

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

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

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND
NATURAL RESOURCES**

Збірник наукових праць

Випуск 2 (34), квітень-червень 2020 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 2 (34), April-June 2020

Founded in 2008
The journal is published 4 volume a year

КИЇВ 2020

KYIV 2020

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор: О.М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Заступник головного редактора: О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, проф.

Члени редколегії:

Биченок М.М., д-р техн. наук
Бойко І.П., д-р техн. наук, проф.
Довгий С.О., д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАНУ
Калюх Ю.І., д-р техн. наук, проф.
Качинський А.Б., д-р техн. наук, проф.
Коржнєв М.М., д-р геол.-мін. наук, проф.
Кочетов Г.М., д-р техн. наук, проф.
Кривомаз Т.І., д-р техн. наук, проф.

Олійник О.Я., д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
Павлишин В.І., д-р геол.-мін. наук, проф.
Приймак О.В., д-р техн. наук, проф.
Рудько Г.І., д-р техн. наук, д-р геол.-мін. наук, д-р геогр. наук, проф.
Триснюк В.М., д-р техн. наук
Яковлев Є.О., д-р техн. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

М.-Й. Валері, професор, Польща
Н. Касаглі, професор, Італія
Н. Маргвелашвілі, PhD, Австралія
Д. Мінтер, професор, Великобританія
А. Мішо, дослідник, Франція

М.Г. Мустафаєв, д-р аграрних наук, член-кор. РАЕ, Азербайджан
Я. Пекутін, професор, Польща
Пінг Лу, професор, Китай
Г. Собчук, професор, Польща

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
(протокол № 6 від 06.07.2020 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886)

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62
E-mail: e.voloshki@gmail.com

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

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



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Кривомаз Т.І., Карпенко Н.С.

Зелені стандарти для покращення офісної діяльності в нових умовах..... 5

Триснюк В.М., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., Голован Ю.М.

Система екологічного моніторингу забруднення педосфери нафтопродуктами..... 22

Ємчура Б., Кочетов Г., Васильєв А., Самченко Д.

Енергоощадна переробка гальванічних шламів феритизаційним методом 30

Делеган-Кокайко С.В., Слабкий Г.О., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С.

Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб..... 43

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Альохіна О.В., Корусь М.М., Івченко Д.В., Піць Н.А., Турич В.В.

Батиметричні дослідження озера Світязь в околі розташування можливих підземних джерел його водопостачання..... 53

Азаров С.І., Харламова О.В.

Модель взаємодії забруднення з водною техногенно навантаженою екосистемою..... 72

Jafarov F.T., Mustafayev M.G.

The impact of climate change on soil fertility in the Central region of Azerbaijan..... 81

Порошенко С.С.

Аналіз методів дослідження негативного впливу на мезофауну та мікробіологію ґрунтів, забруднених розчинами піноутворювачів для гасіння пожеж..... 88

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

Азаров С.І., Задунай О.С.

Аналіз методичних підходів до оцінювання стійкості екосистем..... 99

Іщенко Ю.І.

Геотехнічний моніторинг при реконструкції Поштової площі в м. Києві... 111

ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 123

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

Kryvomaz T., Karpenko N. Green standards for improving office activities in new conditions.....	5
Trysnyuk V.M., Okharev V.O., Trysnyuk T.V., Holovan Y.M. System of ecological monitoring of pedosphere pollution by petroleum products.....	22
Yemchura B., Kochetov G., Vasiliev A., Samchenko D. Energy-saving processing of galvanic sludge by the fertitization method.....	30
Delehan-Kokaiko S., Slabkiy G., Lukianova V., Anpilova Y. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population.....	43

NATURAL RESOURCES

Alokhina O.V., Korus M.M., Ivchenko D.V., Pits N.A., Turych V.V. Bathymetry investigations of Svitiyaz lake in the area of probable water supply underground sources location.....	53
Azarov S.I., Kharlamova O.V. Model of interaction of pollution with aquatic technogenically loaded ecosystem.....	72
Jafarov F.T., Mustafayev M.G. The impact of climate change on soil fertility in the Central region of Azerbaijan.....	81
Poroshenko S.S. The analysis of methods of investigation of negative impact on mesofauna and microbiology of soils of contaminated solutions for foam makers.....	88

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

Azarov S.I., Zadunaj O.S. Analysis of methodological approaches to the evaluation of ecosystem sustainability.....	99
Ischenko Y. Geotechnical monitoring during reconstruction of the Poshtova Square in Kyiv.....	111
INFORMATION FOR AUTHORS.....	123

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 504.064.2

Tetyana I. Kryvomaz¹, D. S., Professor of the Department of Labour and Environment Protection

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702 *e-mail*: ecol@i.ua

Nina S. Karpenko², student

e-mail: kandiryntina@gmail.com

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² National University of «Kyiv-Mohyla Academy», Kyiv, Ukraine

GREEN STANDARDS FOR IMPROVING OFFICE ACTIVITIES IN NEW CONDITIONS

Abstract. *The pandemic COVID-19 and quarantine have forced companies to restructure their office work for efficiency increase in crisis situations. Green standards can help, because they have harmonious combination of environmental, economic and social aspects. Recommendations for restructuring office work include reorganization of work schedules with the expansion of work from home, virtual meetings with using modern communication technologies, re-equipment of office space according to the requirements of social distance, innovative measures to improve working conditions and indoor environmental quality, new rules of interaction in public places, strengthening hygiene and disinfection of premises to improve safety. The application of green standards in office activities reduces the negative impact of the organization on the environment, promotes efficient management of resources and energy saving, optimizes procurement and waste management, improves the quality and comfort of the indoor environment, save health and efficiency of employees, which has a positive impact on economic and the company's reputation.*

Key words: *green office; green certification; pandemic; environmental safety*

Т.І. Кривомаз¹, **Н.С. Карпенко**²

¹ Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна

² Національний університет «Києво-Могилянська академія», м. Київ, Україна

ЗЕЛЕНІ СТАНДАРТИ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ОФІСНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В НОВИХ УМОВАХ

Анотація. *Пандемія COVID-19 та карантин змусили компанії перебудувати офісну діяльність для ефективної роботи в кризових умовах. При цьому зелені стандарти можуть виступати у ролі орієнтира, оскільки гармонічне*

© Т.І. Кривомаз, Н.С. Карпенко, 2020

ISSN: 2411-4049. Екологічна безпека та природокористування, № 2 (34), 2020

поєднання екологічних, економічних та соціальних аспектів завжди залишається актуальним. Рекомендації по перебудові офісної роботи включають реорганізацію робочих графіків з розширенням можливостей дистанційної праці, проведення безконтактних нарад та зустрічей з використанням сучасних технологій зв'язку, переобладнання офісного простору з урахуванням вимог соціальної дистанції, інноваційних заходів по покращенню умов праці і робочого мікроклімату, нових правил взаємодії у місцях загального користування, посилення норм гігієни та дезінфекції приміщень для підвищення безпеки. Застосування зелених стандартів в офісній діяльності зменшує негативний вплив організації на довкілля, сприяє ефективному управлінню ресурсами та енергозбереженню, оптимізує закупівлі та поводження з відходами, підвищує якість і комфорт внутрішнього середовища приміщень, покращує стан здоров'я та працездатність працівників, що водночас позитивно відображається на економічних та репутаційних показниках компанії.

Ключові слова: зелений офіс; зелена сертифікація; пандемія; екологічна безпека

Вступ

Глобальні проблеми навколишнього середовища сьогодні стосуються всіх без винятку і у сучасному конкурентному суспільстві турбота про довкілля є необхідною передумовою функціонування будь-якої організації [8]. Жодна компанія не може залишатись осторонь від вирішення проблем навколишнього середовища, оскільки вони безпосередньо впливають на життя кожної людини і обумовлюють перспективи розвитку бізнесу. Соціально відповідальний бізнес за усіма параметрами випереджає неетичний бізнес, особливо у довгостроковій перспективі [3]. Концепція зеленого офісу спрямована на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище офісної діяльності компанії шляхом максимального збереження ресурсів та енергії і зменшення кількості відходів. Принципи зеленого офісу може застосовувати будь-яка компанія, незалежно від сфери її діяльності, фінансових можливостей та кількості працівників [19]. Впровадження правил зеленого офісу в корпоративну культуру компанії допомагає не тільки змінити ставлення кожного співробітника до збереження навколишнього середовища на роботі, але й поширювати набуті знання і звички в родині та соціальному оточенні. Крім того, в концепції зеленого офісу багато уваги приділяється підвищенню комфорту умов праці та якості внутрішнього середовища офісних приміщень, а також збереженню здоров'я співробітників, що безпосередньо впливає на продуктивність їх праці та загальний успіх компанії.

Актуальність концепції зеленого офісу обумовлена тим, що 50% загального енергоспоживання приходить на офісні приміщення, при цьому 21% використаної офісами енергії витрачається даремно, а 2/3 з цього – у неробочий час [14]. Близько 60% викидів парникових газів, пов'язаних із роботою типового офісу, припадає на системи опалення, кондиціонування та вентиляції [32]. Щороку кожен офісний працівник продукує 120–140 кг відходів, 3/4 з яких становить паперове сміття [20]. Навіть розвиток цифрових технологій не супроводжується значним зниженням споживання паперу, і до того ж 25% документів викидаються через 5 хвилин після їх роздрукування, а 16% роздруківків навіть ніхто ніколи не читає [15]. Поширений стереотип

щодо несуттєвого впливу віртуальної реальності на навколишнє середовище не відповідає дійсності, оскільки цифрові технології також вносять значну частку у загальне забруднення, зокрема, із загального об'єму викидів парникових газів, пов'язаних з цією галуззю, 25% припадає на центри опрацювання даних, 28% – на інфраструктуру, 47% – на обладнання користувачів [18]. Для виробництва комп'ютера вагою 2 кг використовується 800 кг сировини, при цьому на кожні 169 кг сировини припадає 124 кг викидів CO₂ [27]. Суттєвий негативний вплив на довкілля також спричиняють транспортні переміщення офісних працівників, внаслідок яких загалом утворюється 12 мегатонн викидів CO₂ [31]. Таким чином, мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище офісної діяльності є одним з пріоритетних напрямків розвитку провідних компаній, особливо тих, які ведуть свою діяльність в узгодженні з критеріями корпоративної соціальної відповідальності бізнесу. Пандемія COVID-19 та необхідність переходу на карантин змусили компанії переосмислити принципи організації робочого процесу, і в цей період у нагоді стали принципи зеленого офісу. Очевидно, що відтепер робота компаній потребує докорінної перебудови і розробка нових рекомендацій з організації офісної діяльності із застосуванням принципів зеленого офісу набуває особливої актуальності.

Постановка завдання

Зважаючи на необхідність перебудови принципів організації робочого процесу в офісах у зв'язку з пандемією COVID-19, надзвичайної актуальності набуває концепція зеленого офісу, яка потребує доопрацювання з урахуванням нових вимог у світі глобальних соціальних та економічних змін. Виходячи з вищевикладеного, мета даної роботи полягає у розробці практичних рекомендацій для організації праці офісних працівників на основі зелених стандартів в умовах пандемії COVID-19 та у пост-пандемічний період. В узгодженні з даною метою сформульовано такі завдання:

- проаналізувати підґрунтя та особливості зеленої сертифікації офісних приміщень для зниження негативного впливу організації на довкілля водночас з підвищенням рентабельності компанії;
- визначити сфери перетину інтересів учасників процесу впровадження зелених офісних стандартів для різних груп зацікавлених осіб в українських компаніях;
- обґрунтувати економічні та нематеріальні переваги зелених стандартів для визначення цінностей офісних будівель;
- визначити ключові міжнародні тенденції розвитку офісної діяльності та представити інструменти адаптації цих практик в діяльність вітчизняних організацій;
- розробити поетапні рекомендації та окреслити заходи безпеки та комфорту ефективного функціонування офісу в умовах пандемії COVID-19 та у пост-пандемічний період з урахуванням зменшення негативного впливу на довкілля.

Результати досліджень

Формування концепції зеленого офісу почалося з 70-х років минулого століття за часів глобальної нафтової кризи, коли провідні компанії США і Західної Європи були вимушені вдатися до заходів корпоративної економії [14]. Перший зелений офіс було створено у 1984 р. в США для Агентства по захисту навколишнього середовища, коли єдиний на той момент моніторинг якості повітря офісних приміщень був проведений за гроші R.J. Reynolds Tobacco Company і то тільки для того, щоб довести «нешкідливість пасивного куріння на робочому місці» [10]. А вже у 1987 р. в документі Комісії ООН по економічному розвитку «Наше загальне майбутнє» прем'єр-міністр Норвегії Гру Харлем Брунтланд запропонувала таке визначення: «Зелений офіс – це філософія управління організацією, яка дозволяє зменшити негативний вплив діяльності компаній шляхом максимального збереження ресурсів і енергії і оптимізації кількості відходів у навколишнє середовище» [35]. З тих часів було пройдено довгий шлях для усвідомлення необхідності дбайливого ставлення бізнесу до довкілля та здоров'я людей, але детально концепцію зеленого офісу було розроблено WWF у Фінляндії тільки в 2002 р. [38]. Аналітик Томас Фрідман вважає, що переломний момент стався у 2006 р., коли «зелена ідея» і «зелений спосіб життя» досягли масовості, а відтоді проекти, інвестиції і виробництво за зеленими принципами стали сприйматися критичною масою людей як нова норма сучасності [17].

В Україні науковим та практичним аспектам зеленого офісу присвячено праці Алексеєнко О.А., Бурковської А.В., Геворкян А.Ю., Головка О.Н., Данилової Н.В., Дубоделової А.В., Ковальова Б.Л., Лункіної Т.І., Маслюківської О.П., Матвеевої Ю.Т., Мосійчук І.В., Паламарчук К.О., Петрашко Л.П., Рубан А.В., Шпак О.Г., Шульги Н.І., Шульженко І.В., Яковенко А.О. та інших авторів, а з кожним роком ця тема набуває все більшої актуальності [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8]. Концепція екологічного управління українськими організаціями офісного типу у 2012 році трансформувалася у стандарт СОУ.ОЕМ 08.036.067:2012 «Зелений офіс. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу», який був розроблений національним технічним комітетом стандартизації ТК 82 «Охорона довкілля». Стандарт базується на кращих практиках впровадження зелених офісів у поєднанні з критеріями міжнародних систем оцінки будівель LEED, BREEAM, DGNB і містить чіткі показники, яким має відповідати зелений офіс [11, 34, 36]. Процедура оцінки відповідності стандарту «Зелений офіс» проводиться за схемою екологічної сертифікації згідно з ISO 14024, а ISO 14001 визначає механізм впровадження та функціонування ефективної системи екологічного менеджменту [24]. Крім того, екологічна сертифікація організацій за програмою «Зелений офіс» також передбачає проведення оцінки відповідності організацій офісного типу стандарту СОУ ОЕМ.08.036.067 «Адміністративні послуги (офіси). Екологічні критерії» і охоплює такі аспекти, як ефективне управління матеріальними та природними ресурсами, енергозбереження, якість оточуючого середовища робочої зони, поводження з відходами, закупівлі товарів і послуг [6]. Відповідно до «Настанови щодо екологічної сертифікації та маркування «зелений офіс» для програм екологічного маркування I типу згідно з ДСТУ ISO 14024» сертифікація відбувається за такими категоріями:

1. Екологічний менеджмент.
2. Енергоефективність.
3. Споживання води.
4. Збереження тепла.
5. Поводження з відходами.
6. Автотранспортні засоби.
7. Товари, вироби та послуги, що закуповуються.
8. Інформування.

Сертифікація зелених офісів дозволяє ідентифікувати і контролювати екологічні аспекти діяльності організації, її продукцію та послуги, знижувати негативний вплив організації на навколишнє природне середовище, зберігаючи при цьому рентабельність виробництва [2]. В розвинутих країнах для урядових установ та провідних компаній світу зелена сертифікація стає необхідною умовою оренди офісу [16]. Схема екологічного менеджменту та аудиту ЄС (EMAS) Європейської Комісії охоплює всі сфери економіки і послуг в усьому світі та підтримує організації у пошуку перевірених інструментів зниження показників негативного впливу на навколишнє середовище [1]. Сертифікати зеленого офісу видає також Greenpeace, якщо немає перевірених інструментів зниження показників негативного впливу на навколишнє середовище [4]. Логотип зеленого офісу WWF (Фінляндія) свідчить про корпоративну відповідальність компанії, вдосконалене управління екологічною ефективністю, впровадження заходів з енергозбереження та практичні ініціативи по підвищенню екологічної обізнаності співробітників [38]. Але при цьому Greenpeace та WWF не висувають чітких кількісних вимог до показників функціонування офісів, а тільки стимулюють розвиток культури впровадження зелених офісів та виконують інформативно-просвітницьку функцію [2]. Особливої уваги заслуговують системи зеленої сертифікації BREEAM (Великобританія), DGNB (Німеччина) та LEED (США), які визначають якість та вплив будівлі на довкілля ще на етапах планування, проектування, будівництва, експлуатації, реконструкції, перебудови та зносу споруди в кінці її життєвого циклу. Такий комплексний підхід забезпечує раціональне землекористування, економію природних ресурсів та енергії, ефективність водокористування, скорочення забруднення та шкідливих викидів, високу якість внутрішнього середовища, безпеку та комфорт людей, інновації та постійне вдосконалення [11, 34].

Для ефективного впровадження зелених стандартів в офісну діяльність слід враховувати потреби та інтереси різних цільових груп. Виділено принаймні три категорії осіб, які прямо або опосередковано впливають на успіх реалізації проектів зеленого офісу в життя: 1) власники офісних приміщень; 2) керівники компаній, що орендують офіси; 3) співробітники компаній та відвідувачі офісів. Крім того, особливості проекту будівлі та інфраструктура залежать від забудовника. На перший погляд інтереси всіх перелічених категорій зацікавлених осіб знаходяться у конфліктних співвідношеннях: забудовник прагне побудувати дешевше і продати дорожче, власник хоче купити найкращу нерухомість за мінімальні кошти і здавати її в оренду за максимальними ставками, орендарі мріють про високу якість приміщень за найменшими цінами, а користувачі в першу чергу звертають увагу на комфорт. Водночас, завдяки реалізації концепції зеленого офісу, можливо знайти сфери перетину інтересів всіх стейкхолдерів офісних приміщень (рис. 1).



Рис. 1 – Сфери перетину інтересів учасників процесу впровадження зелених офісних стандартів

Проектні рішення забудовників впливають на енергоефективність приміщень, тепловий, акустичний та візуальний комфорт, характеристики матеріалів, що використовуються в процесі будівництва. В результаті дослідження 10 000 офісних будівель в США виявлено, що вартість зеленої будівлі приблизно на 5,5 мільйонів доларів більше, ніж вартість звичайної будівлі в тому ж районі [16]. Проте німецькі дослідники довели, що кожне євро, вкладене у збереження ресурсів, окупається в 2-3 рази [2]. Однією з найбільших економічних переваг зеленої сертифікації будівель вважають економію витрат на електроенергію. У типовій офісній будівлі енерговитрати становлять 30% загальних експлуатаційних витрат будинку, тому серед орендарів та власників офісних приміщень зростає попит на зелені споруди. Однак окремі дослідження експлуатаційних витрат ряду офісних будівель США не підтверджують прямого взаємозв'язку зеленої сертифікації та економії енергії, що може бути наслідком індивідуального підходу до операційних витрат кожного орендаря [12]. Власники офісних приміщень можуть бути зацікавлені збільшенням ставок орендної плати в зелених офісах у порівнянні зі звичайними приміщеннями. Цікаві дослідження були проведено для виявлення зв'язку переваг зеленої сертифікації будівель та політичних уподобань, внаслідок чого з'ясувалося, що на політично-ліберальних територіях націнки на оренду зелених офісів становлять майже 6%, а у політично консервативних – менше 2% [21]. У сертифікованих зелених офісах Великобританії орендна ставка вища на 3% за квадратний фут, надбавки за ефективну оренду вище 6%, а ціни на продаж зелених будівель вище приблизно на 16%. При цьому енергоефективне проектування при зниженні споживання енергії на 10% підвищує собівартість всього на 1%, що повністю відшкодовує підвищену плату за оренду та зелену сертифікацію

офісних будівель [28]. Навіть в країнах, що розвиваються, зелені офіси набувають все більшого поширення. Наприклад, в Малайзії внески інвесторів в зелені офісні будівлі позитивно впливають на такі фактори рентабельності інвестицій (Return on investment – ROI), як підвищення капіталу, більший дохід від оренди та економію витрат, а також сприяють підвищенню попиту та числа пропозицій зеленої нерухомості в країні, що мінімізує ризики та забезпечує повернення інвестицій [23].

Беззаперечні достовірні докази економічних переваг зелених будівель пов'язані не тільки з енергозберігаючими характеристиками, підвищенням орендної плати та продажною ціни, а також з нематеріальними аспектами зеленої сертифікації, які також відіграють значну роль у визначенні цінностей зелених будівель на ринку [16]. Недарма зелену сертифікацію за стандартами BREEAM та LEED в Україні в першу чергу отримали саме офісні центри, які тепер завдяки видатним характеристикам якості користуються великим попитом на оренду серед провідних міжнародних та українських компаній. До нематеріальних наслідків сертифікації відносять підвищення продуктивності працівників та покращення іміджу компанії, що також впливає на визначення ринкової вартості зелених будівель [32]. Тому необхідними атрибутами зеленого офісу є не тільки засоби зниження навантаження на довкілля, але й забезпечення комфорту та якості внутрішнього середовища, які безпосередньо впливають на здоров'я та працездатність людей. І це також впливає на економічні показники компанії, наприклад, завдяки зеленій сертифікації офісу штаб-квартири Genzyme і пов'язане з цим збільшення продуктивності праці, вдалося зекономити понад 2 млн \$ на рік зарплатного фонду [11].

В середньому офісний працівник проводить близько 200 днів на рік в офісі, а 80% всіх захворювань виникають під впливом середовища та способу життя [29]. За визначенням ВОЗ здоров'я – це «стан повного фізичного, розумового і соціального благополуччя, а не тільки відсутність захворювань» [37]. Серед офісних захворювань, пов'язаних з непрацездатністю, 7% відносять до скелетно-м'язових пошкоджень, а 1/3 лікарняних видаються через болі у попереку [36]. В зелених офісах рівень працездатності підвищується на 8–11% за рахунок зменшення захворюваності та покращення умов праці, кількість прогулів зменшується на 10%, рівень комфорту оцінюють на 13% вище і на 23% зменшується частота виникнення випадків головного болю та подразнення очей [11, 15]. Дотримання вимог якості внутрішнього середовища в приміщенні (indoor environmental quality – IEQ) є ключовим фактором добробуту та продуктивності офісних працівників. В результаті порівняння IEQ зелених та звичайних будівель в Китаї і Тайвані виявлено, що користувачі зелених офісів значно вище оцінюють тепловий та акустичний комфорт, вентиляцію та якість повітря, дизайн та оздоблення приміщень, умови праці та стан здоров'я, у порівнянні з працівниками звичайних офісних приміщень [29, 30]. Свіже повітря в офісах є одним з ключових показників якості внутрішнього середовища, оскільки при збільшенні концентрації CO₂ від 700 ppm до 1000 ppm продуктивність та якість робочого процесу знижується на 11–23% [22]. В оцінці відчуття комфорту слід враховувати гендерну специфіку офісних працівників, оскільки встановлено, що жінки більш чутливі до зниження температур, особливо взимку [12]. Дотримання стандартів зеленого офісу призводить не тільки до збереження природних ресурсів, але й до підвищення продуктивності праці та добробуту людей [25].

В залежності від визначення сфер відповідальності та можливостей, формуються рекомендації по впровадженню зеленого офісу на різних рівнях – працівники, керівництво і менеджмент компанії, орендодавець. Керівники та менеджмент компаній зацікавлені у підвищенні продуктивності праці співробітників та економії ресурсів, що витрачаються на функціонування компанії. Саме вони приймають рішення про закупівлі, організацію праці. І, нарешті, найбільша категорія стейкхолдерів зеленого офісу – це безпосередньо самі співробітники компанії. Їх приваблює комфорт та якість робочої зони, позитивний вплив зеленого офісу на своє здоров'я та робочий графік. В окремих європейських країнах впровадження принципів зеленого офісу навіть рекомендовано профспілковими організаціями, оскільки це сприяє створенню більш безпечного і комфортного робочого середовища, внаслідок чого усуваються шкідливі умови для розвитку ряду професійних захворювань [28]. Головні переваги для працівників зеленого офісу – це підвищення комфорту та збереження здоров'я, для роботодавців – зростання працездатності співробітників, а для власників офісу – престиж та підвищення орендних ставок. У згаданих вище категорій осіб, зацікавлених у впровадженні зеленого офісу, є зони перетину інтересів. Наприклад, і орендодавці, і орендарі зацікавлені в економії енергії та підвищенні престижу офісного приміщення. Умови праці безпосередньо пов'язані зі здоров'ям користувачів, тому висока якість і комфорт робочих приміщень вигідні і керівництву, і співробітникам компанії.

Епідемія COVID-19 та карантин змусили компанії переосмислити підходи до роботи, при цьому стало очевидно, що застосування принципів зеленого офісу може допомогти навіть у такій надзвичайній ситуації. В умовах пандемії і глобальної економічної кризи офісна діяльність потребує перебудови, а набутий досвід може стати у нагоді після завершення карантину, оскільки вже зараз стало очевидним, що людство перейшло в нову еру, де спалахи смертельних інфекційних захворювань стають повсякденною реальністю. Для виживання необхідно змінити правила соціальної взаємодії та умови праці, а трудове законодавство в Україні не мінялось з радянських часів і там немає згадок про віддалену працю, крім надомної роботи для інвалідів. Проте наприкінці 2019 р. у парламент було внесено законопроект № 2708 «Про працю» та ще три альтернативних проекти, і у 2020 р. українці очікують новий закон, який дозволить офіційно формувати гнучкий графік роботи, працювати дистанційно та ще багато чого. Такий підхід відповідає вимогам часу і потребує розробки рекомендацій для функціонування офісів у пост-пандемічний період.

Рекомендовано перебудувати систему організації роботи з урахуванням індивідуальних особливостей працівників, які виявляться після аналізу продуктивності праці з дому під час карантину. Надання роботодавцями своїм співробітникам можливості працювати з дому та організація гнучкого робочого графіку не тільки підвищує продуктивність праці, але й сприяє економії енергії та ресурсів, а також позитивно впливає на довкілля за рахунок зменшення транспортного забруднення. Все більше компаній та державних установ в усьому світі надають перевагу дистанційній праці. А під час пандемії 2020 року цей підхід набув особливої актуальності та зберіг здоров'я і життя багатьох людей. Скоординований план роботи працівників дозволяє спланувати нову стратегію робочого простору та врахувати індивідуальні

особливості продуктивності працівників. В узгодженні з новими вимогами серед перевірених ефективних стратегій організації робочого простору рекомендовано такі: 1) відокремлені індивідуальні робочі місця; 2) офісний простір для спільної роботи невеликих груп з урахуванням норм соціальної дистанції; 3) домашній офіс; 4) робочі місця спільного користування за принципом вільного столу для співробітників, які не знаходяться в офісі постійно.

Концепція flex-office передбачає гнучкі графіки, роботу з дому, коворкінг, мобільність на робочому місці. Згідно з дослідженням провідної компанії у сфері нерухомості CBRE, 46% французьких компанії все ще розташовані в стандартних закритих офісах, але зростають тенденції переходу найбільших корпорацій у flex-office, причому навіть до пандемії протягом останніх п'яти років таку організацію офісного простору обрали Paribas Personal Finance, L'Oréal, Sanofi, BETC, SFR, Engie, PSA, Danone, Crédit Agricole і Bouygues [15]. Тобто, незважаючи на те, що на сьогодні flex-office займає тільки 6% ринку офісної нерухомості Франції, тут акумульовано 17% співробітників великих компаній, які при цьому демонструють найвищий рівень задоволення умовами праці. Опитування включало 46% співробітників звичайних закритих офісів, 27% фрілансерів, 8% працюючих вдома та 6% у флекс-офісі [27]. Прогресивні організації переглянули свою політику стосовно віддаленої праці персоналу, наприклад, у Twitter співробітникам дозволили не повертатися у офіс навіть після закінчення карантину. Під час пандемії виявилось, що більшість офісних працівників можуть ефективно виконувати свої обов'язки з дому, а 75% нарад та переговорів можна проводити дистанційно з використанням сучасних технологій зв'язку. До того ж режим дистанційної праці є проявом родинно-орієнтованої корпоративної культури, що покращує продуктивність працівників та сприяє їх нематеріальній мотивації. Зменшення кількості ділових поїздок та ефективне використання цифрових комунікацій для дистанційної праці та віртуальних зустрічей економить час та зменшує викиди у зовнішнє середовище від транспортних засобів.

В компаніях, де не всі працівники повний робочий день знаходяться в офісі, у більшості співробітників немає фіксованих робочих місць і діє принцип чистого столу, коли після робочого дня зі столу прибирають особисті речі. Метод для роботи великих команд sharing desk полягає в тому, що кожного ранку співробітники самі вирішують, де їм сьогодні розміститися і займають будь-яке вільне робоче місце. В офісах з незакріпленими робочими місцями hotdesking у працівників немає особистого простору, але в той же час весь простір належить їм.

Офіси типу open space забезпечують динамічний простір для працівників та кращий контроль підлеглих для керівників. Відкритий офісний простір покращує взаємодію між співробітниками, але при цьому важко зосередитись та сконцентруватись, а це незадовільно впливає на якість роботи, швидкість виконання завдань та процес запам'ятовування. В умовах пандемії і у пост-пандемічний період офіси відкритого типу бажано замінити індивідуальними робочими відсіками, що легко зробити за допомогою мобільних перегородок. Такий підхід дозволяє більш ергономічно використовувати офісний простір, створюючи різноманітні локації для комунікацій, нарад, конференцій, навчання, прийому їжі, відпочинку та спортивних занять. Для забезпечення мобільності простору також застосовують трансформовані меблі, завдяки

чому кімнату для переговорів можна легко перетворити на лекторій, тренінг-зал або зону для офіційної зустрічі. В залежності від функціональності і для забезпечення акустичного комфорту використовують різні типи перегородок. Скляними перегородками GlassSystem обладнують кімнати для переговорів і нарад, а перегородки Haworth поглинають до 70% шуму, тому їх встановлюють між робочими столами. Але навіть такі заходи не завжди бувають ефективними, адже 60% працівників за столами з перегородками і 50% людей, які працюють в open space, незадоволені акустичним комфортом, натомість тільки 16% власників окремих кабінетів страждають від зайвих шумів [22]. Крім перегородок, акустичний офісний комфорт забезпечують спеціальні пристрої та матеріали, наприклад, килимове покриття Interface не лише має високі показники звукопоглинання та звукоізоляції, але й на 80% складається з повторно перероблених матеріалів. Не всі працюють ефективно в умовах ізоляції, навіть в індивідуальних кабінетах деякі люди почуваються самотньо і їм здається, що вони відірвані від колективу. Тому в офісах створюють комфортні умови для роботи невеликих команд від 2 до 16 людей в одній кімнаті, де вони можуть взаємодіяти, але рівень шуму значно нижче. Слід пам'ятати, що офіс – це не тільки місце для роботи, але й середовище для життя і спілкування. Необхідно знайти баланс і забезпечити співробітникам умови для вільного вибору, попередньо дослідивши взаємозв'язок продуктивності праці та типу офісного простору і робочого графіку.

Транспортна доступність та район розташування офісу все ще домінують серед факторів офісного престижу, але дизайн інтер'єру офісів набуває все більшого значення. До сучасних актуальних тенденцій обладнання офісу відносять біофільний дизайн, що передбачає інтеграцію природних елементів в будівлі для позитивного впливу на здоров'я та добробут людей. Це може проявлятися як у формі озеленення зовні та всередині будівель, так і у використанні різноманітних природних елементів в інтер'єрах для забезпечення оздоровчого та естетичного ефектів. Опитування 1000 французьких студентів покоління Y виявило, що 42% можуть відмовитись від запропонованої роботи, якщо офісне середовище буде недостатньо «зеленим» [27]. Біофільний офіс включає не тільки наявність зелених рослин в офісі, але й природну естетику, кольори, освітлення, звуки, різноманітність, текстуру поверхонь та вид з вікон. У співробітників офісів з зеленими рослинами і природним освітленням на 6% збільшується продуктивність та на 15% креативність, крім того, покращується стан здоров'я та зменшується кількість прогулів [11]. Зелені стіни з рослин покращують акустику в офісі, знижують рівень CO₂ та поглинають шкідливі летючі сполуки. Найкращими для офісного комфорту вважаються заспокійливі пастельні тони в інтер'єрі. Проте у проведеному експерименті з оцінки впливу кольору стін на продуктивність та настрої працівників було отримано несподівані результати. Суб'єктивна оцінка піддослідних суперечила результатам тестування, оскільки спочатку респонденти стверджували, що червоний колір стін їх відволікає, а білий більше підходить для офісної праці. Але при виконанні тестового завдання найменше помилок офісні працівники робили у приміщенні, пофарбованому у червоне, а у білій кімнаті – найбільше [26]. Таким чином, офісні приміщення потребують різноманітності дизайну та кольорів і згідно з результатами досліджень білі кімнати підходять для рутинної праці, червоні – для напруженої роботи, а зелені – для відпочинку. В умовах небезпеки поширення

інфекції у дизайні офісних інтер'єрів слід надавати перевагу матеріалам з поверхнею, що легко дезінфікується. Рекомендовано впровадження нових норм прибирання приміщень та правил поведіння у спільних офісних просторах. Для підвищення безпеки необхідно створити умови для дотримання соціальної відстані на робочих місцях, у ліфтах, холах, конференц-залах, приймальнях, кухнях, їдальнях, вбиральнях тощо.

Співробітник, який відчувається комфортно на робочому місці, завжди більш мотивований і ефективний, тому для залучення особливо цінних спеціалістів роботодавці намагаються створити найкращі умови для їх праці. Для сьогоденних випускників університетів фактор якості умов праці є вирішальним у виборі роботодавця, але також велике значення мають зміст та кінцеві цілі самої роботи. Аудиторська фірма Deloitte провела дослідження «Sense au travail», внаслідок якого з'ясувалося, що для 30% з 2500 респондентів найбільше значення має сенс роботи та організація праці, чверть пов'язують свій вибір з корпоративними цінностями і стільки ж – з командною роботою. Тільки для 2% опитаних найбільше значення має продукт компанії, для 5% – сфера діяльності і для 12% – вибір професії [28]. Представники молодого покоління схильні часто змінювати місце роботи, адже професійна мобільність пов'язана з прагненням до самовдосконалення і постійним пошуком кращого місця для самореалізації. Згідно з дослідженням 2018 р. «Les perceptions de la mobilité professionnelle» 43% працівників змінили місце роботи (посаду, компанію, галузь, місто або країну) і 62% з них задоволені новим вибором [31]. Щороку професійна мобільність збільшується на 5%, і що ж очікують працівники від роботодавця? Опитування співробітників провідних європейських компаній показало, що 67% з них очікують кращих умов праці, зокрема гнучкого графіку, зручного офісу і ефективних комунікацій; 36% – бідкаються з приводу поганого покриття Wi-Fi і GSM в офісній будівлі; 30% – звертають увагу на забезпечення харчування; 10% – сподіваються на оплату житла; 9% – потребують спортзал в офісі; 7% – турбує безпека праці; 5% – розраховують на дитсадок всередині або поблизу офісу [9]. Але слід відзначити, що 58% респондентів навіть не підозрювали про можливість отримання на роботі всіх перелічених переваг. Компанії, які зацікавлені у висококваліфікованих і талановитих співробітниках дефіцитних спеціальностей, вже сьогодні намагаються зробити все можливе для створення найкомфортніших умов праці, а концепція зеленого офісу якнайкраще підходить для досягнення цієї мети.

Пандемія COVID-19 та карантин змусили компанії переглянути принципи організації праці, і тому для ефективної роботи в кризових умовах необхідно перебудувати офісну діяльність, при цьому зелені стандарти можуть виступати у ролі орієнтира. Концепція зеленого офісу в нових умовах також потребує трансформації, але гармонічне поєднання екологічних, економічних та соціальних принципів завжди залишається актуальним. Критерії екологічної безпеки зеленого офісу підрозділяються на 2 основні категорії: 1) позитивний вплив на людей, що передбачає турботу про здоров'я і покращення комфорту співробітників компанії та відвідувачів офісу; 2) дбайливе відношення до навколишнього середовища шляхом зменшення загального негативного впливу. До головних принципів зеленого офісу відносять зменшення споживання природних ресурсів, скорочення забруднення довкілля, впровадження заходів енергоефективності, покращення умов праці,

екологічна оптимізація закупівель, відповідальне поводження з відходами, раціональні транспортні комунікації, популяризація зеленого стилю життя. Впровадження концепції зеленого офісу призведе до корінних змін в офісному управлінні, зміцнить екологічну відповідальність, зменшить забруднення довкілля, підвищить продуктивність праці та прибутковість організацій. Застосування зелених стандартів дозволяє компанії вийти на кардинально вищий рівень розвитку з новою корпоративною культурою та згуртованою ідейною командою, яка здатна оперативно вирішувати найскладніші завдання бізнесу. Крім того, покращений соціальний імідж компанії дозволяє отримати значні нематеріальні вигоди в суспільстві завдяки зміцненню репутації серед клієнтів, партнерів, інвесторів, органів влади та широких кіл громадськості.

Висновки

1. Застосування зелених стандартів в офісній діяльності зменшує негативний вплив організації на довкілля, сприяє ефективному управлінню ресурсами та енергозбереженню, оптимізує закупівлі та поводження з відходами, підвищує якість і комфорт внутрішнього середовища приміщень, покращує стан здоров'я та працездатність працівників, що водночас позитивно відображається на економічних та репутаційних показниках компанії.

2. Для ефективного впровадження зелених принципів слід враховувати потреби різних цільових груп та знаходити сфери перетину інтересів учасників процесу, зважаючи на економічні та нематеріальні аспекти, зокрема: підвищення рентабельності інвестицій, збільшення попиту на оренду, зростання орендної плати та продажної ціни, зниження операційних витрат, мінімізація ризиків, підвищення продуктивності працівників та покращення іміджу компанії.

3. Пандемія COVID-19 та карантин змусили компанії перебудувати офісну діяльність для ефективної роботи в кризових умовах, при цьому зелені стандарти можуть виступати у ролі орієнтира, оскільки гармонічне поєднання екологічних, економічних та соціальних аспектів завжди залишається актуальним, а впровадження концепції зеленого офісу призведе до корінних змін в організації робочого процесу, зміцнить екологічну відповідальність, зменшить забруднення довкілля, підвищить продуктивність праці та прибутковість організацій, що дозволить компанії вийти на кардинально вищий рівень розвитку з новою корпоративною культурою та згуртованою ідейною командою, яка здатна оперативно вирішувати найскладніші завдання бізнесу.

4. Рекомендації по перебудові офісної роботи в період пандемії COVID-19 включають реорганізацію робочих графіків з розширенням можливостей дистанційної праці, проведення безконтактних нарад та зустрічей з використанням сучасних технологій зв'язку, переобладнання офісного простору з урахуванням вимог соціальної дистанції, інноваційних заходів з покращення умов праці і робочого мікроклімату, нових правил взаємодії у місцях загального користування, посилення норм гігієни та дезінфекції приміщень для підвищення безпеки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Геворкян А.Ю. Безпаперовий офіс в українських реаліях на прикладі компанії ПАТ" САН ІнБев Україна" / А.Ю. Геворкян, А.В. Каплун, О.С. Локтіонова // Вісник НТУ «ХПІ». – 2018. – № 48(1324). – С. 100–103.
2. Данилова Н.В. Концепція «зеленого офісу»: світовий досвід та економічне обґрунтування для України / Н.В.Данилова // Modern Economics [Електронне наукове видання з економічних наук]. – 2017. – № 3. – С. 60–68.
3. Концепція зеленого офісу: Рекомендації для організацій щодо екологічного дружнього ставлення до навколишнього середовища / робоча група: О. П. Маслюківська та ін. — К.: Унів. вид-во «Пульсари», 2007.— 64 с.
4. Маслюківська О. Зелений офіс: з турботою про довкілля, з вигодою для бізнесу / О. Маслюківська, Ю. Щербініна, І. Сіваш – К.: Представництво ООН в Україні, 2009. – 51 с.
5. Матвєєва Ю.Т. Обґрунтування необхідності впровадження принципів зеленого офісу в сучасних вищих навчальних закладах / Ю.Т. Матвєєва, Є.І. Перепека, О.А. Самофалова // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Економічні проблеми сталого розвитку» імені проф. Балацького О. Ф. (Суми, 11–12 травня 2016 р.) Міністерство освіти і науки України / Сумський державний університет (Україна). – С. 43–45.
6. Настанова щодо екологічної сертифікації та маркування «зелений офіс» для програм екологічного маркування I типу згідно ДСТУ ISO 14024 / Орган з сертифікації всеукраїнської громадської організації «Жива планета» [Електронний ресурс]. – 2012. – 26 с. – Режим доступу : <https://www.ecolabel.org.ua/images/page/nastanova-zeleniy-ofis-2015.pdf>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
7. Петрашко Л. П. Адаптація міжнародної практики «Зелений офіс» в українських компаніях / Л. П. Петрашко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Економіка : зб. наук. пр. / Нац. ун-т водного госп-ва та природокористування ; редкол.: В. А. Гурин (голов. ред.) [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2010. – Вип. 4(52). – С. 180–185.
8. Шульженко І.В. «Зелений офіс» як інноваційна практика управління організацією / І.В.Шульженко // Менеджмент XXI століття: глобалізаційні виклики: [кол. монографія]. / [за заг. ред. проф. І. А. Маркіної] – Полтава : ТОВ Сімон, 2017. – С. 693–700.
9. Agence de la transition écologique (ADEME) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ademe.fr>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 30.03.2020.
10. Braungart M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things // M. Braungart, W. McDonough. – Farrar Straus & Giroux : North Point Press, 2002. – 193 p.
11. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.breeam.com>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
12. Choi J.-H. Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines / J.-H. Choi, V. Loftness, A. Aziz // Energy and Buildings. – 2012. – № 46. – P. 167–175.
13. Collinge W.O. Productivity metrics in dynamic LCA for whole buildings: Using a post-occupancy evaluation of energy and indoor environmental quality tradeoffs / W.O. Collinge, A. E. Landis, A. K. Jones, L. A. Schaefer, M. M. Bilec // Building and Environment. – 2014. – № 82. – P. 339–348.
14. Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
15. Écoresponsable au bureau. Actions efficaces et bonnes résolutions. – 2019. – Angers : ADEME. – 27 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ademe.fr/sites/>

- default/files/assets/documents/guide-pratique-ecoresponsable-au-bureau.pdf – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
16. Eichholtz P. Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings / P. Eichholtz, N. Kok, J.M. Quigley // *American Economic Review*. – 2010. – № 100 (5). – P. 2492–2509.
17. Friedman T. L. The power of green // *The International Herald Tribune*. – 2007. – April 15 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.nytimes.com/2007/04/15/opinion/15iht-web-0415edgreen-full.5291830.html>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
18. Green Code Lab [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.greencodelab.org>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
19. Green Office Guide egeneration [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.egeneration.co.uk/centre/modules/green_office. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
20. Green office guide: A guide to help you buy and use environmentally friendly office equipment. [Електронний ресурс]. – 2001. – Commonwealth of Australia. – 22 p. – Режим доступу : <http://www.energyrating.gov.au/library/pubs/greenofficeguide.pdf>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
21. Harrison D. The political economy of green office buildings / D. Harrison, M. Seiler // *Journal of Property Investment and Finance*. – 2011. – V. 29 (4-5). – P. 551–565.
22. Hodgson M. Acoustical Evaluation of Six 'Green' Office Buildings / M. Hodgson, C. Eng // *Journal of Green Building*. – 2008. – № 3 (4). – P. 108–118.
23. Isa M. Factors affecting Green Office Building Investment in Malaysia *Procedia* / M. Isa, M. Rahman, I. Sipan, T.K. Hwa // *Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – № 105. – P. 138–148.
24. ISO 14040-14044: Environmental management – Life cycle assessment. – 2006. – Geneva: Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO).
25. Kamaruzzaman S.N. The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia / S. N. Kamaruzzaman, C.O. Egbu, E. M. Ahmad Zawawi, A. S. Ali, A. I. Che-Anid // *Energy and Buildings*. – 2011. – V. 43(2-3). – P. 407–413.
26. Kwallek N. Effects of environmental colour on males and females: A red or white or green office / N. Kwallek, C.M. Lewis // *Applied Ergonomics*. – 1990. – V 21(4). – P. 275–278.
27. La Semaine Européenne de la Réduction des Déchets (SERD) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.serd.ademe.fr>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
28. Le label des PME qui s'engagent pour l'environnement (EnVol) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.envol-entreprise.fr. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
29. Liang H.-H. Satisfaction of occupants toward indoor environment quality of certified green office buildings in Taiwan / H.-H. Liang, C.-P. Chen, R.-L. Hwang, W.-M. Shih, S.-C. Lo, H.-Y. Liao // *Building and Environment*. – 2014. – № 72. – P. 232–242.
30. Pei Z. Comparative study on the indoor environment quality of green office buildings in China with a long-term field measurement and investigation / Z. Pei, B. Lin, Y. Liu, Y. Zhu // *Building and Environment*. – 2015. – № 84. – P. 80–88.
31. Plan de Déplacements Entreprise [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_affiches_pde.pdf. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
32. Robinson S. Which Green Office Building Features Do Tenants Pay For? A Study of Observed Rental Effects / S. Robinson, R. Simons, E. Lee // *Journal of Real Estate Research*. – 2017. – Vol. 39 (4). – P. 467–492.
33. Simons R. Green Office Buildings: A Qualitative Exploration of Green Office Building Attributes. / R. Simons, S. Robinson, E. Lee // *Journal of Sustainable Real Estate*. – 2014. – Vol. 6(2). – P. 211–232.

34. The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.usgbc.org/leed>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
35. United Nations (UN) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.un.org>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
36. World Green Building Council (WGBC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.worldgbc.org/what-green-building>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
37. World Health Organization (WHO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.who.int>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.
38. WWF, Всесвітній фонд природи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://wwf.ua>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 23.04.2020.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 28.05.2020

REFERENCES

1. Hevorkian, A.Yu., Kaplun, A.V., & Loktionova, O.S. (2018). Bezpaperovyi ofis v ukrainskykh realiiakh na prykladi kompanii PAT "SAN InBev Ukraina" [The paperless office in ukraininan realities on the example of the PJCS "SUN InBev Ukraine" company]. *Visnyk NTU «KPI»*, 48(1324), 100-103. (in Ukrainian)
2. Danylova, N.V. (2017). Kontseptsiiia «zelenoho ofisu»: svitovyi dosvid ta ekonomichne obgruntuvannia dlia Ukrainy ["Green office" concept: international practices and economic evaluation for Ukraine]. *Modern Economics*, 3, 60-68. (in Ukrainian)
3. Masliukivska, O.P. at al. (2007). *Kontseptsiiia zelenoho ofisu: Rekomendatsii dlia orhanizatsii shchodo ekolohichnoho druzhnoho stavlennia do navkolishnoho seredovyshcha [The concept of a green office: Recommendations for organizations on environmental friendliness]*. Kyiv: Univ. vyd-vo «Pulsary». (in Ukrainian)
4. Masliukivska, O., Shcherbinina, Yu., & Sivash, I. (2009). *Zelenyi ofis: z turbotoiu pro dovkillia, z vyhodoiu dlia biznesu [Green office: with care for the environment, with benefits for business]*. K.: Predstavnytstvo OON v Ukraini. (in Ukrainian)
5. Matvieieva, Yu.T., Perepeka, C.I., & Samofalova, O.A. (2016). Obgruntuvannia neobkhidnosti vprovadzhennia pryntsypiv zelenoho ofisu v suchasnykh vyshchykh navchalnykh zakladakh [Substantiation of the need to implement the principles of green office in modern higher education institutions]. In *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia «Ekonomichni problemy staloho rozvytku» imeni prof. Balatskoho O. F. Proceedings of the Conference*, Sumy, May 11–12 2016. (pp. 43-45). Sumy: Sums'kyi derzhavnyi universytet. (in Ukrainian)
6. Nastanova shchodo ekolohichnoi sertyfikatsii ta markuvannia «zelenyi ofis» dlia proham ekolohichnoho markuvannia I typu zghidno DSTU ISO 14024. (2012). Orhan z sertyfikatsii vseukrainskoi hromadskoi orhanizatsii «Zhyva planeta». Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.ecolabel.org.ua/images/page/nastanova-zeleniy-ofis-2015.pdf>. (in Ukrainian)
7. Petrashko, L.P. (2010). Adaptatsiia mizhnarodnoi praktyky «Zelenyi ofis» v ukrainskykh kompaniiakh [Adaptation of the international practice "Green Office" in Ukrainian companies]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriya: Ekonomika : zb. nauk. pr.*, 4(52), 180-185. (in Ukrainian)
8. Shulzhenko, I.V. (2017). «Zelenyi ofis» yak innovatsiina praktyka upravlinnia orhanizatsiieiu ["Green Office" as an innovative management practice of the organization]. *Menedzhment KhKhI stolittia: hlobalizatsiini vyklyky*. I.A. Markina (Ed.) Poltava: TOV Simon. (in Ukrainian)
9. Agence de la transition écologique (ADEME) (n.d.) Retrieved 30 March 2020, from: <https://www.ademe.fr>.

10. Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Farrar Straus & Giroux: North Point Press.
11. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.breeam.com>.
12. Choi, J.-H., Loftness, V., & Aziz, A. (2012). Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines. *Energy and Buildings*, 167-175.
13. Collinge, W.O., Landis, A.E., Jones, A.K., Schaefer, L.A., & Bilec, M.M. (2014). Productivity metrics in dynamic LCA for whole buildings: Using a post-occupancy evaluation of energy and indoor environmental quality tradeoffs. *Building and Environment*, 82, 339-348.
14. Eco-Management and Audit Scheme (EMAS). (2020). Retrieved 23 April 2020 from: http://www.ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm.
15. Écoresponsable au bureau. Actions efficaces et bonnes résolutions. (2019). Angers: ADEME. Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-ecoresponsable-au-bureau.pdf>.
16. Eichholtz, P., Kok, N., & Quigley, J.M. (2010). Doing Well by Doing Good? Green Office Buildings. *American Economic Review*, 100(5), 2492-2509.
17. Friedman, T. (2007). The power of green. *The International Herald Tribune*. Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.nytimes.com/2007/04/15/opinion/15iht-web-0415edgreen-full.5291830.html>.
18. Green Code Lab. Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.greencodelab.org>.
19. Green Office Guide egeneration. Retrieved 23 April 2020 from: http://www.egeneration.co.uk/centre/modules/green_office.
20. Green office guide: A guide to help you buy and use environmentally friendly office equipment. (2001). *Commonwealth of Australia*. Retrieved 23 April 2020 from: <http://www.energyrating.gov.au/library/pubs/greenofficeguide.pdf>.
21. Harrison, D., & Seiler, M. (2011). The political economy of green office buildings. *Journal of Property Investment and Finance*, 29(4-5), 551-565.
22. Hodgson, M., & Eng, C. (2008). Acoustical Evaluation of Six 'Green' Office Buildings. *Journal of Green Building*, 3(4), 108-118.
23. Isa, M., Rahman, M., Sipan, I., & Hwa, T.K. (2013). Factors affecting Green Office Building Investment in Malaysia Procedia. *Social and Behavioral Sciences*, 105, 138-148.
24. ISO 14040-14044: Environmental management – Life cycle assessment. (2006). Geneva: Principles and framework, International Organisation for Standardisation (ISO).
25. Kamaruzzaman, S.N., Egbu, C.O., Ahmad Zawawi, E.M., Ali, A.S., & Che-Anid A.I. (2011). The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 407-413.
26. Kwallek, N., & Lewis, C.M. (1990). Effects of environmental colour on males and females: A red or white or green office. *Applied Ergonomics*, 21(4), 275-278.
27. La Semaine Européenne de la Réduction des Déchets (SERD). Retrieved 23 April 2020 from <https://www.serd.ademe.fr>.
28. Le label des PME qui s'engagent pour l'environnement (EnVol). Retrieved 23 April 2020 from: www.envol-entreprise.fr.
29. Liang, H.-H., Chen, C.-P., Hwang, R.-L., Shih, W.-M., Lo, S.-C., & Liao, H.-Y. (2014). Satisfaction of occupants toward indoor environment quality of certified green office buildings in Taiwan. *Building and Environment*, 72, 232-242.
30. Pei, Z., Lin, B., Liu, Y., & Zhu Y. (2015). Comparative study on the indoor environment quality of green office buildings in China with a long-term field measurement and investigation. *Building and Environment*, 84, 80-88.
31. Plan de Déplacements Entreprise. Retrieved 23 April 2020 from: www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_affiches_pde.pdf.

32. Robinson, S., Simons, R., & Lee, E. (2017). Which Green Office Building Features Do Tenants Pay For? A Study of Observed Rental Effects. *Journal of Real Estate Research*, 39(4), 467-492.
33. Simons, R., Robinson, S., & Lee, E. (2014). Green Office Buildings: A Qualitative Exploration of Green Office Building Attributes. *Journal of Sustainable Real Estate*, 6(2), 211-232.
34. The Leadership in Energy & Environmental Design (LEED). Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.usgbc.org/leed>.
35. United Nations (UN). Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.un.org>.
36. World Green Building Council (WGBC). Retrieved 23 April 2020 from: <http://www.worldgbc.org/what-green-building>.
37. World Health Organization (WHO). Retrieved 23 April 2020 from: <https://www.who.int>.
38. WWF, Vsesvitnii fond pryrody. Retrieved 23 April 2020 from: <https://wwf.ua>.

The article was received 27.04.2020 and was accepted after revision 28.05.2020

Кривомаз Тетяна Іванівна

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

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

e-mail: ecol@i.ua

ORCID ID: 0000-0002-4161-9702

Карпенко Ніна Сергіївна

студентка Національного університету «Києво-Могилянська академія»

Адреса робоча: 04655 Україна, м. Київ, вулиця Григорія Сковороди, 2

e-mail: kandiryulina@gmail.com

УДК 681.5.01: 629.52.7

Vasyl M. Trysnyuk, D. S. (Engineering), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-9920-4879 *e-mail*: trysnyuk@ukr.net

Vyacheslav O. Okharev, PhD, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-6270-6293 *e-mail*: okhariev.vo@gmail.com

Taras V. Trysnyuk, PhD, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-3672-8242 *e-mail*: trysnyuktaras@ukr.net

Yuriy M. Holovan, postgraduate
ORCID ID: 0000-0001-7050-9310 *e-mail*: dirrecta@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF PEDOSPHERE POLLUTION BY PETROLEUM PRODUCTS

Abstract. *The article proposes a topical scientific-applied task of increasing the level of ecological safety of the soil cover contaminated with petroleum products. The main tasks are to develop new methods of environmental monitoring of soil cover; research on the processes of migration of petroleum products in the soil cover in order to improve the quality of the degradation of degraded territories and to develop forecast models for the timely identification of areas that are at risk of contamination; establishment of dependencies between the state of contamination of soils with petroleum products and their genesis and identification of patterns of propagation of the pollutant in the studied environment. In the course of the research, the system of ecological monitoring of the soil cover with the use of the infrared spectrophotometry method was improved. The method of physicochemical analysis of soil samples is substantiated and dependencies between the state of soil contamination of petroleum products and their genesis are established.*

Keywords: *petroleum products; soil cover; reclamation; pollution; degradation; monitoring*

В.М. Триснюк, В.О. Охарєв, Т.В. Триснюк, Ю.М. Голован

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ПЕДОСФЕРИ НАФТОПРОДУКТАМИ

Анотація. *У статті запропоновано актуальне науково-прикладне завдання підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтового покриву, забрудненого нафтопродуктами. Основні шляхи його розв'язання полягають у розробленні нових методів екологічного моніторингу ґрунтового покриву; дослідженні процесів міграції нафтопродуктів у ґрунтовому покриві з метою підвищення якості рекультивації деградованих територій та розробленні прогностичних моделей для своєчасного виявлення територій, які перебувають у зоні ризику забруднення; встановленні залежностей між станом забруднення ґрунтів нафтопродуктами та їх генезисом і виявленні закономірностей поширення*

© В.М. Триснюк, В.О. Охарєв, Т.В. Триснюк, Ю.М. Голован, 2020

полютанта у досліджуваному середовищі. В процесі досліджень вдосконалено систему екологічного моніторингу ґрунтового покриву з застосуванням методу інфрачервоної спектрофотометрії. Обґрунтовано метод фізико-хімічного аналізу проб ґрунтів та встановлено залежності між станом забруднення ґрунтів нафтопродуктами та їх генезисом.

Ключові слова: *нафтопродукти; ґрунтовий покрив; рекультивация; забруднення; деградація; моніторинг*

Вступ

Забруднення ґрунтового покриву залишилось актуальною проблемою навіть із зменшенням видобувного навантаження, а підтвердженням є продовження деградації родючого шару, що завдає нищівної шкоди екосистемі. Аналізуючи роботи попередніх досліджень, була обґрунтована необхідність розробки системи сучасного екологічного моніторингу при нафтовому забрудненні та оптимального застосування не лише досліджень рівня нафтохімічного забруднення та змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів, а й екологічної оцінки, можливих перспектив для подальшого використання деградованих територій нафтових родовищ. Метою статті є розроблення системи екологічного моніторингу ґрунтового покриву для виснажених нафтогазових родовищ з застосуванням методу інфрачервоної спектрофотометрії. Аналізуючи літературні джерела та наукові роботи, які пов'язані з проблемами моніторингу ґрунтового покриву забрудненої нафтопродуктами території, можна визначити основні завдання, які полягають у розробленні нових методів екологічного моніторингу ґрунтового покриву; дослідженні процесів міграції нафтопродуктів у ґрунтовому покриві з метою підвищення якості рекультивации деградованих територій та розробленні прогностичних моделей для своєчасного виявлення територій, які перебувають у зоні ризику забруднення; встановленні залежностей між станом забруднення ґрунтів нафтопродуктами та їх генезисом і виявленні закономірностей поширення полютанта у досліджуваному середовищі [1, 5].

Виклад основного матеріалу дослідження

Під час потрапляння у ґрунт нафтопродукти розподіляються інакше, ніж, наприклад, у водному середовищі. Якщо під час потрапляння у воду нафтопродукти утворюють тонку плівку, збіднюються легкими фракціями й далі утворюють емульсії, то у ґрунті вони проникають вглиб від поверхні, а збіднення легкими фракціями вуглеводнів відбувається значно меншою мірою. Нафтопродукти всмоктуються ґрунтом (особливо добре сухим ґрунтом) за рахунок капілярних сил й можуть утримуватися в такому стані тривалий час, повністю позбавляючи ґрунт родючості, перетворюючи його в насичену нафтопродуктами губку [5]. Моніторинг ґрунтів складається із систематичних спостережень за станом ґрунтів (зйомки, обстеження, вишукування), виявлення змін, а також оцінювання: стану використання угідь, полів, земельних ділянок; процесів, пов'язаних із зміною родючості ґрунтів (розвиток водної та вітрової ерозії, втрата гумусу, погіршення структури ґрунту, заболочення та засолення), заростання сільськогосподарських угідь, забруднення ґрунтів пестицидами та іншими токсичними речовинами; стану

берегових ліній річок, озер, морів, заток, лиманів, водосховищ, гідротехнічних споруд; процесів, пов'язаних з утворенням ярів, зсувів, сольових потоків, карстових, криогенних та інших явищ; стану ґрунтів населених пунктів, територій, зайнятих очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, захороненням токсичних промислових відходів і радіоактивних матеріалів, а також іншими промисловими об'єктами. Моніторинг земельних ресурсів неможливий без врахування взаємозв'язку із компонентами живої природи, особливою мірою це стосується прогнозування змін у структурі земельних ресурсів. Не менш вагомим є вплив людського суспільства на структуру, стан та зміни земельних ресурсів. Особливо це актуально у сфері екології, збереження довкілля, раціонального природокористування та оптимізації максимальної ефективності використання природних ресурсів. Моніторинг земельних ресурсів виконується в усіх підсистемах геосфери із використанням усіх придатних для цього методів та технологій природничих та прикладних наук. Моніторинг земельних ресурсів здійснюють на трьох рівнях — національному, регіональному та локальному. Вважають, що ґрунти є забрудненими, коли концентрація нафти чи нафтопродуктів в них досягає такої величини, при якій починаються негативні зміни екологічного стану навколишнього природного середовища, включаючи гідро- і атмосферу. Небезпечним забруднення є тоді, коли воно перевищує границю потенціалу самоочищення. Встановлено, що при рівні вмісту нафтопродуктів в ґрунті до 100 мг/кг в ньому ще немає ознак екологічної шкоди, від 400 мг/кг — проявляється фітотоксична дія нафтозабруднення, від 2000 мг/кг — пригнічується мікробіоценоз, від 20 000 мг/кг — починається повна деградація ґрунту [6]. Згідно з іншою класифікацією, яка базується на дослідженнях консорціуму мікроорганізмів нафтозабруднених ґрунтів, виділяють три якісно відмінні рівні забруднення [7]. 1. Низький (зона гомеостазу) із вмістом нафтопродуктів до 0,7 мл/кг (від 0,06 до 4,3%); цей рівень забруднення характеризують незначні кількісні зміни мікробіологічних показників, котрі найчастіше несуттєво відрізняються від контрольних показників. 2. Високий (зона резистентності) — від 50 до 300 мл/кг (від 4,3% до 25,5%); у цьому разі спостерігається зміна домінантних форм. 3. Дуже високий (зона репресії) — більше 300 мл/кг (більше 25,5%); для цього рівня властиве майже повне пригнічення розвитку мікроорганізмів у ґрунті та інгібування мікробіологічних процесів [8]. Рівень допустимої концентрації нафти та нафтопродуктів у ґрунтах не скрізь однаковий. Він буде відрізнятися залежно від: ґрунтово-кліматичної зони; типу ґрунту; складу нафти, що потрапила в ґрунт. У середньому нижня межа концентрацій нафти в забрудненому ґрунті змінюється від 0,1 до 1,0 г/кг. Критерієм також може слугувати концентрація, що є вищою 0,05 мг/м³ нафти і нафтопродуктів у воді, профільтованій через забруднений ґрунт. Нафтове забруднення створює нову екологічну обстановку, що призводить до глибокої зміни всіх ланок природних біоценозів або їхньої повної трансформації. Загальна особливість всіх нафтозабруднених ґрунтів — зміна чисельності та обмеження видового різноманіття педобіонтів (ґрунтової мезофауни та мікрофауни, а також мікрофлори).

Для оцінки екологічного стану ґрунтового покриву визначається вміст в ґрунтах забруднювальних речовин і формується відповідна база даних. При екологічних дослідженнях того чи іншого регіону визначається оптимальна

мережа екологічних полігонів, на яких відбираються проби з ґрунтового покриву. Приклад цієї бази наведений фрагментами в табл. 1, що знайшло своє відображення на еколого-техногеохімічних картах.

На основі отриманих баз даних (1) були розраховані, за методикою В.М. Гуцуляка [8], сумарні показники забруднення СПЗ як суми відношень вмісту тої чи іншої речовини C_i до фонового вмісту C_f або до ГДК:

$$СПЗ = \sum_{n=1}^i C_i : C_f \text{ або } СПЗ = \sum_{n=1}^i C_i : ГДК. \quad (1)$$

ГДК забруднювальних речовин для ґрунтів відомі, а фонові вмісти розраховувались за методикою О.М. Адаменка [3]. З нашої точки зору, СПЗ необхідно визначати не тільки по відношенню до ГДК, а й до фону, тому що регіональний фон вмісту того чи іншого хімічного елемента або речовини більш об'єктивно відображає природне геохімічне поле ґрунтового покриву. На фоні регіональних вмістів забруднювальних речовин виявляються геохімічні аномалії, які утворюються, якщо фон перевищено не менше, як у 3 рази.

Таблиця 1 – Забруднення ґрунтів Тернопільської області нафтопродуктами 2018 р.

Область	Район	Кількість проб, штук			Вміст забруднювача мг/кг			ГДК, мг/кг
		Проаналізовано	з них містять ЗКП	З них із вмістом вище ГДК	мін	середн	макс	
Тернопільська	Бучацький	602	-	не виявл.	0,02	0,20	0,63	3,0
		602	-	не виявл.	2,52	7,8	18,37	30
	Чортківський	734	-	не виявл.	0,02	0,23	0,77	3,0
		734	-	не виявл.	2,84	7,13	22,31	30
	Борщівський	245	-	не виявл.	0,07	0,23	0,55	3,0
		245	-	не виявл.	2,47	7,46	12,99	30

При еколого-техногеохімічних дослідженнях, з нашої точки зору, важливе значення мають флуктуації фону. Іноді пропонують відносити до фонових вмістів такі, що на гістограмах знаходяться вище 10-відсоткового рівня. З врахуванням t-критерія Ст'юдента і величини ймовірності визначають фонові вмісти А.А. Беус, Ю.Е. Саєт та ін. Для визначення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив також пропонується ввести індекс забруднення ґрунтів (ІЗГ). Для цього необхідно розрахувати коефіцієнти концентрації необхідної кількості забруднюючих речовин в ґрунтах. Коефіцієнт концентрації K_c визначаємо як співвідношення реального вмісту хімічних елементів в ґрунтах (C) та його гранично допустимої концентрації (рис. 2).

$$K_c = \frac{C}{ГДК} \quad (2)$$

Відповідно, ІЗГ буде розрахований за наступною формулою:

$$ІЗГ = \sum_{i=1}^n \frac{K_c}{n} \quad (3)$$

де n – число врахованих елементів, вміст яких перевищує ГДК.

На основі представленої методики можна побудувати картографічну геомодель оцінки якості атмосфери та ґрунтів в кожній з адміністративних одиниць досліджуваного регіону. Також можна побудувати графік зв'язку ІЗП та ІЗГ та встановити коефіцієнт кореляції даних характеристик. На еколого-техногеохімічну карту розповсюдження того чи іншого елемента в конкретному середовищі виносяться ізолінії його рівних концентрацій (ізоконцентрат ік), які повинні відповідати середньому вмісту елемента в кожному характерному інтервалі.

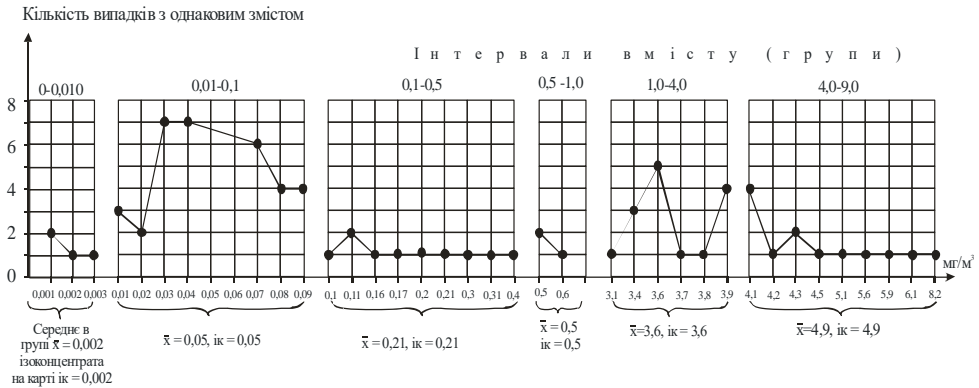


Рис. 1 – Групування вмісту (C) нафтопродуктів в характерних інтервалах (групах) та визначення середнього вмісту (x) в кожному характерному інтервалі (групі) для проведення на карті типових ізоліній однакових концентрацій елементів в ґрунтах Тернопільської області

Тобто ізолінії концентрацій елементів на картах проводяться не довільно, як іноді можна бачити на геохімічних картах, а тільки через характерні інтервали. Такі ізолінії будуть передавати характер розповсюдження елемента в довкіллі [9] (рис. 3).

Поелементні еколого-техногеохімічні карти вмісту того чи іншого елемента в компонентах ландшафтів будуються шляхом інтерполяції даних від одного екологічного полігону до сусіднього (рис. 3). Для визначення екологічного стану територій запропоновано визначити індекси забруднення атмосфери окремих районів міста, отримані в результаті обробки даних моніторингу методами багатовимірної аналізу. Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу та результатів аналізу розроблено систему візуалізації екологічних індексів, які можна безпосередньо наносити на електронну карту, тобто візуалізувати території з різним екологічним статусом. Дані екологічного моніторингу й результати обробки представлені у вигляді екологічних карт статистичних поверхонь.

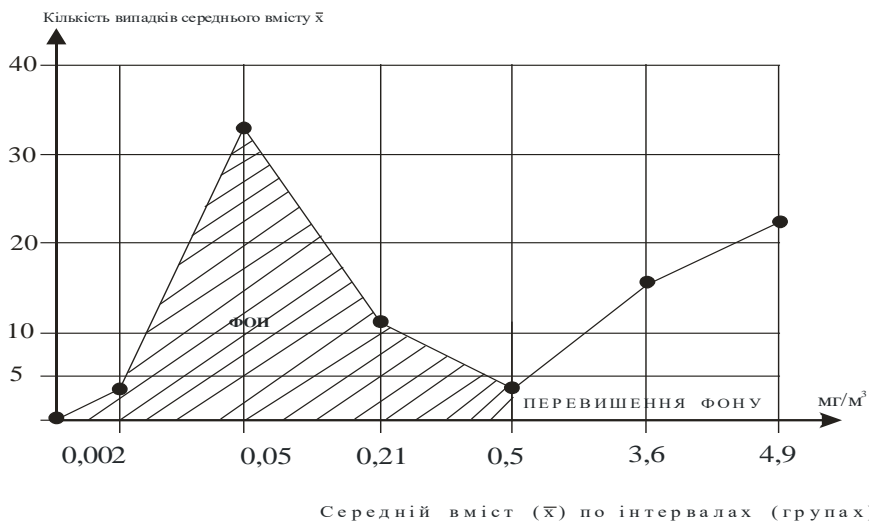


Рис. 2 – Розподіл середніх вмістів (\bar{X}) нафтопродуктів по інтервалах (групах) в ґрунтах Гусятинського району Тернопільської області

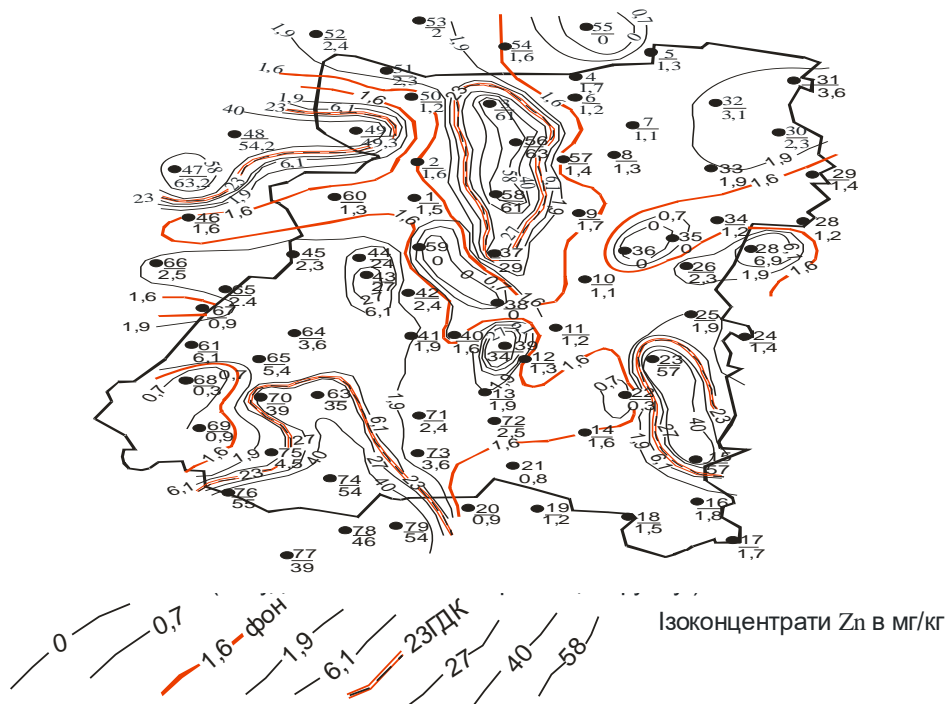


Рис. 3 – Еколого-технохімічна карта вмісту (мг/кг) нафтопродуктів в ґрунтах Тернопільської області. М 1:100000

Карти, побудовані на основі екологічних індексів, дають найбільш цілісне й інтегроване уявлення про екологічний стан досліджуваної території, оскільки одночасно враховується цілий ряд особливо небезпечних показників [1]. В сфері регіонального моніторингу при визначенні екологічної безпеки методи дистанційного зондування Землі можуть успішно доповнювати наші методики, а в деяких випадках навіть перевершувати їх за інформативністю.

Зіставлення в ГС показників розрахункового часу проникнення забруднюючих речовин крізь зону аерації з переважаючим напрямком фізико-хімічної міграції хімічних елементів та існуючим рівнем забруднення, дозволяє визначити різний ступінь ризику забруднення ґрунтів та прогнозувати їх забруднення.

Висновки і пропозиції

Вдосконалено методику екологічного моніторингу забруднення педосфери нафтопродуктами. Розроблена методика дозволяє ефективно оцінити стан досліджуваної території, враховує особливості як рівня дослідження, так і досліджуваної ділянки. Гнучкість нової системи дозволяє отримувати більшу кількість адекватної інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS ISSN 1582-0548, №1, 2018, С. 61–67.
2. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. Київ. Наукова думка. 2007. – 219 с.
3. Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
4. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. – 2016. – №12. – С. 185–188. Index Copernicus
5. Kosenko, V.V. and Kuchuk, N.H. (2016), "Vzayemodiya tekhnichnykh I prohramnykh zasobiv pry upravlinni rozpodilom trafika" ["The interaction of hardware and software in the management of traffic distribution"], Systemy ozbroynnyia I viys'kova tekhnika ["Systems of Arms and Military Equipment"], No. 3 (47), pp. 72–75.
6. Myrontsov, M.L. [2019] The problem of equivalence in inverse electrometry problems of oil and gas wells. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
7. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling. – Springer, Berlin, Heidelberg. 347–352.
8. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., Zagorodnia, S. [2015] Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment. Journal of Environmental Science and Engineering. A4, 79–84.
9. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts

Стаття надійшла до редакції 23.01.2020 і прийнята до друку після рецензування 06.04.2020

REFERENCES

1. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS, 1, 61-67.

2. Grekov, L.D., Krasovsky, G.Y., & Trofimchuk, O.M. (2007). *Space monitoring of land pollution by man-made dust*. Kiev: Naukova dumka. (in Ukrainian)
3. Adamenko, O.M., Adamenko, Y.A., Arkhipova, L.M. et al. (2014). *Ecological safety of territories*. Ivano-Frankivsk: Suprun. (in Ukrainian)
4. Trisnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system for natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188. (in Ukrainian)
5. Kosenko, V.V. & Kuchuk, N.H. (2016). Vzeyemodiya tekhnichnykh I prohramnykh zasobiv pry upravlinni rozpodilom trafika [The interaction of hardware and software in the management of traffic distribution]. *Systemy ozbroyennya I viyskova tekhnika [Systems of Arms and Military Equipment]*, 3(47), 72-75. (in Ukrainian)
6. Myrontsov, M.L. (2019). The problem of equivalence in inverse electrometry problems of oil and gas wells: *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts*.
7. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., & Hlebuch, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling*, 347-352. Springer, Berlin, Heidelberg.
8. Trofymchuk, O., Kreta, D., Myrontsov, M., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Zagorodnia, S. (2015). Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment. *Journal of Environmental Science and Engineering*, A4, 79-84.
9. Trisnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trisnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., & Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation: *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts*.

The article was received 23.01.2020 and was accepted after revision 06.04.2020

Триснюк Василь Миколайович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Робоча адреса: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-9920-4879 **e-mail:** trisnyuk@ukr.net

Охарєв Вячеслав Олександрович

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

Робоча адреса: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-6270-6293 **e-mail:** okhariev.vo@gmail.com

Триснюк Тарас Васильович

кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Робоча адреса: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0002-3672-8242 **e-mail:** trisnyuktaras@ukr.net

Голован Юрій Миронович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Робоча адреса: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-7050-9310 **e-mail:** dirrecta@gmail.com

УДК 628.4

Bogdan Yemchura¹, Postgraduate student

ORCID ID 0000-0001-8079-3407 *e-mail*: yemchura.b.m@gmail.com

Gennadii Kochetov¹, D. S. (Engineering), Professor

ORCID ID 0000-0003-0041-7335 *e-mail*: gkochetov@gmail.com

Aleksey Vasiliev², Dr., Professor

ORCID ID 0000-0003-2687-0672 *e-mail*: vasiliev@etsu.edu

Dmitry Samchenko¹, PhD, Senior Scientist

ORCID ID 0000-0003-3305-8180 *e-mail*: sama30071988@gmail.com

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² East Tennessee State University, Johnson City, USA

ENERGY-SAVING PROCESSING OF GALVANIC SLUDGE BY THE FERRITIZATION METHOD

Abstract. *Increasing the level of ecological safety for industrial facilities through the implementation of resource-saving technology for the processing of toxic waste – galvanic sludge by ferritization method is considered. Advantages of using electromagnetic pulse activation method of ferritization process in comparison with traditional thermal one are experimentally confirmed. It is recommended to use electromagnetic pulse discharges with magnetic induction amplitude of 0.298 T and pulse rate of 0.5 to 10 Hz to activate the ferritization process. This method of activation ensures a high degree of recovery of heavy metal ions – up to 99.97% and the reuse of purified water in industrial facilities. The regularities of removal of heavy metals by ferritization in the range of aeration rate values $0.225 \div 0.075 \text{ m}^3/\text{h}$ in the reacton mixture under different activation methods are established. Investigated the physical properties and structure of sediments, obtained by ferritization method. Environment friendly ferrite precipitates are characterized by a high degree of centrifuge seal (more than 90%) and a crystalline structure with the maximum content of ferrite phases with magnetic properties. The method of electromagnetic impulse activation also has undeniable energy advantages in comparison with traditional high-temperature one: electricity costs are reduced more than 60%. In addition, reducing the aeration rate to $0.075 \text{ m}^3/\text{h}$ makes it possible to additional cost reduction for the proposed technology. The immobilization of heavy metals in environmentally safe ferrite sludge enables further disposal of waste in commodity products. The proposed process of galvanic waste processing by improvement of ferritization method prevents environmental pollution, ensures efficient and rational use of water, raw materials and energy in the galvanic industry.*

Keywords: *galvanic sludge; heavy metal ions; ferritization; electromagnetic pulse*

© Б. Ємчура, Г. Кочетов, А. Васильєв, Д. Самченко, 2020

Б. Ємчура¹, Г. Кочетов¹, А. Васильєв², Д. Самченко¹

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

² Державний університет Східного Теннессі, Джонсон-Сіті, США

ЕНЕРГООЩАДНА ПЕРЕРобКА ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ ФЕРИТИЗАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

***Анотація.** Розглянуто перспективу підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств шляхом реалізації ресурсозберігаючої технології переробки токсичних відходів – гальванічних шламів – методом феритизації. Експериментально підтверджено переваги застосування електромагнітного імпульсного методу активації процесу феритизації в порівнянні з традиційним термічним. Рекомендується використання електромагнітних імпульсних розрядів з амплітудою магнітної індукції 0,298 Тл та частотою імпульсів від 0,5 до 10 Гц для проведення активації процесу. Такий спосіб активації забезпечує високий ступінь вилучення іонів важких металів – 99,97% та повторне використання очищеної води на виробництві. Встановлені закономірності феритизаційного вилучення важких металів в діапазоні значень реакційної швидкості аерації суміші $0,225 \div 0,075$ м³/год при різних способах активації. Досліджено фізичні властивості та структуру осадів феритизації. Екологічно безпечні феритизаційні осади характеризуються високим ступенем ущільнення на центрифугі (більш ніж 90%) та кристалічною структурою з максимальним вмістом феритних фаз з магнітними властивостями. Метод електромагнітної імпульсної активації має також і незаперечні енергетичні переваги в порівнянні з традиційним високотемпературним: затрати електроенергії знижуються більш ніж на 60%. Крім того, зменшення швидкості аерації до 0,075 м³/год дає можливість додатково здешевити запропоновану технологію. Імобілізація важких металів у екологічно безпечні феритні осади дає можливість подальшої утилізації відходів в товарних продуктах. Запропонований процес переробки гальванічних відходів удосконаленим методом феритизації запобігає забрудненню навколишнього середовища, забезпечує ефективне і раціональне використання води, сировини та енергії в системі гальванічного виробництва.*

***Ключові слова:** гальванічні шлами; важкі метали; феритизація; електромагнітні імпульсні розряди*

Актуальність дослідження

Забруднення води є одним з головних факторів ризику для здоров'я людини. Токсичні стічні води гальванічних виробництв, а також відходи очистки води становлять особливу небезпеку з огляду на високий вміст токсичних сполук важких металів. Традиційні методи очищення стічних вод гальванічних виробництв зводяться до їх переробки в малорозчинні гідроксиди важких металів [1]. З цих нестійких шламів легко вилуговуються іони важких металів у ґрунт та водні об'єкти, тим самим наносячи невилправну шкоду всій екосистемі [2]. В Україні щорічно накопичується у спеціально відведених місцях близько 2,3 млн тонн токсичних відходів кислот, лугів і солей, а також 1 млн тонн гальванічних шламів [3]. Тому на підприємствах повністю вичерпана можливість розміщення на власній території таких відходів. На теперішній час масштаби їх переробки та утилізації недостатні, а спеціальних

полігонів не вистачає. Ось чому проблема переробки гальванічних шламів з кожним роком набуває все більшого значення.

Перспективним методом переробки гальванічних шламів є метод феритизації [4]. Використання цього методу дозволяє отримати нешкідливі для довкілля стійкі сполуки феритів важких металів в результаті високотемпературної обробки розчинів лужним реагентом та киснем повітря. Крім того, цей метод забезпечує високий ступінь вилучення іонів важких металів з реакційної суміші [5].

Одним із важливих технологічних параметрів процесу феритизації є швидкість аерації реакційної суміші киснем повітря. Незважаючи на ряд публікацій в літературі [6–8], цей аспект феритизації залишається практично недослідженим. Аераційний процес може впливати як на техніко-економічну, так і екологічну ефективність феритних технологій.

Актуальним є також вдосконалення феритизаційної переробки гальванічних шламів шляхом використання енергоощадного електромагнітного імпульсного методу активації процесу феритизації [9].

Метою цієї роботи є експериментальні дослідження впливу швидкості аерації та способу активації реакційної суміші на ступінь вилучення іонів важких металів і фізико-хімічні властивості осадів феритизаційної переробки гальванічних шламів.

Методика дослідження

Нами досліджувався згущений осад – гальванічний шлам, який є відходом реагентної очистки концентрованих стічних вод - відпрацьованих електролітів нікелювання, міднення і цинкування одного із промислових підприємств м. Києва. Переробка шламу, основні характеристики якого представлено в табл. 1, проводилась в дві стадії. На першій стадії осад розчинявся у відпрацьованому травильному розчині (табл. 2). Друга стадія переробки шламу – феритизація отриманого розчину [9].

Таблиця 1 – Основні характеристики гальванічного шламу нейтралізації

Вміст іонів важких металів, г/дм ³				рН	Густина (ρ), г/см ³	Вологість (W), %	Сухий залишок мг/дм ³
Fe ^{заг.}	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺				
0,203	4,732	2,631	1,425	9,81	1,016	93,06	3040

Таблиця 2 – Основні характеристики відпрацьованого сірчано-кислотного травильного розчину

Матеріал травлення	Fe ^{заг.} , г/дм ³	SO ₄ , г/дм ³	рН	Завислі речовини, г/дм ³
Сталеві труби	46,6	79,89	1,45	0,35

Процес феритизації отриманої реакційної суміші проводився при оптимальних технологічних параметрах, які були нами визначені в [9]:

сумарна концентрація іонів важких металів $C_{\Sigma} = 10,41 \text{ г/дм}^3$ ($\text{Fe}_{\text{зар}} - 8,329$; $\text{Ni}^{2+} - 1,122$; $\text{Cu}^{2+} - 0,624$; $\text{Zn}^{2+} - 0,337 \text{ г/дм}^3$); співвідношення концентрацій іонів $[\text{Fe}_{\text{зар}}] / \Sigma([\text{Ni}^{2+}] + [\text{Cu}^{2+}] + [\text{Zn}^{2+}]) Z = 4/1$; $\text{pH} = 10,5$; тривалість процесу $\tau = 25 \text{ хв}$. Швидкість аерації реакційної суміші змінювали в діапазоні $0,225 \div 0,075 \text{ м}^3/\text{год}$.

Процес феритизації здійснювався як з термічним, так і електромагнітним імпульсним способом активації реакційної суміші. Для проведення дослідження використовували дві лабораторні установки з робочим об'ємом реактора 1 дм^3 : з термічною активацією феритизаційного процесу при температурах до 75°C [10] та електромагнітною імпульсною активацією при температурі 20°C (рис. 1). Електромагнітний імпульсний спосіб активації мав раціональні режимні характеристики, які попередньо були визначені нами: амплітуду магнітної індукції $0,298 \text{ Тл}$; частоту імпульсів від $0,5$ до 10 Гц ; кількість пакетів імпульсів та імпульсів в пакеті 4 і 10 , відповідно; тривалість імпульсу від 50 до 1000 мс , інтервали між імпульсами від 50 до 1000 мс , між пакетами – 10 с [11, 12].

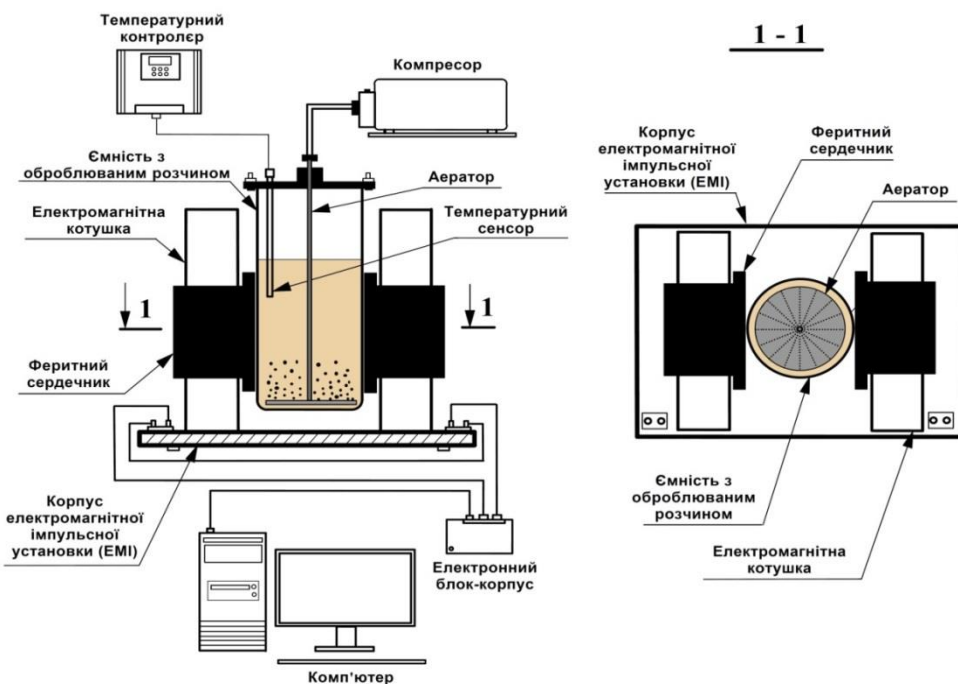


Рис. 1 – Принципова схема лабораторної установки переробки гальванічних відходів методом феритизації з електромагнітною імпульсною активацією

Залишкові концентрації іонів важких металів (феруму, нікелю, міді і цинку) після переробки гальванічних шламів методом феритизації визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі AAA-6800 (Shimadzu, Японія).

Об'єм ущільненого осаду після центрифугування – на обладнанні ОПН-8 (Дастам М, Росія) при факторі розділення (Фр) 3600 протягом 2 хв . Частота обертання ротора становила 6000 об/хв .

Індекс центрифугування U , $\text{см}^3/\text{г}$, що характеризує вологовіддачу осаду, визначали за рівнянням:

$$U = V_k / C_o \cdot V_o , \quad (1)$$

де: C_o – концентрація твердої фази осаду, $\text{г}/\text{см}^3$;

$V_k = V_o - V_\phi$ – об'єм кека, см^3 ;

V_ϕ – об'єм фугата, см^3 ;

V_o – об'єм осаду, см^3 .

C_o розраховували за формулою

$$C_o = \frac{(100 - W_o)}{100} \cdot \rho_o , \quad (2)$$

де: W_o – вологість вихідного осаду, %;

ρ – густина вихідного осаду, $\text{г}/\text{см}^3$.

Структурний аналіз отриманих осадів проводили методом порошкової рентгенівської дифракції в покроковому режимі з $\text{Cu} - \text{K}\alpha$ випромінюванням на дифрактометрі Ultima IV (Rigaku, Японія). Зйомка виконувалась в інтервалі кутів 2θ 6 – 70° з кроком сканування 0,05°.

Для вивчення мікроструктури зразків осадів використовували скануючий електронний мікроскоп-аналізатор РЕММА-101А (SELMІ, Україна).

Результати дослідження

Результати досліджень впливу швидкості аерації реакційної суміші киснем повітря на фізико-хімічні показники феритизації при різних способах активації процесу – термічному та електромагнітному імпульсному (ЕМІ) наведено на рис. 2. Отримані дані свідчать про те, що з підвищенням швидкості аерації незалежно від способу активації реакційної суміші збільшуються залишкові концентрації іонів важких металів в розчині. На нашу думку, це пов'язано з тим, що при різних швидкостях аерації в розчині можуть протікати проміжні твердофазні реакції, що в лужному середовищі призводить до збільшення концентрації іонів важких металів. Слід зазначити, що в дослідженому діапазоні швидкостей аерації значення залишкових концентрацій важких металів змінюються несуттєво і знаходяться в межах від 0,1 до 0,34 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Таким чином, в усіх проведених експериментах концентрації іонів важких металів не перевищують або відповідають нормам стандарту щодо 1-ї категорії води для гальванічних виробництв України. Використання електромагнітної імпульсної активації процесу феритизації при мінімальній дослідженій швидкості аерації 0,225 $\text{м}^3/\text{год}$ дозволяє додатково підвищити ефективність вилучення іонів важких металів з досягненням вимог стандарту 2-ї категорії води, яка використовується на гальванічному виробництві. При цьому також підвищується енергоефективність та екологічність феритизаційної технології переробки гальванічних відходів.

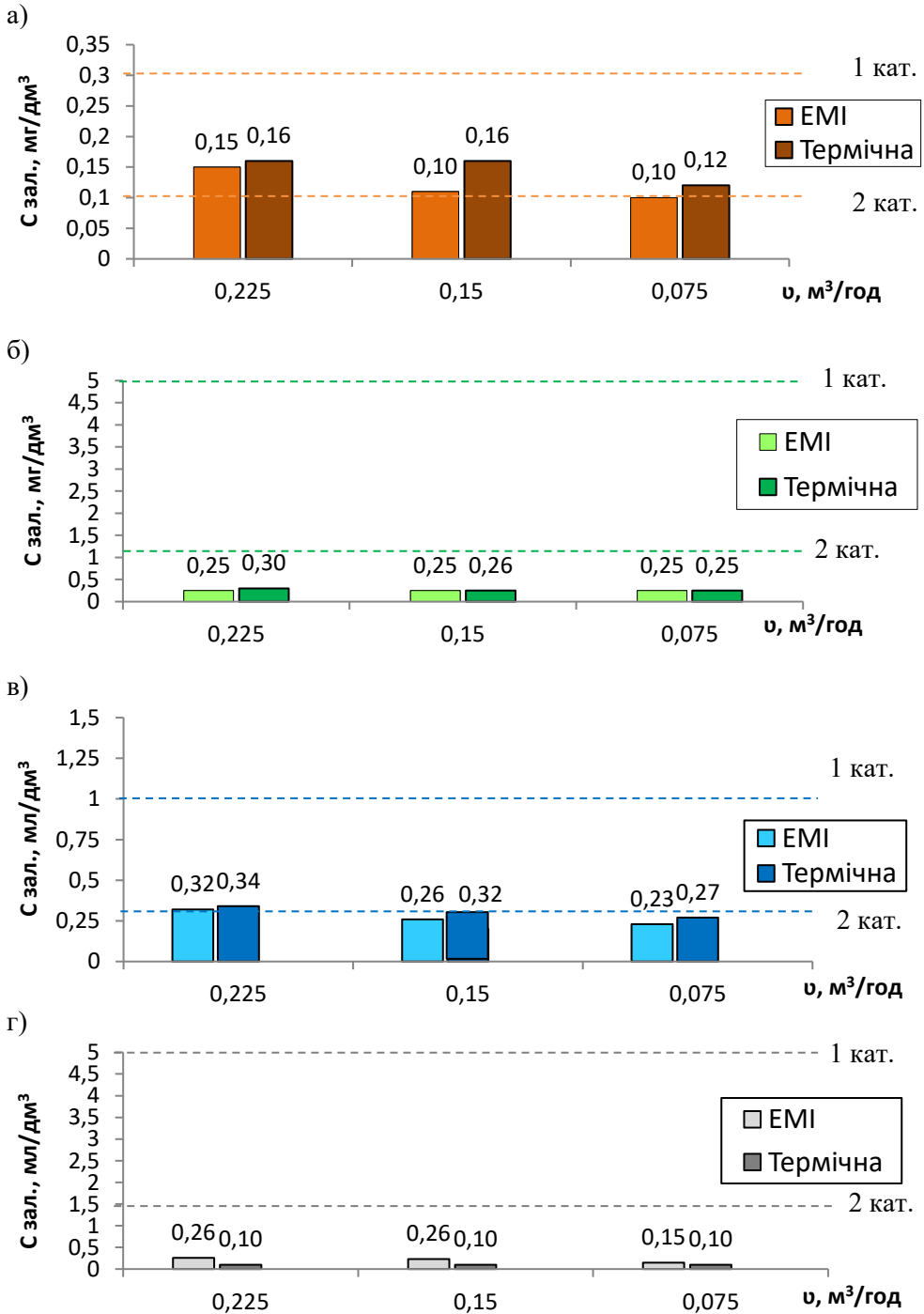


Рис. 2 – Вплив швидкості аерації (v) реакційної суміші на залишкові концентрації іонів важких металів (С_{зал}): а – феруму; б – нікелю; в – міді; г – цинку

Як свідчать дані, наведені в табл. 3, при низькій швидкості аерації $v = 0,075 \text{ м}^3/\text{год}$ при використанні як термічного, так і електротермічного імпульсного способу активації процесу феритизації отриманий осад мас

високу ефективність ущільнення в процесі центрифугування. При цьому об'єм, вологість та індекс центрифугування зменшується, а саме : V_k – з 10,0 до 1,0 см^3 ; W_k – з 89,85 до 84,33%; U – з 13,70 до 7,61 г/см^3 . Слід зауважити, що активація водних розчинів електромагнітними імпульсними розрядами при високих швидкостях аерації менш ефективна, ніж високотемпературна. Отримані дані можна пояснити зміною фазового складу осаду феритизації при різних умовах проведення дослідів.

Таблиця 3 – Властивості осадів при різних швидкостях аерації реакційної суміші та способах активації процесу феритизації

№ серії дослідів	Спосіб активації процесу феритизації	Швидкість аерації (v), $\text{м}^3/\text{год}$	Об'єм осаду (V_k), см^3	Вологість осаду (W_k), %	Густина осаду (ρ_k), г/см^3	Індекс центрифугування (U), г/см^3
F1	Термічний	0,225	1,4	86,54	1,197	10,66
F2		0,15	1,0	84,06	1,281	7,61
F3		0,075	1,0	83,73	1,290	7,61
F4	Електромагнітний імпульсний	0,225	1,8	89,85	1,169	13,70
F5		0,15	1,2	85,67	1,244	9,13
F6		0,075	1,0	84,33	1,279	7,61

На основі даних рентгенографічного аналізу (рис. 3 і табл. 4) встановлено фазовий склад зразків осадів при різних швидкісних режимах аерації реакційної суміші киснем повітря.

Процес окислення Fe^{2+} в Fe^{3+} киснем повітря в присутності катіонів нікелю, міді і цинку проходить через стадію утворення проміжних сполук, які в кінцевому результаті перетворюються в стабільні оксидні фази, такі як магнетит та ферити нікелю, міді та цинку. Зміна фізико-хімічних умов процесу фазоутворення, зокрема режиму окиснення, може зміщувати перебіг зазначеного процесу в бік деструкції фаз оксидів з формуванням оксигідроксидів важких металів.

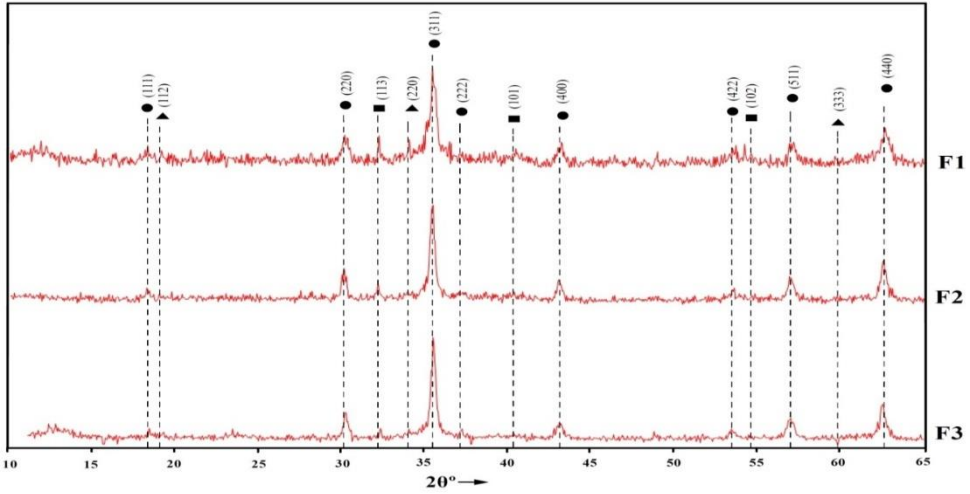
Результати експериментальних досліджень ущільнення осадів центрифугуванням та аналіз літературних джерел [13, 14] добре корелюють з даними структурних досліджень зразків осадів, які наведені на рис. 3 та в табл. 4.

Результати структурних досліджень осадів свідчать про високу їх кристалічність, за виключенням зразка F4. Інтенсивність піків цього зразка незначна, а рефлекси (311, 400, 511) – уширені. Рентгенограми інших досліджуваних зразків осадів майже ідентичні – вони мають високий ступінь кристалічності структури і різниця в інтенсивності рефлексів несуттєва.

З проведеного аналізу структуроутворення фаз можна припустити, що при швидкості аерації $v = 0,075 \text{ м}^3/\text{год}$ в системі відбувається цілеспрямоване формування феритних фаз з високим ступенем кристалічної структури, про що свідчить висока інтенсивність піку (311). При підвищенні швидкості аерації від 0,15 до 0,225 $\text{м}^3/\text{год}$ відбувається часткове руйнування вже сформованих структурних фаз феритів $\text{Fe}_2(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Zn})\text{O}_4$. На наш погляд, швидке

постачання у систему кисню спричиняє окиснення, зокрема, фериту нікелю Fe_2NiO_4 з утворенням фази нікелевого лимоніту $(\text{FeNi})\text{O}(\text{OH})$. Крім зазначених фаз, в структурі осаду також ідентифіковані піки сульфату натрію Na_2SO_4 .

а)



б)

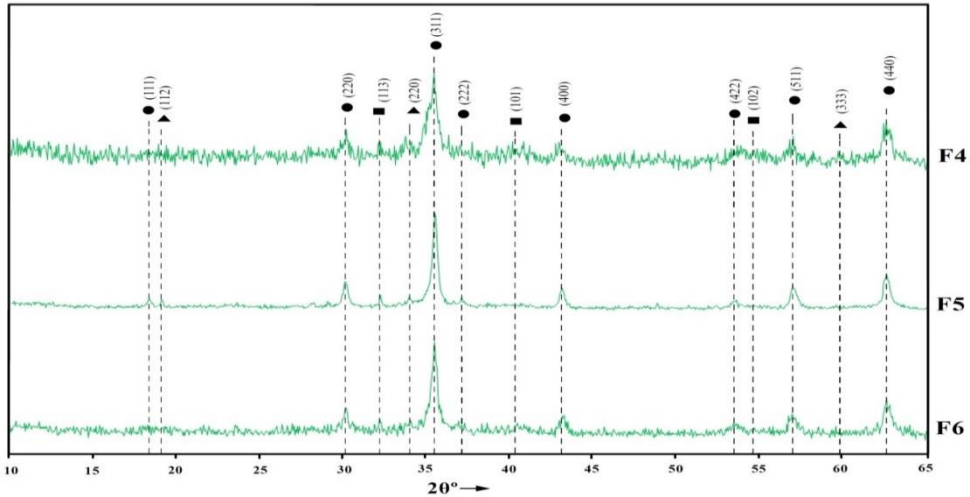


Рис. 3 – Дифрактограми зразків осадів: а) термічний спосіб активації (F1 ÷ F3); б) електромагнітний імпульсний спосіб активації (F4 ÷ F6)

● – $(\text{Fe,Ni,Cu,Zn})\text{Fe}_2\text{O}_4$; ▲ – $(\text{FeNi})\text{O}(\text{OH})$; ■ – Na_2SO_4

Результати кількісного фазового аналізу зразків (табл. 4) свідчать про те, що підвищення швидкості аерації реакційної суміші від 0,150 до 0,225 $\text{m}^3/\text{год}$ призводить до зменшення фази фериту металів $\text{Fe}_2(\text{Fe, Ni, Cu, Zn})\text{O}_4$ в осадах: при термічному способі активації – на 6,2%, електромагнітному імпульсному – на 12,3%. Це, в свою чергу, сприяє збільшенню фаз нікелевого лимоніту $(\text{FeNi})\text{O}(\text{OH})$ на 3,4% (термічна) і 5,4% (електромагнітна імпульсна активація) та сульфату натрію (Na_2SO_4) на 2,7% і 6,9%, відповідно.

Таблиця 4 – Кількісний фазовий склад осадів

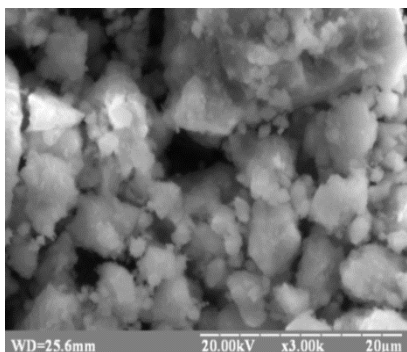
№ серії дослідів	Масова частка фази, %		
	(Fe,Ni,Cu,Zn)Fe ₂ O ₄	(FeNi)O(OH)	Na ₂ SO ₄
F1	73,12	14,19	12,69
F2	77,19	11,24	11,57
F3	79,32	10,72	9,96
F4	65,73	17,39	16,88
F5	76,36	12,93	10,71
F6	78,11	11,98	9,91

Аналіз структурних досліджень (табл. 4) засвідчив, що зразки, які отримані при термічному (F3) та електромагнітному імпульсному (F6) способах активації, характеризуються максимальним вмістом фази феритів важких металів, який перевищує 78%. Ці зразки мають магнітні властивості.

Дані рентгенофазового аналізу зразків добре корелюють з результатами електронної мікроскопії осадів (рис. 5), які проводились для зразків серій F3 та F6.

Як видно з рис. 5, в процесі переробки рідких гальванічних відходів феритизацією при різних способах її активації формуються осадки з дисперсною структурою, які містять кристали неправильної форми в поровому просторі. Такі структури мають хорошу сорбційну здатність як до іонів важких металів, так і до органічних речовин, а отже, можуть успішно використовуватись для очищення промивних стічних вод промислових виробництв [15].

а)



б)

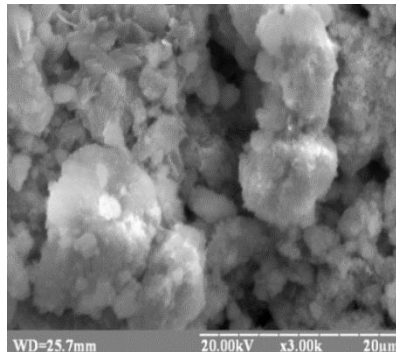


Рис. 5 – Мікрофотографії зразків осадів з термічною (а) та електромагнітною імпульсною (б) активацією; збільшення в $\times 3000$ разів

Важлива перевага електромагнітного імпульсного способу активації – його енергоефективність в порівнянні з традиційною термічною. Нами виконано оцінку енергоємності процесу переробки гальваношламів при різних способах активації і швидкостей аерації процесу феритизації. Кількість споживаної електроенергії при переробці шламів залежить від технологічних стадій процесу: дозування, змішування, аерація, нагрів та центрифугування. В результаті проведених розрахунків встановлено, що електромагнітний

імпульсний спосіб активації процесу феритизації дає можливість на 60% зменшити витрати електроенергії в порівнянні з термічною активацією. Крім того, зниження швидкості аерації реакційної суміші в процесі феритизації з 0,225 до 0,075 м³/год дозволяє додатково заощадити до 10% електроенергії.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, результати аналізу стану новітніх технологій переробки гальванічних шламів, а також проведені нами дослідження безумовно свідчать про перспективність застосування феритизаційного методу, завдяки його техніко-економічним та екологічним перевагам, в першу чергу у порівнянні з традиційним реагентним методом.

В результаті проведених досліджень встановлено ефективність застосування електромагнітних імпульсних розрядів для активації процесу феритизації з амплітудою магнітної індукції 0,298 Тл; частотою імпульсів від 0,5 до 10 Гц; кількістю пакетів імпульсів та імпульсів в пакеті 4 і 10, відповідно; тривалість імпульсу від 50 до 1000 мс, інтервали між імпульсами від 50 до 1000 мс, між пакетами 10 с. Експериментально вивчено вплив зміни швидкості аерації реакційної суміші на фізико-хімічні показники процесу феритизації при різних способах активації. Встановлено, що найкращі результати були досягнені із застосуванням електромагнітного імпульсного (Т = 20°C) та термічного (Т = 75°C) способів активації процесу феритизації при швидкості аерації – 0,075 м³/год. При цих умовах: ступінь вилучення іонів важких металів сягає 99,96%, а ущільнені осади мають максимальний вміст (більше ніж 91%) стійких феритних фаз з магнітними властивостями.

Встановлено, що витрата електроенергії на електромагнітну імпульсну активацію в порівнянні з традиційною високотемпературною процесу феритизації значно зменшується – на 60%. Крім того, зниження швидкості аерації до 0,075 м³/год дає можливість здешевити цю технологію на 10%, а отже, зробити її інвестиційно привабливою.

В подальшому вважаємо за доцільне дослідити іммобілізаційні властивості отриманих продуктів переробки шламів щодо сполук важких металів та можливість використання цих відходів як компонент для виробництва будівельних матеріалів спеціального призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tokach Y. E. Galvanic Sludge Recycling with the Extraction of Valuable Components / Y. E. Tokach, Y. K. Rubanov, N. A. Pivovarova, L. N. Balyatinskaya // Middle-East Journal of Scientific Research, 2013. Vol. 18, Issue. 11. – P. 1646–1655. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.18.11.70119.
2. Kurama H. Treatment and recovery of nickel rich precipitate from plating plant waste // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 2009. Vol. 17, Issue. 4. – P. 212–218. doi: 10.3846/1648-6897.2009.17.212-218.
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грін Д.С, 2017. – 308 с.
4. Tua Yao-Jen Treatment of complex heavy metal wastewater using a multi-staged ferrite process / Yao-Jen Tua, Chien-Kuei Chang, Chen-Feng Youa, Shan-Li Wangc // Journal of Hazardous Materials, 2012. Vol. 209 – 210. – P. 379–384.

5. Teremova M.I. Ferritization of industrial waste water and microbial synthesis of iron-based magnetic nanomaterials from sediments / M.I. Teremova, E.A. Petrakovskaya, A.S. Romanchenko, F.V. Tuzikov, Y.L. Gurevich, O.V. Tsbina, E.K. Yakubailik // *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 2016. Vol. 35, Issue. 5.– P. 1407–1414. doi: 0.1002/ep.12368.
6. Prietoa F. Characterisation of zinc bearing-ferrites obtained as byproducts of hydrochemical waste-water purification processes / F. Prietoa, E. Barrado, J. Medinac // In: *Journal of Alloys and Compounds*, 2001. – vol. 325, is. 1-2, – P. 269–275.
7. Barrado E. Characterization of nickel-bearing ferrites obtained as byproducts of hydrochemical wastewater purification processes / E. Barrado, F. Rieto, F.J. Garay // In: *Electrochimica Acta*. 2002. – vol. 47, is. 22-23, – P. 1959–1965.
8. Barrado E. Characterization and electrochemical behavior of a copper ferrite obtained by in situ precipitation from aqueous solutions / E. Barrado, F. Prieto, M. Vega // In: *Electroanalysis*. 2000. – vol. 12, is. 5, – P. 383–389.
9. Heuss-Aßbichler S. Recovery of copper as zero-valent phase and or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization / S. Heuss-Aßbichler, M. John, D. Klapper, U. W. Bläß, G. Kochetov // *Journal of Environmental Management*, 2016. – P. 33–41.
10. Kochetov G. Improvement of the ferritisation method for removal of nickel compounds from wastewater / G. Kochetov, D. Samchenko, I. Naumenko // *Givil and Environmental Engineering*, 2014. Vol. 5. – P. 143–148.
11. Kochetov G.M. Development of ferritization processing of galvanic waste with energy saving electromagnetic pulse activation of the process / G.M. Kochetov, T.O. Prikhna, D.M. Samchenko, O.Yu. Kovalchuk // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. – 6/10 (102). – P. 6–14.
12. Kochetov G. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method / G. Kochetov, T. Prikhna, O. Kovalchuk, D. Samchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. – 3/6 (93). – P. 52–60. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133797.
13. Frolova L.A. Structure and properties of nickel ferrites produced by glow discharge in the Fe^{2+} – Ni^{2+} – SO_4^{2-} – OH^- system / L. A. Frolova, A. A. Pivovarov, A. S. Baskevich // *Russ J Appl Chem*, 2014. – 87(8). – P. 1054–1059.
14. Srinivasan R. Srinivasan R. Structural features in the formation of the green rust intermediate and γ -FeOOH / R. Srinivasan, R. Lin, R.L. Spicer, B.H. Davis // *Col. and Surf. A: Physicochem. and Engin.As*, 1996. – 113, N 1. – P. 97–105.
15. Gunjakar J. L. Chemical synthesis of spinel nickel ferrite (NiFe_2O_4) nano-sheets / J. L. Gunjakar, A. M. More, K. V. Gurav, C. D. Lokhande // *App Surf Sci*, 2008. (254). – P. 5844–5848.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2020 і прийнята до друку після рецензування 05.05.2020

REFERENCES

1. Tokach, Y.E., Rubanov, Y.K., Pivovarova, N.A., & Balyatinskaya, L.N. (2013). Galvanic Sludge Recycling with the Extraction of Valuable Components. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 18(11), 1646-1655. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2013.18.11.70119.
2. Kurama, H. (2009). Treatment and recovery of nickel rich precipitate from plating plant waste. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(4), 212-218. doi: 10.3846/1648-6897.2009.17.212-218.
3. National report on the state of the environment in Ukraine in 2015. (2017). *Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine*. Kyiv: FOP Grin DS. (in Ukrainian)

4. Tua, Yao-Jen, Chang, Chien-Kuei, Youa, Chen-Feng, & Wangc, Shan-Li. (2012). Treatment of complex heavy metal wastewater using a multi-staged ferrite process. *Journal of Hazardous Materials*, 209-210, 379-384.
5. Teremova, M.I., Petrakovskaya, E.A., Romanchenko, A.S., Tuzikov, F.V., Gurevich, Y.L. Tsibina, O.V., & Yakubailik, E.K. (2016). Ferritization of industrial waste water and microbial synthesis of iron-based magnetic nanomaterials from sediments. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 35(5), 1407-1414. doi: 0.1002/ep.12368.
6. Prietoa, F., Barrado, E., & Medinac, J. (2001). Characterisation of zinc bearing-ferrites obtained as byproducts of hydrochemical waste-water purification processes. *Journal of Alloys and Compounds*, 325(1-2), 269-275.
7. Barrado, E., Rieto, F., & Garay, F.J. (2002). Characterization of nickel-bearing ferrites obtained as byproducts of hydrochemical wastewater purification processes. *Electrochimica Acta*, 47(22-23), 1959-1965.
8. Barrado, E., Prieto, F., & Vega, M. (2000). Characterization and electrochemical behavior of a copper ferrite obtained by in situ precipitation from aqueous solutions. *Electroanalysis*, 12(5), 383-389.
9. Heuss-Aßbichler, S., John, M., Klapper, D., Bläß, U. W., & Kochetov, G. (2016). Recovery of copper as zero-valent phase and or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization. *Journal of Environmental Management*, 33-41.
10. Kochetov, G., Samchenko, D., & Naumenko, I. (2014). Improvement of the ferritisation method for removal of nickel compounds from wastewater. *Givil and Environmental Engineering*, 5, 143-148.
11. Kochetov, G.M., Prikhna, T.O., Samchenko, D.M., & Kovalchuk, O.Yu. (2019). Development of ferritization processing of galvanic waste with energy saving electromagnetic pulse activation of the process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10(102), 6-14.
12. Kochetov, G., Prikhna, T., Kovalchuk, O., & Samchenko, D. (2018). Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/6(93), 52-60. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133797.
13. Frolova, L.A., Pivovarov, A.A., & Baskevich, A.S. (2014). Structure and properties of nickel ferrites produced by glow discharge in the Fe^{2+} - Ni^{2+} - SO_4^{2-} - OH^- system. *Russ J Appl Chem*, 87(8), 1054-1059.
14. Srinivasan, R., Lin, R., Spicer, R.L., & Davis, B.H. (1996). Structural features in the formation of the green rust intermediate and γ -FeOOH. *Col. and Surf. A: Physicochem. and Engin. As.*, 113(1), 97-105.
15. Gunjekar, J.L., More, A.M., Gurav, K.V., & Lokhande, C.D. (2008). Chemical synthesis of spinel nickel ferrite (NiFe_2O_4) nano-sheets. *App Surf Sci.*, (254), 5844-5848.

The article was received 05.02.2020 and was accepted after revision 05.05.2020

Ємчуря Богдан Миколайович

аспірант кафедри водопостачання та водовідведення Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

e-mail: yemchura.b.m@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-8079-3407

Кочетов Геннадій Михайлович

доктор технічних наук, професор кафедри хімії Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

e-mail: gkochetov@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-0041-7335

Васильєв Олексій

доктор, професор, Державний університет Східного Теннесі

Адреса робоча: PO Box 70695, Johnson City, TN 37614, USA

e-mail: vasiliev@etsu.edu

ORCID ID: 0000-0003-2687-0672

Самченко Дмитро Миколайович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідної частини
Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

e-mail: sama30071988@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-3305-8180

UDC 502.3/614.7

Svitlana Delehan-Kokaiko¹, PhD, Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection, Chemical Faculty
ORCID: 0000-0002-7904-2013 *e-mail*: svetlanadell@ukr.net

Gennadiy Slabkiy¹, Doctor of medical sciences, Professor, Manager of Department of Sciences Dealing with Health, Faculty of Health and P. E
ORCID: 0000-0003-2308-7869 *e-mail*: g.slabkiy@ukr.net

Vitalina Lukianova², PhD, Associate professor, Department of Ecology and Safety of Vital Functions
ORCID: 0000-0001-8964-3560 *e-mail*: vitalina_lk@i.ua

Yevheniia Anpilova³, PhD, Senior Research Scientist, Department of Natural Resources
ORCID: 0000-0002-4107-0617 *e-mail*: anpilova@ukr.net

¹ Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

² National Transport University, Kyiv, Ukraine

³ Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

EFFECT OF LANDFILL SITES ON DISEASE AND DISEASE DISTRIBUTION AMONG RURAL POPULATION

Abstract. *Among a large number of environmental challenges today there are problems with the environmental condition of soils, as their contamination with various anthropogenic pollutants leads not only to their loss, but also to the spreading of diseases among the population. In the work was studied the landfill in Tishna village of Mezhygorskiy district of Zakarpattia region. It was revealed that this landfill is operated with violations of requirements of environmental legislation, norms and standards of environmental safety. The chemical composition of soils at Tishna landfill was studied. In the soil samples taken in the territory of the landfill, found a large amount of nitrite and nitrate ions, which is much higher than a similar indicator of control soils. In order to determine the impact of landfills on the health of the population of the district using statistical data, a comparison of morbidity and disease prevalence among the population of Mezhygorskiy district and Zakarpattia region by major classes of diseases for the period 2015-2017. The authors have established that the presence of unauthorized dumps may contribute to an increase in the incidence of the diseases of the following classes: the nervous system, some infectious and parasitic diseases, endocrine system, eating disorders and metabolic disorders, injuries, poisoning and some other consequences of exposure to external factors, diseases of the blood and hematopoietic organs and certain disorders involving the immune mechanism.*

Keywords: *anthropogenic activity; landfills; population diseases; wastes; environmental hazard*

© С.В. Делеган-Кокайко, Г.О. Слабкий, В.В. Лук'янова, Є.С. Анпілова, 2020

С.В. Делеган-Кокайко¹, Г.О. Слабкий¹, В.В. Лук'янова², Є.С. Анпілова³

¹ Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

² Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

³ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

ВПЛИВ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ПОКАЗНИКИ ЗАХВОРЮВАНOSTІ СІЛЬСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ ТА ПОШИРЕНOSTІ СЕРЕД НЬОГО ХВОРОБ

***Анотація.** Серед великої кількості екологічних проблем на сьогодні своєю актуальністю відзначаються проблеми екологічного стану ґрунтів, оскільки їх забруднення різноманітними антропогенними забруднювачами призводить не тільки до їх втрати, але й до поширеності хвороб населення. В ході роботи було вивчено стан полігону с. Тишна Міжгірського району Закарпатської області та виявлено, що даний полігон експлуатується з порушеннями вимог природоохоронного законодавства, норм та стандартів екологічної безпеки. Проведено дослідження хімічного складу ґрунтів сміттєзвалища в с. Тишне. В пробах ґрунтів, відібраних на території сміттєзвалища, виявлено збільшену кількість нітрит-іонів та нітрат-іонів, що значно перевищує аналогічний показник контрольних ґрунтів. Встановлено, що наявність несанкціонованих сміттєзвалищ може сприяти підвищенню рівня показників захворюваності за наступними класами хвороб: нервової системи, деякі інфекційні та паразитарні хвороби, ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин, травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників, хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму.*

***Ключові слова:** антропогенна діяльність; сміттєзвалища; захворюваність населення; відходи; екологічна безпека*

Актуальність

Антропогенна діяльність створює небезпеку для існування людини на усіх рівнях – від локального до глобального. Серед великої кількості екологічних проблем на сьогодні своєю актуальністю відзначаються проблеми екологічного стану ґрунтів, оскільки їх забруднення різноманітними антропогенними забруднювачами призводить до їх втрати. Екологічна небезпека забруднення ґрунтів зумовлена ще й тим, що вони є основним джерелом одержання продуктів харчування. Накопичення екологічно небезпечних речовин в організмі людини здійснюється за рахунок споживання забруднених продуктів харчування та за рахунок води, повітря, що призводить до різних захворювань населення. Накопичення важких металів та інших антропогенних речовин у ланцюгах живлення екосистем є досить високим, і людина, яка знаходиться на вершині харчового ланцюга, може одержувати продукти з концентрацією екологічно небезпечних речовин у 10^2 – 10^4 разів вищою, ніж у ґрунті [1]. Тому, забруднення ґрунтів небезпечними речовинами може призводити до негативного впливу на здоров'я людини [2–7].

У 2015 році на саміті ООН було затверджено Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року [8]. Цей документ містить 17 Глобальних цілей, що стосуються глобальних викликів нашого часу, а саме: економічних,

соціальних, екологічних та управлінських. Проблеми захворюваності населення є наскрізними та стосуються багатьох Цілей сталого розвитку, а саме Цілі № 3 «Забезпечення здорового способу життя та добробуту людей будь-якого віку» та Цілі № 15 «Збереження екосистем суші».

В контексті викладеного вище актуальним є дослідження стану ґрунтів та їх впливу на здоров'я населення.

Мета роботи: дослідити вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб.

Матеріали та методи. Дослідження проводилося в сільському Міжгірському районі Закарпатської області, на території якого існують паспортизоване сміттєзвалище с. Тішна та 64 несанкціонованих сміттєзвалища. Було проведено візуальне обстеження паспортизованого сміттєзвалища с. Тішна та досліджено хімічний стан його ґрунтів. З метою визначення впливу сміттєзвалищ на стан здоров'я населення району з використанням статистичних даних було проведено порівняння показників захворюваності населення та поширеності хвороб серед населення Міжгірського району та Закарпатської області за основними класами хвороб за період 2015-2017 рр.

Результати та їх обговорення

В ході вивчення стану полігону с. Тішна Міжгірського району виявлено, що даний полігон експлуатується з порушеннями вимог природоохоронного законодавства, норм та стандартів екологічної безпеки. При огляді території виявлені наступні порушення:

1. По периметру всієї території смітника відсутня огорожа або траншеї глибиною 2 м чи обвалування висотою 2 м. З метою отримання ґрунту для проміжної та заключної ізоляції ущільнення твердих побутових відходів не проводиться влаштування траншей глибиною 3-6 м, шириною 6-12 м або котлованів. Тому відбувається пряме засмічення прилеглих територій.

2. Видалені відходи не пересипаються шаром ґрунту 0,2-0,5 м, з подальшим трамбуванням бульдозером або катком. Технологія захоронення відходів здійснюється з відхиленням від проектних рішень. Характерна низька щільність укладання відходів.

3. Недостатньо ведеться облік кількості доставлених твердих побутових відходів по об'єму, дані якого повинні заноситись в спеціальну книгу, що має зберігатися на полігоні. Порушуються вимоги Закону України «Про відходи». Сюди вивозяться автомобільні шини, ПЕТ-пляшки, що є прямим порушенням вимог екологічної безпеки.

4. Відсутній дренажний стік. Тому відбувається поступове, постійне забруднення ґрунтів та підземних водоносних горизонтів різноманітними забруднювальними речовинами, оскільки донні та бортові ізоляційні екрани полігону є лише глинистими. В зеленій зоні полігону відсутні контрольні свердловини для виявлення впливу складування відходів на підземні води. Відсутні газовідводи для видалення метану та інших газів, які є вибухонебезпечними чи легкозаймистими. Не проводиться штучне підлужнення (вапнування) ґрунтів, що призводить до закислення ґрунтів та пришвидшує процеси міграції важких металів.

5. В господарській зоні не обладнана площадка для миття контейнерів, мийні відділення для автотранспорту з підведенням холодної протічної води.

6. Для обслуговуючого персоналу в господарській зоні не обладнані необхідні санітарно-побутові приміщення.

7. Не організований технологічний контроль за експлуатацією полігонів по прийому на полігон окремих промислових відходів.

8. Відбувається забруднення атмосфери «парниковими газами» та деякими іншими. Не створена лабораторна служба, яка повинна контролювати стан забруднення атмосферного повітря, води відкритих водних об'єктів, забруднення підземних вод в робочій зоні полігону і на межі санітарно-захисної зони.

8. Полігон є осередком розмноження та існування комах, гризунів, збудників різноманітних інфекційних захворювань, спорових форм патогенних мікроорганізмів. Цей фактор є надзвичайно важливим, оскільки впливає безпосередньо на середовище існування людини.

9. Спостерігається виділення неприємного запаху внаслідок процесів розкладання органічних відходів (особливо в теплий період року).

Проведено дослідження хімічного складу ґрунтів сміттєзвалища в с. Тішне. Всього проведено 6 досліджень. Усереднені результати дослідження хімічного складу ґрунтів санкціонованого сміттєзвалища в с. Тішне Міжгірського району наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Усереднені результати дослідження хімічного складу ґрунтів сміттєзвалища с. Тішне (n = 6; P = 0,95)

Місце відбору проб	Визначувані параметри									
	Вміст ВМ (мг/кг)						NO ₂ ⁻ мг/кг	NO ₃ ⁻ мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	pH
	Cu (ГДК= 3 мг/кг)	Ni (ГДК= 4 мг/кг)	Cd (ГДК= 3 мг/кг)	Pb (ГДК= 20 мг/кг)	Zn (ГДК= 23 мг/кг)	Cr (ГДК= 100 мг/кг)				
Проба 1. Епіцентр сміттєзвалища	3,9±0,1	< 0,1	< 0,1	2,3±0,1	9,7± 0,2	< 0,5	2,4±0,1	4819± 256	304 ±16	5,1± 0,3
Проба 2. 100 м від сміттєзвалища	2,8±0,1	< 0,1	< 0,1	1,4±0,1	8,9± 0,2	< 0,5	1,8±0,1	654± 40	212±14	5,2± 0,4
Проба 3. 200 м від сміттєзвалища	2,5±0,1	< 0,1	< 0,1	1,2±0,1	5,8± 0,1	< 0,5	1,8±0,1	642± 42	203±14	5,9± 0,4
Проба 4. 500 м від сміттєзвалища	2,2±0,1	< 0,1	< 0,1	1,1±0,1	3,4± 0,1	< 0,5	1,1±0,1	441± 26	191±12	6,8± 0,4
Проба 5. Лісополоса	1,3±0,1	< 0,1	< 0,1	1,0±0,1	2,9± 0,1	< 0,5	1,5±0,1	514± 31	206±12	7,2± 0,2

В пробах ґрунтів, відібраних на території сміттєзвалища, виявлено збільшену кількість нітрит-іонів та нітрат-іонів, що значно перевищує аналогічний показник контрольних ґрунтів. Це свідчить про інтенсифікацію процесів нітрифікації в ґрунтах сміттєзвалищ, що становить небезпеку через високу здатність сполук нітратів до міграції, у тому числі у ґрунтові і поверхневі води. Вміст рухомих форм Фосфору в ґрунтах сміттєзвалища є високим, що свідчить про поступову деградацію цих ґрунтів. Порівнюючи дані значення актуальної кислотності для контрольних ділянок (проби № 2, 3, 4, 5) та території сміттєзвалища (проби № 1), видно, що ґрунти сміттєзвалища мають кислотний характер, що зумовлено відсутністю штучного підлуження. Вміст важких металів у ґрунтах сміттєзвалища та у ґрунтах нижче нього не перевищує гранично допустимі концентрації (для орних земель), окрім вмісту Міді.

Наступним кроком дослідження було вивчення та порівняння показників захворюваності населення Закарпатської області та Міжгірського району за основними класами хвороб в динаміці за 2015-2017 рр. Показники захворюваності проводилися з розрахунку на 100 тис. населення відповідної території. Отримані в ході дослідження результати наведені в табл. 2.

Аналіз наведених в табл. 2 даних вказує на те, що за період дослідження загальні показники захворюваності населення Закарпатської області є вищими, ніж загальні показники захворюваності населення Міжгірського району, але якщо показники захворюваності населення Закарпатської області мають тенденцію до зниження, то показники захворюваності населення Міжгірського району мають тенденцію до зростання.

За класами хвороб загальні показники захворюваності населення та її структури як Закарпатської області, так і Міжгірського району мають певні коливання, але вони є недостовірними.

Аналіз відмінностей в показниках захворюваності населення Закарпатської області та Міжгірського району вказує на наступне.

Достовірно нижчими є показники захворюваності населення Міжгірського району, ніж населення Закарпатської області в цілому за наступними класами хвороб: новоутворення (56,8%), хвороби ока та його додаткового апарату (30,8%), уроджені вади розвитку, деформації та хромосомні аномалії (30,1%), хвороби шкіри та підшкірної клітковини (24,9%).

Достовірно вищими є показники захворюваності населення Міжгірського району, ніж населення Закарпатської області за наступними класами хвороб: нервової системи (85,4%), деякі інфекційні та паразитарні хвороби (60,6%), ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин (51,8%), травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників (29,9%), хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму (14,7%).

Далі вивчалися та порівнювалися показники поширеності хвороб серед населення Закарпатської області та Міжгірського району за основними класами хвороб в динаміці 2015-2017 рр. Показники поширеності хвороб серед населення проводилися з розрахунку на 100 тис. населення відповідної території. Отримані в ході дослідження результати наведені в табл. 3.

Таблиця 2 – Показники захворюваності населення Закарпатської області та Міжгірського району за основними класами хвороб (на 100 тис. населення), 2014-2017 рр.

Клас хвороб	2015		2016		2017		Відношення показника Міжгірського району до Закарпатської області +,-	
	Міжгірський район	Закарпатська область	Міжгірський район	Закарпатська область	Міжгірський район	Закарпатська область	На 100 тис. населення	%
Усі хвороби, у т.ч.:	53051,5	60515,1	57665,1	61084,6	56420,7	58729,9	-2309,2	-4,0
деякі інфекційні та паразитарні хвороби	1564,9	1566,4	1643,9	1576,5	1723,3	1429,4	+ 293,9	+ 60,6
новоутворення	394,3	649,1	334,6	665,5	288,6	668,7	-380,1	-56,8
хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму	909,7	719,0	867,9	736,2	813,6	709,3	+104,3	+114,7
хвороби ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин	1815,3	1682,5	2444,9	1622,9	2323,6	1530,6	+793,0	+51,8
розлади психіки та поведінки	26,5	17,6	19,60	27,96	16,4	15,5	+0,9	+5,8
хвороби нервової системи	2330,6	1505,4	2666,6	1472,0	2850,6	1537,3	+1313,3	+85,4
хвороби ока та його придаткового апарату	2336,7	3458,9	2248,3	3520,0	2388,4	3449,0	-1060,6	-30,8
хвороби вуха та соскоподібного відростка	1258,2	1890,5	1462,3	1873,6	1401,3	1855,7	-454,4	24,5
хвороби системи кровообігу	4031,1	4782,9	4674,4	4855,3	5013,2	4859,5	+153,7	+3,2
хвороби органів дихання	24228,5	27167,0	27044,4	27592,3	22917,7	25938,3	-3020,6	-11,4
хвороби органів травлення	3728,6	4229,4	3570,1	4202,7	4147,3	4140,5	+6,8	+0,2
хвороби шкіри та підшкірної клітковини	2557,6	2878,9	2097,7	2938,8	2116,5	2817,4	-700,9	-24,9
хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини	1120,5	2270,9	1177,5	2346,6	1880,2	2328,0	-447,8	-19,2
хвороби сечостатевої системи	1519,0	2435,1	1556,0	2380,0	2405,2	2577,4	-172,2	-6,7
уроджені вади розвитку, деформації та хромосомні аномалії	75,1	136,4	100,4	113,3	77,4	110,8	-33,4	-30,1
травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників	4085,4	3770,8	4300,0	3881,4	4666,0	3591,3	+1074,7	+29,9

Таблиця 3 – Показники поширеності хвороб серед населення України та Закарпатської області за основними класами хвороб (на 100 тис. населення), 2015-2017 рр.

Клас хвороб	2015		2016		2017		Відношення показника Міжгірського району до Закарпатської області +,-	
	Міжгірський район	Закарпатська область	Міжгірський район	Закарпатська область	Міжгірський район	Закарпатська область	На 100 тис. населення	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Усі хвороби, у т.ч.:	131335,2	158506,1	134772,2	157577,1	137380,3	154351,6	-16971,3	-11,0
деякі інфекційні та паразитарні хвороби	2572,1	2530,0	2595,6	2435,6	2614,3	2321,2	+293,1	+12,6
новоутворення	2186,7	2937,0	1934,6	3027,7	1825,8	2971,0	-1145,2	-38,5
хвороби крові та кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму	2391,1	2054,0	2683,3	2057,6	2618,5	2025,0	+593,5	+29,3
хвороби ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин	7359,1	11736,7	7968,4	11864,8	8792,4	11859,1	-3066,7	-25,9
розлади психіки та поведінки	260,5	250,5	247,9	238,9	234,2	236,0	-1,8	-0,8
хвороби нервової системи	5823,4	3789,8	5519,3	3762,3	6424,9	3810,7	+2614,2	+68,2
хвороби ока та його придаткового апарату	4575,7	6508,3	4676,5	6561,5	5082,2	6485,2	-1403	-21,6
хвороби вуха та соскоподібного відростка	2003,3	2476,5	2106,1	2418,8	2139,5	2423,0	-283,5	-11,7
хвороби системи кровообігу	40837,1	51381,9	41454,4	51013,2	42738,5	50714,3	-7975,8	-15,7
хвороби органів дихання	29158,9	32496,0	31727,8	32853,8	27653,0	31158,2	-3505,2	-11,3
хвороби органів травлення	10838,4	16714,5	10570,1	16002,6	11513,4	15557,7	-4044,3	-26,0
хвороби шкіри та підшкірної клітковини	2610,2	3700,3	2357,1	3712,8	2601,7	3630,5	-1028,8	-28,3
хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини	4321,2	5981,4	4519,6	5848,5	5398,0	5815,6	-417,6	-7,2

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
хвороби сечостатевої системи	5589,8	5768,5	5759,8	5617,6	6715,6	5745,6	+970	+16,9
уроджені вади розвитку, деформації та хромосомні аномалії	358,9	872,3	391,1	873,3	353,5	841,5	-488,0	-58,0
травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників	4085,4	4006,3	4300,0	4149,8	4666,0	3855,2	+810,8	+21,0

Аналіз наведених в табл. 3 даних вказує на те, що за період дослідження загальні показники поширеності хвороб серед населення Закарпатської області є вищими, ніж загальні показники поширеності хвороб серед населення Міжгірського району, але якщо показники поширеності хвороб серед населення Закарпатської області мають тенденцію до зниження, то показники поширеності хвороб серед населення Міжгірського району мають тенденцію до зростання.

За класами хвороб загальні показники поширеності хвороб серед населення та її структури як в Закарпатській області, так і в Міжгірському районі, як і показники захворюваності населення, мають певні коливання, але вони є недостовірними.

Аналіз відмінностей в показниках поширеності хвороб серед населення Закарпатської області та Міжгірського району вказує на наступне. Достовірно нижчими є показники поширеності хвороб серед населення Міжгірського району, ніж населення Закарпатської області за наступними класами хвороб: уроджені вади розвитку, деформації та хромосомні аномалії (58,0%), новоутворення (38,5%), хвороби шкіри та підшкірної клітковини (28,3%), хвороби органів травлення (26,0%), ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин (25,9%), хвороби ока та його придаткового апарату (21,6%), хвороби системи кровообігу (15,7%). Достовірно вищими є показники поширеності хвороб серед населення Міжгірського району, ніж серед населення Закарпатської області за наступними класами хвороб: нервової системи (68,2%), хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму (29,3%), травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників (21,0%), хвороби сечостатевої системи (16,9%), деякі інфекційні та паразитарні хвороби (12,6%).

Висновки

В ході проведеного дослідження встановлено, що наявність сміттєзвалищ не завжди має негативний вплив на рівень захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб в цілому. Але наявність сміттєзвалищ негативно впливає на рівень захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб за окремими класами хвороб. Так, наявність сміттєзвалищ може сприяти підвищенню рівня показників захворюваності за

наступними класами хвороб: нервової системи, деякі інфекційні та паразитарні хвороби, ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин, травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників, хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму. Також негативно впливає наявність сміттєзвалищ на поширеність хвороб за наступними класами: нервової системи, хвороби крові й кровотворних органів та окремі порушення із залученням імунного механізму, травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників, хвороби сечостатевої системи, деякі інфекційні та паразитарні хвороби.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. GTAE, 2018. Agroecology: evaluation methods for its effects and conditions for development. Proceedings of the exchange and methodological construction workshop. 14th and 15th of December 2017. AFD/FFEM. 52 p.
2. Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol (2013). Science for Environment Policy In-depth Report: Soil Contamination: Impacts on Human Health. Report produced for the European Commission DG Environment, September 2013. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/index_en.htm
3. Prüss-Ustün A, Wolf J, Corvalán C, Boss R, Neira M. (2016) Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva: World Health Organization. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585/1/9789241565196_eng.pdf
4. Trasande L, Zoeller RT, Hass U, Kortenkamp A, Grandjean P, Myers JP et al. (2015) Estimating burden and disease costs of exposure to endocrine-disrupting chemicals in the European Union. *J Clin Endocrinol Metab.* 100(4), 1245–55.
5. Геомоделі в завданнях еколого-економічних оцінок земель: Монографія (2018) С.О. Довгий, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук, О.М. Трофимчук та ін., за ред. С.О. Довгого. К. ТОВ «Видавництво «Юстон». 256 с.
6. Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., Anpilova, Y. (2019) GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*, Extended Abstracts, 19, (2.1), 297-304.
7. Делеган-Кокайко С. В. (2018) Оцінка впливу сміттєзвалища села Дубрівка Іршавського району на екологічний стан ґрунтів прилеглих територій. С. В. Делеган-Кокайко, О. І. Симканич, С. М. Сухарев, О. С. Глух, К. Л. Крч. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія : Хімія, Вип. 2, С. 91-96.
8. The United Nations. Sustainable Development Goals. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Стаття надійшла до редакції 12.03.2020 і прийнята до друку після рецензування 28.05.2020

REFERENCES

1. GTAE, (2018). Agroecology: evaluation methods for its effects and conditions for development. Proceedings of the exchange and methodological construction workshop. 14th and 15th of December 2017. AFD/FFEM.
2. Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol (2013). Science for Environment Policy In-depth Report: Soil Contamination: Impacts on Human Health.

- Report produced for the European Commission DG Environment, September 2013. Retrieved from https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/index_en.htm
3. Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Boss, R., & Neira, M. (2016). Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva: World Health Organization, Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585/1/9789241565196_eng.pdf
 4. Trasande, L., Zoeller, R.T., Hass, U., Kortenkamp, A., Grandjean, P., Myers, J.P. et al. (2015). Estimating burden and disease costs of exposure to endocrine-disrupting chemicals in the European Union. *J Clin Endocrinol Metab.*, 100(4), 1245-55.
 5. Dovhyi, S.O., Krasovskiy, H.Ia., Radchuk, V.V., Trofymchuk, O.M. et al. (2018). *Heomodeli v zavdannakh ekoloho-ekonomichnykh otsinok zemel [Geomodels in the tasks of ecological and economic assessments of lands]*. S.O. Dovhyi (Ed.). K.: TOV «Vydavnytstvo «Iuston». (in Ukrainian)
 6. Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., & Anpilova, Y. (2019). GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*, Extended Abstracts, 19, (2.1), 297-304.
 7. Delehan-Kokaiko, S.V., Symkanych, O.I., Sukharev, S.M., Hlukh, O.S., & Krch, K.L. (2018). Otsinka vplyvu smittiezvalyshcha sela Dubrivka Irshavskoho raionu na ekolohichni stan gruntiv prylehlykh terytorii [Assessment of the impact of the landfill in Dubrivka village of Irshava district on the ecological condition of the soils of the adjacent territories]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Khimiia*, 2, 91-96. (in Ukrainian)
 8. The United Nations. *Sustainable Development Goals*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

The article was received 12.03.2020 and was accepted after revision 28.05.2020

Делеган-Кокайко Світлана Василівна

кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Державного вищого навчального закладу "Ужгородський національний університет"

Адреса робоча: 88000 Україна, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7904-2013> **e-mail:** svetlanadel1@ukr.net

Слабкий Геннадій Олексійович

доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри наук про здоров'я, факультет здоров'я та фізичного виховання Державного вищого навчального закладу "Ужгородський національний університет"

Адреса робоча: 88000 Україна, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2308-7869> **e-mail:** g.slabkiy@ukr.net

Лук'янова Віталіна Віталіївна

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

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8964-3560> **e-mail:** vitalina_lk@i.ua

Анпілова Євгенія Сергіївна

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

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4107-0617> **e-mail:** anpilova@ukr.net

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 502.4+004.9

Olga V. Alokhdina¹, PhD, Researcher
ORCID ID 0000-0002-5537-2720 *e-mail*: alokhina2011@gmail.com

Mykola M. Korus¹, Engineer
ORCID ID 0000-0002-8014-5378 *e-mail*: nikkor2005@gmail.com

Dariia V. Ivchenko¹, Associated Researcher
ORCID ID 0000-0002-6715-5782 *e-mail*: darusichka@gmail.com

Natalia A. Pits¹, Associated Researcher
ORCID ID 0000-0002-1346-7166 *e-mail*: nataliapits2011@gmail.com

Vitaliy V. Turych², Researcher
ORCID ID 0000-0003-0705-3079 *e-mail*: vitaliy_turych@ukr.net

¹ Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

² Shatsk National Natural Park of the SAFR of Ukraine

BATHYMETRY INVESTIGATIONS OF SVITIAZ LAKE IN THE AREA OF PROBABLE WATER SUPPLY UNDERGROUND SOURCES LOCATION

Abstract. *The question of ecological safety level decreasing within the West Polesie protected territories that concern changes in hydrological conditions driven by intensification of the influence of climate changes and anthropogenic loads, has been considered in the paper. Statistical analysis and field instrumental measurements were used for estimation the influence of regional climate on hydrological conditions within the territory. According to bathymetry surveys and geoinformation analysis results, the siltation degree of the deepest hollows of Svityaz Lake was estimated. Hypotheses concerning the ways of underground water supply as well as the reasons for water level decreasing in the Lake were formulated, taking into account climatic conditions within the West Polesie territory: the lake is filled by infiltration of water from aquifers through permeable rocks; water infiltration occurs not only within the fault of Lake Svityaz, but also in its flatter part; significant intensity of trajectories (water streams) within the fault allows us to conclude that the main filling of the lake occurs within this part due to the opening of permeable rocks, which contributes to a more intensive release of groundwater.*

Keywords: *West Polesie; Svityaz Lake; bathymetry surveys; karst hollow – “tonia”; sediments; “Shatskiy” Bioreserve*

О.В. Альохіна¹, М.М. Корусь¹, Д.В. Івченко¹, Н.А. Піць¹, В.В. Турич²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна

² Шацький національний природний парк ДАЛР України

БАТИМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗЕРА СВІТЯЗЬ В ОКОЛІ РОЗТАШУВАННЯ МОЖЛИВИХ ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ЙОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

***Анотація.** У статті розглянуто питання зниження рівня екологічної безпеки природоохоронних територій Західного Полісся в частині зміни гідрологічних умов, зумовлених інтенсифікацією впливу кліматичних змін та антропогенних чинників. Засоби статистичного аналізу і наземних інструментальних вимірювань використано для оцінки впливу регіонального клімату на стан обводнення досліджуваної території. За результатами батиметричних досліджень та геоінформаційного аналізу оцінено ступінь замулення найглибших западин озера Світязь та сформульовано гіпотези щодо шляхів підземного водопостачання водоїми та причин зниження рівня води, з врахуванням сучасних кліматичних умов в межах території Західного Полісся.*

***Ключові слова:** Західне Полісся; озеро Світязь; батиметричні дослідження; карстова лійка – «тоня»; донні відклади; біорезерват «Шацький»*

Вступ

Територія Західного Полісся України характеризується великою водонасиченістю, багатством ландшафтного та біологічного різноманіття і відіграє важливу роль у формуванні клімату значної частини Європейського континенту.

Озеро Світязь – найглибше й найбільше за об'ємом водного середовища прісноводне озеро України та Західного Полісся – належить до групи Шацьких озер. У сучасних умовах значного зниження рівня екологічної безпеки, зумовленого інтенсифікацією впливу кліматичних змін й антропогенних навантажень, озеро має велике значення як джерело прісної води, яке потрібно зберегти.

Проблема зниження рівня обводнення території Західного Полісся значно загострилася і набула значного суспільного резонансу впродовж 2019 року. Думки наукової спільноти щодо причин цього процесу досить різняться. Проте, основних чинників, вплив яких необхідно ґрунтовно дослідити, два: регіональні зміни клімату, зумовлені глобальним потеплінням, та антропогенні й, можливо, техногенні.

Стан досліджень

На сьогодні, переважна більшість науковців, які займаються проблемами змін клімату, вважають, що причиною глобального потепління є діяльність людини. Також, слід зауважити, що потепління – це загальна усереднена тенденція. Зміна температур відбувається нерівномірно і є географічно та сезонно мінливою.

Проведений аналіз даних середньорічних температур на регіональному рівні, зокрема в межах території Західного Полісся України, за різні періоди (1888–2018 рр. (130 років), 1918–2018 рр. (100 років), 1968–2018 рр. (50 років) та 1993–2018 рр. (25 років) (рис. 1), дозволяє зробити висновок, що за останні 100–130 років відбувалось підвищення середньорічної температури на 0,02°C на рік. За останні 25 років підвищення регіональної середньорічної температури становить 0,08°C [1, 2]. **Тобто, за останні роки середньорічна температура повітря на території Західного Полісся зростала у 4 рази швидше, ніж за останні 130 років.**

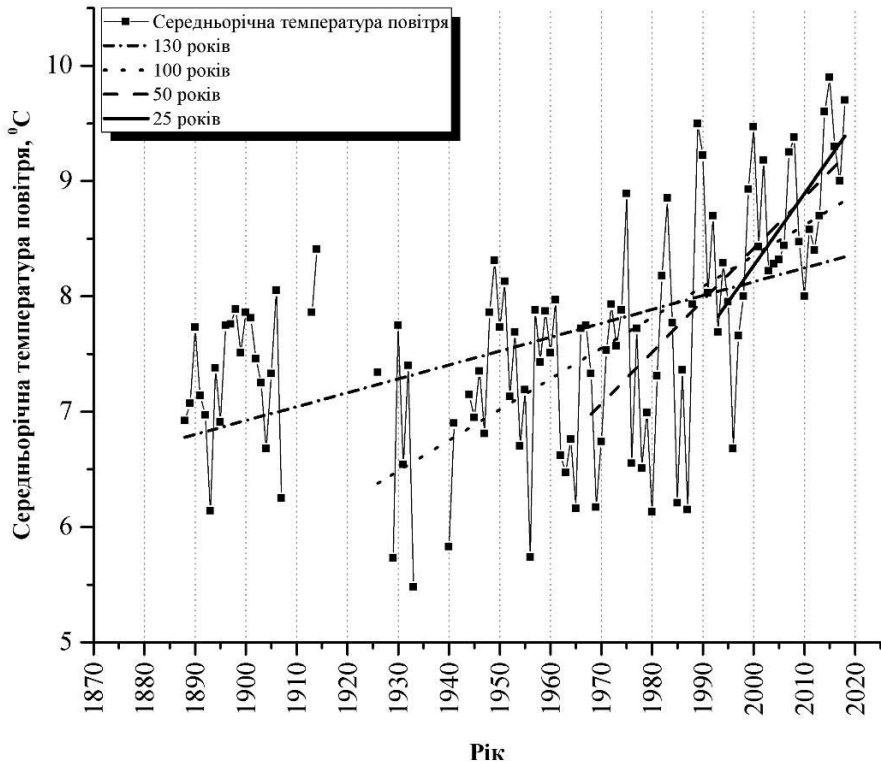


Рис. 1 – Тренди змін середньорічних температур на території Західного Полісся України за останні 25, 50, 100 та 130 років

Наслідки таких інтенсивних змін клімату можуть призвести до негативного екологічного стану компонентів навколишнього середовища, що зумовило створення у 2010 році системи комплексного екологічного моніторингу (КЕМ) території біорезервату «Шацький» співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України та Шацького національного природного парку, яка працює і донині [3].

В рамках наземної складової системи КЕМ закладено 34 тестові ділянки, які представлені різними типами екосистем – ліси, луки, водно-болотні угіддя (рис. 2) та охоплюють території з різними типами формування балансу ґрунтових вод (типи формування балансу ґрунтових вод оцифровано відповідно до даних Інституту водних проблем та меліорації НААН України). На тестових ділянках проводяться вимірювання рівнів ґрунтових та

поверхневих вод, моніторинг функціональних фізичних параметрів ґрунтів та спостереження за індикаторними видами флорами та фауни.

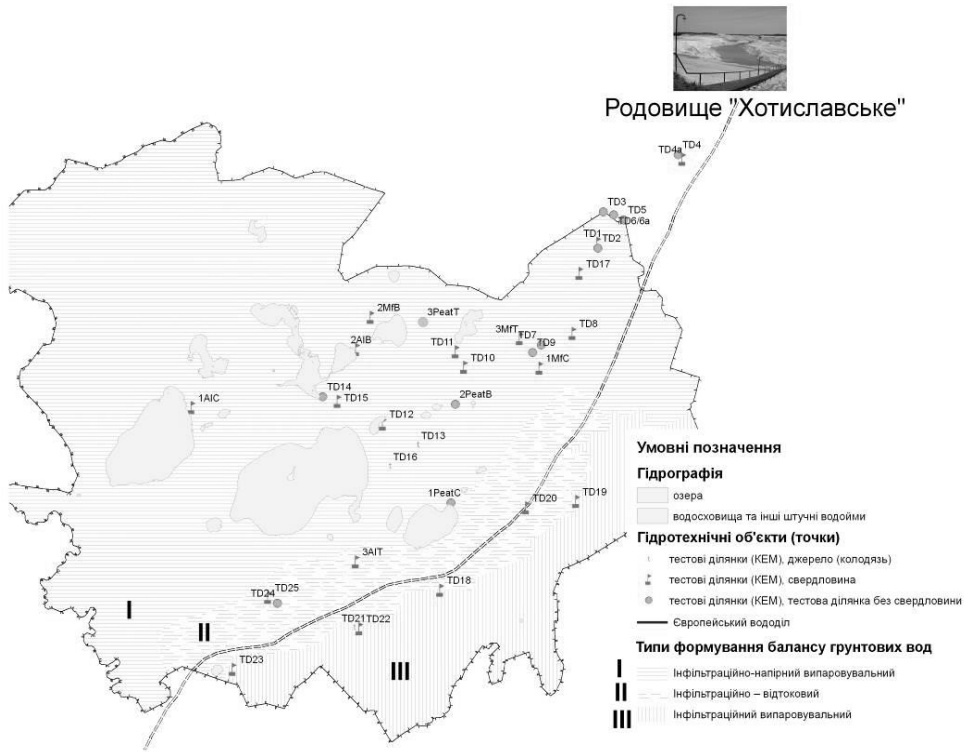


Рис. 2 – Наземна складова системи комплексного екологічного моніторингу території біорезервату «Шацький»

Аналіз динаміки змін основних метеорологічних показників (середньої температури повітря T_{avr} та сумарної кількості опадів V з травня по серпень за період 2009–2019 рр.) на території в межах тестових ділянок показав, що, за даними спостережень станом на 2019 рік, спостерігалось підвищення T_{avr} (рис. 1) та значне зменшення V на території Західного Полісся у 2019 р.: помітний стрибок T_{avr} у 2014 р. (підвищення на $0,5^{\circ}\text{C}$ за період 2014–2019 рр. порівняно з періодом 2009–2014 рр.) та синхронне значне зменшення V (на 2 мм/добу за період 2014–2019 рр.) порівняно з періодом 2009–2014 рр. При цьому, враховано, що 2015 рік був одним із найпосушливіших років за останнє десятиріччя.

Аналіз даних наземних вимірювань щодо сезонних змін глибини залягання ґрунтових вод показав, що глибина залягання ґрунтових вод в межах тестових ділянок, які представлені вільховими лісами (1AIC, 2AIB та 4a) (рис. 3), у 2019 році є навіть дещо вищою або на рівні 2015 року. Така сама ситуація спостерігається і на ділянках, розташованих в межах мішаного лісу (2MfB, 3MfT та 1MfC) (рис. 4).

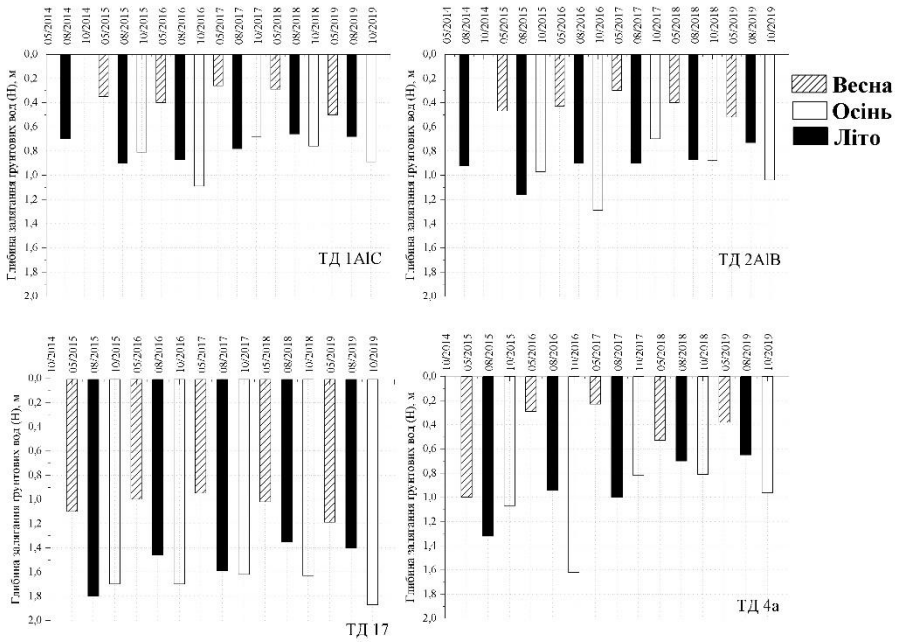


Рис. 3 – Сезонні зміни глибини залягання ґрунтових вод за 2010–2019 рр. на тестових ділянках, що відносяться до I-го типу формування балансу ґрунтових вод та представлені вільховими лісами (1A1C, 2A1B та 4a)

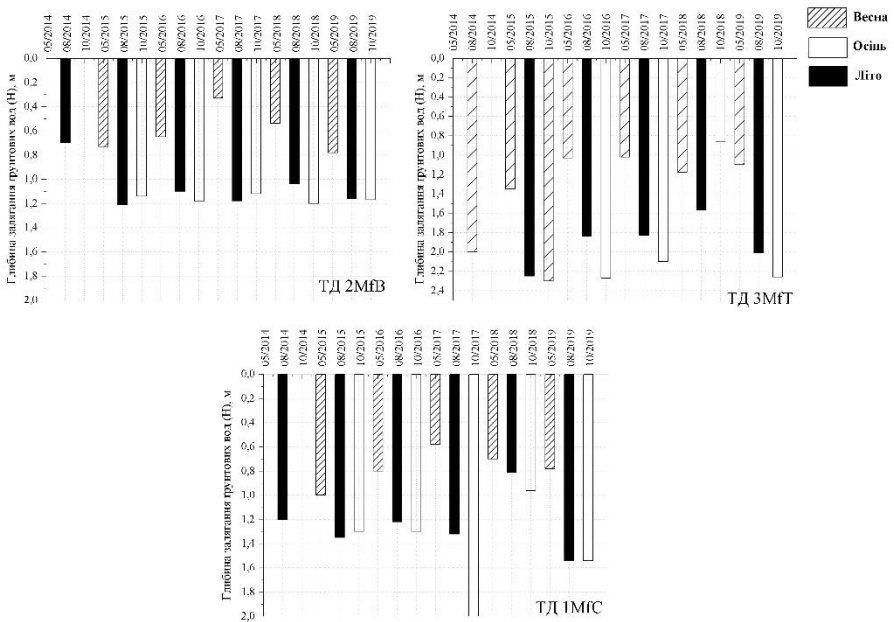


Рис. 4 – Сезонні зміни глибини залягання ґрунтових вод за 2010–2019 рр. на тестових ділянках, що відносяться до I-го типу формування балансу ґрунтових вод та представлені мішаними лісами (2MfB, 3MfT та 1MfC)

Тобто, на сьогодні, загальне зниження рівня обводнення (за даними про глибину залягання ґрунтових вод) території біорезервату «Шацький» є очевидним, проте воно не є аномальним або таким, що не відповідає змінам основних метеорологічних показників.

Попри зниження глибини залягання ґрунтових вод, впродовж 2019 року, відбулися зміни і у рівнях поверхневих вод в межах озерних комплексів біорезервату. Формування рівня поверхневих вод в межах озерних комплексів відбувається, головним чином, за рахунок атмосферних опадів, випаровування, підземних джерел живлення, впадання річок і каналів. З точки зору екологічної безпеки природоохоронної території біорезервату «Шацький» у 2019 році особливої актуальності набула ситуація, пов'язана із значним зниженням рівня води в озері Світязь.

Для дистанційного моніторингу рівня обводнення та зміни урізу води озера Світязь було використано 2 космічні знімки з супутника *Sentinel-2* з просторовою розрізненістю 10 м (канали *Red*, *Green*, *Blue*). Створені у комбінації «природні кольори» космічні знімки представлені на рис. 5.

Для виділення водного дзеркала озера було розраховано індекс *NDWI* (*Normalized Difference Water Index*) за формулою:

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{X_{green} + X_{nir}},$$

де X_{green} , X_{nir} – коефіцієнти поглинання 3-го і 8-го каналів супутника *Sentinel-2*.

Для водних об'єктів значення даного індексу приймають $NDWI \geq 0$.

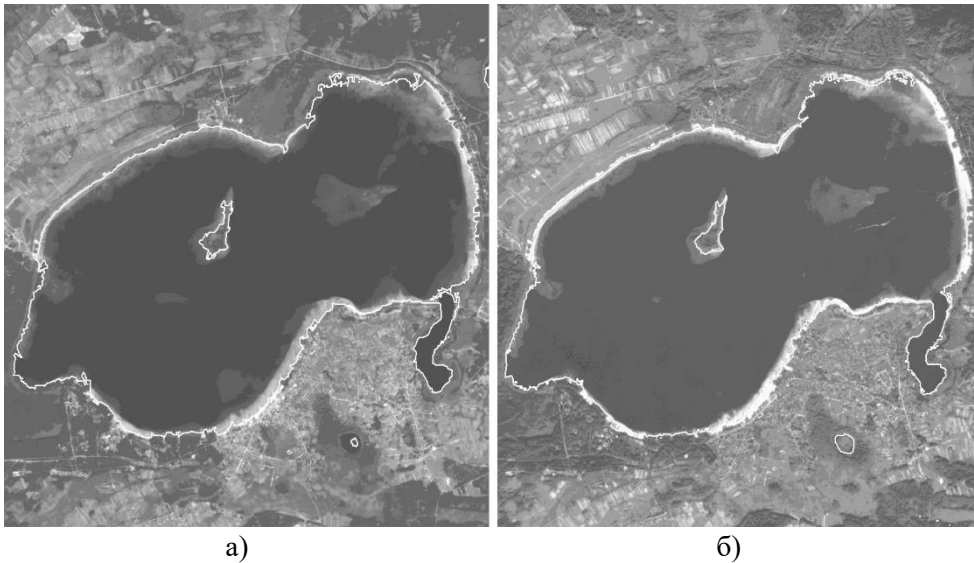


Рис. 5 – Межі водного дзеркала за даними *Sentinel-2* озера Світязь станом на:
а) 1 липня 2019 р., б) 1 листопада 2019 р.

В результаті розрахунку було виділено полігони водного дзеркала озера Світязь станом на 1 липня та 1 листопада 2019 р. (рис. 5). Обчислення площ цих полігонів показало, що впродовж 4 місяців вони зменшилися на 30,9 га з 2418,5 га у липні до 2387,6 га у листопаді.

Однією з основних особливостей озера є відсутність зовнішніх джерел водопостачання за рахунок поверхневих вод. Окрім атмосферних опадів, основне джерело водопостачання – напірні підземні води [4]. Автори цієї статті стверджують, що притік підземних вод щороку в озеро становить 3,5 млн м³. Проте, експериментально підтверджені кількісні оцінки цього твердження в науковій літературі поки що відсутні. У зв'язку із цим, пошук імовірних підземних джерел водопостачання оз. Світязь і кількісна оцінка їх продуктивності – актуальне наукове і прикладне завдання.

Перші морфометричні дослідження оз. Світязь 1899 р. провів київський учений П. Тутковський, за результатами яких він уперше опублікував його основні морфометричні параметри [5]. У 1910 р. польський учений Б. Дибовський, котрий працював у Львівському університеті, провів своє дослідження озера [6], яке підтвердило основні результати, отримані П. Тутковським. Першою батиметричною картою озера можна вважати карту С. Ленцевича [7], опубліковану у 1931 р. У 1996 р. науковці Львівського університету імені Івана Франка доповнили карту С. Ленцевича назвами окремих частин акваторії озера та навколишніх населених пунктів. Наступний етап батиметричних досліджень озера – публікація 2007 р. І. Залеським картосхеми [8], на якій вперше нанесено карстові лійки.

Особливого значення пошук підземних джерел водопостачання озера набув, починаючи з 2009 року, у зв'язку із промисловим освоєнням крейдового родовища «Хотиславське» на території Білорусі. Останнє, за оцінками українських учених [9], розкриє водоносні горизонти четвертинних і верхньокрейдяних відкладів, які є основним джерелом водопостачання та господарського використання, що може мати значний негативний вплив на водопостачання і озера Світязь.

У зв'язку із вищенаведеним, як перший етап, у 2013 році співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України та Шацького національного природного парку були проведені батиметричні вимірювання всієї акваторії оз. Світязь. Проведене докладне ехолокаційне зондування дна по всій акваторії озера дозволило сформувати базу батиметричних даних, побудувати цифрову модель рельєфу дна та карту глибин оз. Світязь [10].

Проведений аналіз літературних джерел та проведені нами батиметричні дослідження 2013 року, попри створення цифрової моделі рельєфу дна та карти глибин, не дали відповіді щодо локалізації можливих джерел водопостачання озера. Проте, враховