не лише оперативність, а й підзвітність на всіх рівнях управління.

Ще одним важливим аспектом є роль цифрових технологій у формуванні нової корпоративної культури. ІТ-середовище, орієнтоване на ESG-цінності, формує внутрішні політики екологічної відповідальності, етичного використання технологій, сталого постачання. Автоматизовані платформи управління персоналом дають змогу вимірювати і оцінювати індивідуальні внески співробітників у досягнення екологічних цілей, формувати програми навчання з еко-свідомості, посилюючи роль людського капіталу в переході до сталого розвитку.

Післявоєнна відбудова України повинна розглядатися не як повернення до старих моделей функціонування економіки, а як вікно можливостей для переходу до нової, цифрово та екологічно орієнтованої парадигми розвитку [4]. Саме ІТ-підприємства, які здатні поєднати технологічну гнучкість, екологічну відповідальність та фінансову ефективність, можуть стати фундаментом цієї трансформації. Підвищення ролі цифрових технологій у фінансовому забезпеченні екологізації створює умови для системної модернізації українського ІТ-бізнесу в напрямі сталого розвитку, посилення його глобальної конкурентоспроможності та інтеграції до екосистеми європейського зеленого переходу..

1. Даценко , А. (2024). Фінансове забезпечення підприємств в контексті сталого розвитку національної економіки. *Економіка та суспільство*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-61>

2. Карий, О. І., Гальків, Л. І., & Цапулич, А. Ю. (2021). Розвиток ІТ-сфери України: чинники та напрями активізації. *Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues*, 5(1), 42–55.

3. Екологічне, соціальне та корпоративне управління (ESG) та послуги зі сталого розвитку. URL: <https://www.softserveinc.com/uk-ua/services/esg-and-sustainability-services>

4. Лісік, О., & Моряк, Т. (2023). Аналіз стану іт-сектору України в умовах повномасштабної війни. *Економіка та суспільство*, 55. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-67>

Риб'як Валерій

Національний університет «Львівська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ІТ-ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ІНТЕГРОВАНИХ СТРУКТУР БІЗНЕСУ

У сучасних умовах цифрової трансформації глобальної економіки, стрімке поширення інформаційних технологій (ІТ) стало одним із ключових чинників формування конкурентних переваг підприємств. Зокрема, інтегровані структури бізнесу, що поєднують у собі виробничі, комерційні, логістичні, інформаційні, маркетингові та управлінські компоненти, зазнають істотних змін під впливом ІТ-інновацій. Ці трансформації не лише змінюють традиційні підходи до ведення бізнесу, а й створюють передумови для підвищення стійкості, гнучкості та довгострокової ефективності функціонування інтегрованих систем.

ІТ-інновації у бізнесі проявляються у використанні таких технологій, як хмарні обчислення, машинне навчання, блокчейн, Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), автоматизація бізнес-процесів (BPA), цифрова аналітика, а також технології кібербезпеки. Їх впровадження в інтегровані бізнес-структури дозволяє суттєво зменшити витрати, прискорити процес прийняття рішень, оптимізувати управління ресурсами, підвищити якість продукції та послуг, забезпечити прозорість операцій і покращити взаємодію з клієнтами, партнерами й державними інституціями.

Одним із ключових аспектів впровадження ІТ-інновацій у інтегровані бізнес-структури є цифровізація управлінських процесів, яка включає в себе автоматизоване планування, контроль, моніторинг, оцінку ефективності, управління ризиками та розвиток корпоративної аналітики [1]. Застосування сучасних ERP-систем, CRM-платформ, BI-аналітики забезпечує комплексний підхід до інтеграції інформаційних потоків, дозволяє узгоджувати стратегічні, тактичні та оперативні цілі підприємства та створювати єдиний інформаційний простір для управління всіма рівнями бізнесу.

Інтегровані структури бізнесу, що функціонують у багатьох секторах економіки, зокрема в ІТ-галузі, потребують побудови синхронізованих систем управління, які базуються на принципах адаптивності, гнучкості та орієнтації на інновації. Використання ІТ-інструментів дозволяє реалізувати модель смарт-управління, яка поєднує цифрову трансформацію внутрішніх процесів із впровадженням екосистемного підходу до взаємодії з зовнішніми середовищами. Це дає змогу інтегрованим структурам оперативно реагувати на динамічні зміни ринку, адаптуватися до кризових викликів, включаючи військові конфлікти, економічну нестабільність чи глобальні збої у ланцюгах постачання.

Особливу увагу слід приділити інституційному контексту впровадження ІТ-інновацій у інтегровані бізнес-структури. Державна політика цифровізації, стандартизації, а також створення сприятливого середовища для розвитку підприємництва відіграють важливу роль у стимулюванні ІТ-розвитку бізнесу. Важливо також зазначити, що ефективність впровадження ІТ-технологій багато в чому залежить від внутрішніх ресурсів підприємства: інвестицій у людський капітал, рівня ІТ-компетентностей управлінського персоналу, наявності цифрової стратегії та корпоративної культури інновацій [2].

ІТ-інновації забезпечують потужну підтримку не лише в економічному, але й в екологічному та соціальному вимірах. Зокрема, цифрові рішення сприяють досягненню цілей сталого розвитку, дозволяючи мінімізувати ресурсні витрати, впроваджувати політики «зеленої» логістики, оптимізувати енергоспоживання, відстежувати вплив підприємства на довкілля, автоматизувати звітність за ESG-показниками (екологія, соціальна відповідальність, корпоративне управління). ІТ-технології, таким чином, трансформуються в інструмент екологізації інтегрованих бізнес-систем, підвищуючи їхню відповідальність перед суспільством та державою.

У цьому контексті важливим є розвиток екосистем цифрових інновацій, які включають стартапи, акселератори, технопарки, інноваційні хаби та центри цифрової трансформації. Саме ці інституції формують середовище для генерації нових бізнес-моделей, орієнтованих на створення доданої вартості через цифрові рішення. Зокрема, інтегровані структури в ІТ-секторі дедалі частіше взаємодіють із науково-дослідними установами, венчурними фондами, громадськими організаціями та державними структурами для реалізації складних інноваційних проєктів.

Важливо зазначити, що цифровізація інтегрованих структур вимагає не лише технологічного, але й організаційного оновлення. Це стосується трансформації бізнес-процесів, реінжинірингу функціональних підрозділів, створення центрів цифрової компетентності, впровадження гнучких підходів до управління персоналом, а також розвитку нових форм управлінської відповідальності. Ключовим чинником успішного ІТ-інноваційного розвитку є стратегічне бачення керівництва та наявність чітко визначених цифрових KPI, що інтегруються у загальну бізнес-стратегію підприємства.

Таким чином, використання ІТ-інновацій у розвитку інтегрованих бізнес-структур відкриває нові горизонти для підвищення ефективності, інноваційності та сталості підприємницької діяльності. В умовах глобальних викликів, структурних змін економіки, зростання цифрового споживання та потреби в екологічній відповідальності, інтеграція ІТ-інновацій стає не лише доцільною, а й життєво необхідною умовою адаптації, зростання та лідерства на ринку.

1. Пузирьова, П. В. (2023). *Формування та розвиток інноваційного потенціалу інтегрованих структур бізнесу* : дис. ... д-ра економічних наук : 08.00.04 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності) : захист 07.02.2023. КНУТД. Київ, 534 с.

2. Кириленко, С. (2025). Інноваційний розвиток бізнес-структур в умовах цифрової економіки. *Journal of Strategic Economic Research*, 43-51. 10.30857/2786-5398.2024.5.4.

Фролов Андрій
Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ТА УКРАЇНСЬКИЙ КОНТЕКСТ

Сьогодні в усьому світі докладаються великі зусилля для мінімізації загроз, пов'язаних з глобальною зміною клімату та погіршенням стану навколишнього середовища. Економічні теорії і парадигми, які тривалий час домінували, загострили екологічні виклики до глобального масштабу, призвели до виснаження природних та енергетичних багатств, дефіциту прісної води та продовольчих ресурсів у низці країн. Результати так званої «хижацької» економіки поглибили розрив в соціально-економічному розвитку регіонів, а це позначилося на поширенні бідності в найбільш вразливих країнах світу.

За останнє півстоліття було опубліковано незчисленну кількість досліджень, присвячених впливу енергетичних та ресурсних обмежень на майбутні покоління, вивчалися різні аспекти взаємодії людства, навколишнього середовища та економіки. Результати цих досліджень лягли в основу формування нового тренду – екологізації економіки. Ця нова економіка давала відповіді на зростаючі загрози та занепокоєння суспільства щодо необмеженого використання природних ресурсів, загроз існуючих і майбутніх кліматичних змін, забруднення навколишнього

середовища та втрати біорізноманіття, інших екологічних проблем, що продукували серйозні виклики для існування людства.

Особлива увага вчених приділялась проблемі зростання викидів парникових газів, що спричиняли глобальні кліматичні зміни. Динаміка глобальних вуглецевих викидів давала тривожні сигнали, що світова економіка стикається з критичним рівнем насичення вуглецем. За останні майже два десятиліття приріст вуглецевих викидів у світі подекуди випереджав темпи росту ВВП, зокрема, за рахунок швидкого збільшення виробництва в таких країнах як Китай, Індія, Японія. Ця проблема з кожним роком набувала дедалі більшого масштабу, створювала високі екологічні виклики, небезпеку людству, загрози соціально-економічному розвитку окремих країн [1].

Довгий час вчені переконували, що глобальне потепління та наслідки глобальної зміни клімату можуть суттєво впливати на більшу частину планети. Кліматичні зміни призведуть до зростання кількості лих і катастроф: штормів і повеней, посух і лісових пожеж, екстремальних температур. А погодні катастрофи зможуть позначитись на економіці та державних фінансах як прямо, так і опосередковано. Через різні канали ці процеси можуть завдати значної прямої і непрямой економічної шкоди.

Погодні та кліматичні катастрофи призводять не тільки до короткострокових прямих втрат, а й до економічної шкоди у довгостроковій перспективі. Так, наприклад, сільськогосподарський сектор може відчувати шкоду від екстремальної погоди: посухи зазвичай спричиняють неврожай. Також, спека знижує продуктивність праці, впливає на здоров'я людей, поширення різних хвороб, сприяє зростанню цін на окремі продукти харчування, а це може позначитись на масовій міграції та спричинити конфлікти. Так само шторми та повені можуть завдати серйозних збитків будинкам та інфраструктурі, худобі, природним ресурсам, які здебільшого застраховані лише частково. Екстремальні погодні явища можуть порушити енергопостачання, що відповідно призведе до втрат технологій і капіталу, обмежити доступ до природних благ, постачання певних товарів, зокрема продовольства [2].

При цьому, дослідження Інституту кліматичних ризиків UNSW Sydney підтвердило, що збитки світовій економіці від глобального впливу екстремальних погодних лих були суттєво недооцінені. Вчені переконані, що існуючі прогноз-моделі щодо впливу кліматичних змін на світовий валовий внутрішній продукт були надто оптимістичними і мали фундаментальний недолік. Оцінки ґрунтувались на припущеннях, що від екстремальних погодних катастроф національна економіка страждає лише у межах своєї країни, і будь-які наслідки погодних явищ в інших країнах не враховувались в розрахунках. Але, наприклад, повинь в одній країні може впливати на постачання продуктів харчування в іншу. І якщо в рамках моделювання скорегувати цей недолік, прогнозовані збитки для світового ВВП суттєво зростуть [3].

Міжнародна торгівля є фундаментом світової економічної діяльності. А довгий час прогноз-моделі збитків для світового ВВП ґрунтувались на оцінках впливу погодних катастроф регіонального або локального масштабу, що відбувались в минулому. При чому, прогнози базувались на припущеннях, що вплив цих катастроф компенсують сприятливі умови в інших частинах світу. Так, наприклад, під час посух в Південній Америці, інші регіони могли мати хороші врожаї. Тож імпорт сільськогосподарської продукції в Південну Америку дозволяв компенсувати дефіцит і запобігти різкому росту цін.

Однак, майбутні кліматичні зміни можуть збільшити ризики виникнення екстремальних погодних явищ одночасно в різних країнах, утримувати їх довготривалий вплив. І це зруйнує логістичні мережі постачання товарів, ускладнить торгівлю між країнами, обмежить можливості країн в процесах виробництва і підтримці дружніх країн, що потерпають від кліматичних явищ. Відтак, на майбутнє економічне зростання будь якої країни певною мірою впливатимуть погодні умови в усьому світі.

Вчені запевняють, що теплий у глобальному масштабі рік сповільнює світове економічне зростання. Дослідження показали, що якщо до кінця століття планета прогріється більш ніж на 3°C, збитки для світової економіки можуть збільшитися з 11% (за попередніми оцінками) до 40% (які включають вищенаведені аргументи). Такий рівень шкоди може зруйнувати засоби

існування цілих регіонів і великих частин світу. Загальний вплив на світову економіку буде настільки потужним, що значних втрат зазнають усі країни [3].

Боротьба з кліматичними змінами стала вимагати від країн світу невідкладних політичних заходів щодо екологізації економіки. Причому економічної, соціальної і технологічної трансформації потребували як розвинуті країни, так і країни, що розвиваються. Відтак, лідери світу погодилися співпрацювати щоб обмежити до кінця століття середнє глобальне підвищення температури порівняно з доіндустріальними рівнями, регулярно переглядаючи кінцеву ціль у напрямку більшої амбітності.

В Європейському Союзі серйозно поставилися до загрози зміни клімату, адже деякі країни блоку можуть суттєво постраждати від глобальних кліматичних змін. Найвищий ризик збитків від кліматичних катастроф можуть мати південна і центрально-східна частини ЄС. Такі країни як Португалія, Іспанія, Греція, Італія і Угорщина вважаються найбільш уразливими до глобальних кліматичних змін. За прогнозами вчених, ці країни можуть зіткнутись з найвищими незастрахованими втратами від кліматичних і погодних лих в найближчі роки. А в сценаріях вищого глобального підвищення температури ризику можуть зміститися ще і в бік атлантичних країн західної частини ЄС. І це вже може відбутись не в довгостроковій, а і середньостроковій перспективі.

У період з 1980 по 2022 рік ЄС вже зазнав загальних витрат у розмірі 650 млрд євро через кліматичні та погодні лиха. Дані Європейського агентства з навколишнього середовища показали, що з цієї загальної суми: 43% були направлені на ліквідацію наслідків, викликаних гідрологічними явищами, здебільшого повеннями, а близько 29% – це наслідки таких метеорологічних небезпек таких як шторм і град. Решта припала на інші кліматичні небезпеки, з них: 20% – теплі циклони, а 8% – лісові пожежі, посухи та холодні циклони [2].

Щоб не опинитися на порозі глобальної кліматичної катастрофи в ЄС було схвалено амбітну програму під назвою Європейська зелена угода (European Green Deal). Вона має забезпечити кліматичну нейтральність європейського континенту до 2050 року. Виходячи з цілей цієї програми «подальше економічне зростання не буде пов'язане з використанням ресурсів, і жодна особа, жодне місце не залишиться поза цією угодою». Щоб зробити кліматичну, енергетичну, транспортну та податкову політику ЄС придатною для скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року Європейська комісія прийняла ряд пропозицій [4].

Зокрема, було схвалено Стратегію з фінансування переходу до сталої економіки (The EU Strategy for Financing the Transition to a Sustainable Economy), в якій йшлося про фінансування переходу, інклюзивність та необхідність запобігання грінвошингу [5]. Також Європейська комісія схвалила План дій з фінансування сталого розвитку (Action Plan: Financing Sustainable Growth), що визначив пріоритетні цілі з:

а) переорієнтації потоків капіталу на стале інвестування для досягнення стійкого та інклюзивного розвитку;

б) управління фінансовими ризиками, що пов'язані з кліматичними змінами, деградацією довкілля, виснаженням ресурсів та соціальними проблемами;

в) стимулювання довгострокової прозорості в економіці та фінансах [6].

Стале фінансування відіграватиме ключову роль у досягненні політичних цілей Європейської зеленої угоди, а також у виконанні міжнародних зобов'язань ЄС щодо досягнення цілей пом'якшення наслідків зміни клімату та сталості. Воно сприятиме спрямуванню державних фінансів і приватних інвестицій у перехід до кліматично нейтральної та стійкої до змін клімату, ресурсоефективної та справедливої економіки як значущого кроку до сталого розвитку наступного покоління [7].

На думку Н. Рязановой, нормативно-правове забезпечення сталого фінансування має в цьому фундаментальне значення. Дослідниця виділяє шість векторів на яких базується розвиток сталого фінансування ЄС:

1) наявність таксономії сталої економічної діяльності ЄС;

- 2) належне розкриття інформації щодо сталого розвитку всіма суб'єктами господарювання;
- 3) урахування екологічних, соціальних та управлінських факторів під час надання фінансових послуг і прийняття інвестиційних рішень;
- 4) належне управління екологічними (включно з кліматом) та соціальними ризиками;
- 5) використання спеціальних фінансових інструментів – зелених та інших маркованих облігацій і позик, які забезпечують фінансові потоки у проекти сталої економіки;
- 6) підвищення фінансової грамотності суспільства у питаннях сталого розвитку [5].

Україна також втілює мету переходу до більш низьковуглецевої моделі економічного розвитку у свої національні стратегії і політику. Амбіційних цілей скорочення викидів парникових газів (на 65% від рівня 1990 року) до 2030 року, а також нульових викидів до 2050 року планується досягти шляхом впровадження заходів декарбонізації в усіх енергоємних та вуглецеємних секторах [8; 9]. Але досі не затверджено національну таксономію сталої економічної діяльності, відсутні стандарти для маркованих облігацій, в умовах війни мляво просуваються і інші європейські ініціативи. Хоча для зелених облігацій, наприклад, Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку схвалила ряд добровільних рекомендацій, якими роз'яснюються існуючі правила і вимоги на цьому борговому ринку. В інших аспектах регулятор рекомендує посилатись на європейські директиви.

Так само, Центробанком України було схвалено Політику з розвитку сталого фінансування до 2025 року, що містить дорожню карту, яка визначає чіткі і послідовні дії регулятора в частині створення надійних, стабільних та передбачуваних умов для розвитку в країні сталих фінансів, управління потенційними ризиками, що зумовлені кліматичними викликами та екологічними проблемами, пов'язаними з цим соціальними та управлінськими питаннями. З метою розвитку сталого фінансування в дорожній карті регулятора встановлені конкретні часові рамки як для банківської системи, так і небанківських фінансових установ з метою адаптації до змін. Дорожня карта щодо розвитку сталого фінансування узгоджується з євроінтеграційним вектором України та іншими заходами, що заплановані урядом. Передбачається, що вона періодично переглядатиметься та коригуватиметься [10].

Утім, попри наявний прогрес в розвитку політики протидії кліматичним змінам та сталим фінансам в Україні, в подальшому екологізація економіки повинна виглядати як злагоджений системний процес, як в ЄС. Так, наприклад, щоб якісно дослідити таксономію ЄС та активізувати процес її розробки всередині країни потрібна внутрішня координація. Відсутність злагодженої міжвідомчої координації може призвести до неналежного розподілу відповідальності між органами державної влади з усіх складових організації та розвитку сталого фінансування для вирішення кліматичних проблем. Це також впливатиме на тривалість процесів, узгодження критеріїв прийнятності таксономії та її положень з усіма заінтересованими органами державної влади, бізнесом. Національна таксономія має визначати рамки відповідності проєктів міжнародним вимогам, але і враховувати національні пріоритети, особливо спираючись на потреби відбудови України після війни. І компетентні міністерства та відомства України, бізнес в цьому контексті можуть надати більш точні метрики для проєктів декарбонізації і зеленого відновлення.

Міжвідомча координація також потрібна для поглиблення співпраці з усіма фінансовими відомствами, що відповідальні за фінансово-кредитну і боргову політику, фондовий ринок та випуск цінних паперів. Спільно узгоджений процес дозволить уникнути втрати цілісності та єдності політики, системності в її реалізації. А це впливатиме на рішення «зелених» інвесторів, що надаватимуть відповідний борговий капітал.

1. Зелені" інвестиції у сталому розвитку: світовий досвід та український контекст. Київ : Заповіт, 2019. С. 315.

2. П'ять країн Європи найбільше постраждають від глобальних змін клімату: хто опиниться під ударом. URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/novosti-mir/pyat-krain-evropi-najbilshe-postrazhdayut-vid-globalnih-zmin-klimatu-hto-opinitsya-pid-udarom.htm>

3. Зміна клімату може знищити світову економіку на 40%. URL: <https://newsyou.info/2025/04/zmina-klimatu-mozhe-znishhiti-svitovu-ekonomiku-na-40>
4. European Commission. The European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
5. Рязанова, Н. (2023). Європейський вектор сталого розвитку – орієнтир корпоративних і публічних фінансів України : *Фінанси України*. № 11. С. 86–98. URL: https://finukr.org.ua/?page_id=723&aid=5018#
6. European Commission. Action Plan: Financing Sustainable Growth. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0097>
7. Тотева, Е. Зелена таксономія в Україні. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/UNDP-UA-green-taxonomy-report-UKR.pdf>
8. Декарбонізація секторів економіки України. URL: <https://ecoaction.org.ua/dekarbonizatsia-ekonomiky-ua.html>
9. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/pom-yakshennya-zminy-klimatu/strategiya-nyzkovugletseвого-rozvytku-ukrayiny-do-2050-roku/>
10. Офіційний сайт Національного банку України. Політика щодо розвитку сталого фінансування на період до 2025 року. URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Policy_rozvytok-stalogo-finansuvannja_2025.pdf

Чернюк Ганна

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ РАЙОНУ СМТ ЗАРІЧНЕ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Правильна стратегія боротьби з промисловим забрудненням середовища зв'язана з системами очистки на виробництвах, з концентрацією забруднень та з недопущенням їх розсіювання. Відходи можуть містити корисну сировину для переробки. У природній екосистемі біосфери здійснюється безвідходне виробництво та принципи відповідної організації господарства. Чотири п'ятих хімічних елементів Землі відносяться до мікроелементів, які складають соті, тисячні і менші долі процентів за поширенням. Надзвичайна властивість мікроелементів – це їх повсюдність, розсіювання, розпилення. Дослідженнями міграції та розподілу мікроелементів займається геохімія ландшафтів, в якій за останні 50 років сформувався новий напрям – геохімічна екологія. Сучасні дослідження у сфері захисту довкілля включають питання впливу геохімічних факторів середовища на організми, як формування і розвиток живої речовини залежить від хімізму оточуючого середовища та міграції хімічних елементів в ландшафтах, від біохімічних процесів фіксації мікроелементів організмами і включення їх в нові сполучення в живих організмах та в біологічний кругообіг. Особливе значення мають геохімічні аномалії надлишку або недостачі тих чи інших хімічних елементів, які приводять до розладу функцій, відхилення від норми, аномалій розвитку і обміну речовин, порушення правильної дії органів, появи ендемічних захворювань, каліцтва, спотворень.

Територія проведених досліджень розміщена на заході Полісся і на півночі Рівненської області в районі містечка Зарічне. У 1986 році цей район увійшов до складу територій радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Тепер там поширена «уровська хвороба», яка була виявлена в першій половині минулого століття у поселеннях забайкальських козаків на річці Уров (ліва притока ріки Аргуні). Поселенці страждали від викривлення і ламкості кісток, болями у суглобах, важко пересували ноги і ставали інвалідами. Таємна хвороба поразила і домашніх тварин. Тепер встановлено на основі експериментальних досліджень на тваринах, що уровську хворобу викликає підвищена концентрація стронцію при дефіциті кальцію у природних водах. Кальцій і стронцій – це елементи-близнюки, в кристалічній решітці кальцію

присутні атоми стронцію і вони приймають участь у будові скелету. Стронцій більш рухомий ніж кальцій і він не затримується в кістковій тканині, внаслідок чого кістки стають рихлими та деформуються.

Екологічні умови обумовлені географічним положенням району досліджень в південній провінції зони хвойно-широколистяних лісів. Клімат району помірно-континентальний з достатнім забезпеченням теплом та вологою і найменшою для території України тривалістю годин сонячного сяяння. Гідротермічний режим обумовлює промивний водний режим ґрунтів. Річна сума опадів 600-630 мм, з яких 70% припадає на теплий період. Проте в травні, червні і липні випаровування перевищує опади і на дренажних рівнинах відчувається недостача вологи в ґрунті. Вегетаційний період з середніми добовими температурами вище 5°C триває 5-6 місяців. Сума температур вище 10°C коливається в межах 2100-2400°. Рослинний покрив району має велике значення для його економіки. Продуктивність рослинності складає 8-12 т/га за рік. За геофізичними показниками при проведенні комплексних меліорацій земель вона може бути доведена до 18-20 т/га за рік. [1,2,3].

Економіка в районі міста Зарічне включає харчову, деревообробну і добувну галузі промисловості. Сільськогосподарські ресурси в цілому збалансовані з енергетичними і промисловими при задовільному стані групи інших ресурсів. Географічні і екологічні умови для розвитку сільського господарства в цілому несприятливі і складні: заболочення, перезволоження внаслідок неглибокого залягання ґрунтових вод та незначної дренажності, низька родючість ґрунтів, дрібноконтурність угідь та радіоактивне забруднення [2,5]. Різноманітні умови під впливом господарської діяльності приводять до нерівномірного розподілу по площі несприятливих процесів.

На території району виробництво сільськогосподарських культур зростало в основному за рахунок розширення посівних площ внаслідок максимального розорювання. Оцінка природо-користування за структурою угідь, складом культур в сівозмінах, функціональним використанням земельного фонду дозволила виявити території з незадовільним станом екології та зниженою стійкістю до деструктивних процесів [2,3].

До специфічних проблем Рівненського Полісся необхідно віднести: невідповідність якості окремих поверхневих водотоків існуючим нормативам через неефективну роботу очисних споруд в населених пунктах та порушення гідрологічного режиму в басейнах рік; відсутність регіональної системи екологічно безпечного поводження з промисловими та побутовими відходами; радіоактивне забруднення північних районів внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС; низька ефективність управління у сфері охорони біологічних і особливо лісових ресурсів; відсутність науково обґрунтованої регіональної системи моніторингу за станом природного середовища.

Складна динаміка викидів та атмосферного перенесення радіонуклідів зумовила радіоактивне забруднення значних площ лісів області. Особливої уваги заслуговують забруднені радіонуклідами екосистеми лісів та сільськогосподарських угідь, які залучені до промисловості та виробництва.

Наслідком масового видобування бурштину стало знищення великої площі лісів, десятки гектарів яких були перекопані і перебиті. Внаслідок незаконного видобутку бурштину виникли наступні головні проблеми: 1) в екологічній сфері – порушення товщ і геологічних порід, погіршення гідрогеологічних умов та зміна геоморфологічних процесів, знищення трав'яного покриву і родючого шару ґрунту, вирубування дерев і порушення їх кореневої системи, зміна болотних біоценозів, провокування активізації водної та вітрової ерозії; 2) в економічній сфері – збитки у лісовому та водному господарстві, деградація ґрунтів, втрата значних обсягів бурштину за рахунок нелегального добування, втрата митних зборів, загальнодержавних та місцевих податків, що зумовило зростання «тіньового» сектору економіки; 3) в соціальній сфері – підвищення рівня криміногенної ситуації, високий рівень травматизму та смертності серед старателів через недотримання правил безпеки, конфлікти їх з місцевим населенням.

Із геоморфологічних процесів в регіоні поширені денудація та акумуляція, які представлені яружно-балковими формами рельєфу, заболоченням, площинним змивом, підтопленням, зустрічаються карстово-суфозійні просядочні явища. Флювіальні процеси проявляються у руйнуванні

берегів, підмиванні уступів заплави, розмиванні її окремих ділянок, переносі та відкладенні матеріалу, утворенні перекатів і пляжів, інтенсифікації перебудови меандрів та руслових процесів..

Промисловість району зв'язана з переробкою сільськогосподарської сировини, місцевих лісових і мінеральних ресурсів. Енергетичні ресурси – це електроенергія, торф та дрова. Швидкий економічний і культурний розвиток району поставив нові високі вимоги до транспорту, насамперед до залізничного та автомобільного, які забезпечують як зовнішні, так і внутрішні зв'язки.

Інтенсивне вирубування лісів Полісся, необґрунтовані обсяги осушення боліт і видобутку торфу, забруднення хімічними речовинами угідь, промислові забруднення, жорстокий ядерний удар чорнобильської аварії призвели до критичного екологічного стану геосистем, внаслідок чого знижується організованість біосистем та їх саморегуляція і самовідновлення.

Руйнування природного каркасу ландшафтних геосистем Полісся може привести до деградації природного ландшафту в цілому. Збереження та охорона природного екологічного каркасу, його вивчення та дослідження процесів і закономірностей міграції речовини і енергії на локальному рівні можливо тільки в стаціонарних умовах заповідників і заказників.

Проведення досліджень для створення інформаційних ресурсів та банку даних фактичного матеріалу включають: з'ясування причинно-наслідкових зв'язків у природних процесах, шляхів міграції мікроелементів і розподілу та перерозподілу радіонуклідів, вивчення ступеня інтенсивності антропогенного впливу на формування і функціонування екотонів і геосистем локального рівня на Поліссі. Банк інформаційних даних фактичного матеріалу буде практичною основою для теоретичних узагальнень, встановлення головних закономірностей і створення наукового фундаменту для прогнозування ходу природних процесів, динаміки, розвитку, функціонування і формування геосистем локального і регіонального рівня. Проте вивчення ходу і направлення природних процесів, кругообігу речовин і енергії, міграції і концентрації мікроелементів, причинно-наслідкових зв'язків розпочалося практично лише після аварії на ЧАЕС [2,3,4,5].

Оцінка ландшафтних геосистем для сільськогосподарського використання виявила, що ґрунти району несприятливі або обмежено та малосприятливі для вирощування зернових і технічних культур і помірно сприятливі під картоплю, проте більшість з них зайняті лісами (43%), луками. Внаслідок заболоченості землі району майже не придатні для землеробства [4].

За радіоактивним забрудненням після аварії на ЧАЕС на території району виділено три типи ландшафтних геоecологічних систем, з яких тільки один тип (борові піщані місцевості) можна вважати відносно небезпечними. Найкращим варіантом було б залишити всю територію під природними луками, лісами, болотами, що є практично неможливим в теперішніх умовах.

1. Коротун І.М., Коротун Л.К. (1996). Географія Рівненської області. Рівне: Кабінет редакційно-видавничої діяльності Рівненського інституту підвищення кваліфікації педагогічних кадрів. 70-77.

2. Логінова Г.М., Чернюк Г.В. (2006). Класифікації природних комплексів та ландшафтно-геоекологічних систем Рівненського Полісся. // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія.* № 1. Тернопіль: ТНПУ. 34-40.

3. Чернюк Г.В., Царик Л.П., Логінов В.О. (2019). Стан ландшафтних геосистем на території Зарічненського району Рівненської області. // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія.* №1. Вип.46. Тернопіль: СНП «Тайп». 210-215.

4. Логінов В.О., Чернюк Г.В. (2021). Оцінка земельних ресурсів у геосистемах Зарічненського району Рівненської області. // *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Економічні науки.* Випуск 16. Кам'янець-Подільський: Видавець Ковальчук О.В. 163-168.

5. Царик Л.П., Логінов В.О., Чернюк Г.В. (2018). Оцінка радіаційного забруднення ландшафтних місцевостей Зарічненського району Рівненської області. // *Подільські читання. Електронний збірник наукових праць. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції.* Кам'янець-Подільський: К-ПНУ імені Івана Огієнка. 430-437.

ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**II Міжнародна науково-
практична конференція**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ**

**II International Scientific
and Practical Conference**

**INFORMATION TECHNOLOGIES
IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**15–16 травня 2025 р.
м. Львів**

Режим доступу:
<https://science.lpnu.ua/uk/itep-2025/materialy-konferenciyi-itep-2025>

Відповідальний за випуск – Лагун А. Е.

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

бул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79005
тел. +380 32 2584103, факс +380 32 2584101
vlp.com.ua, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua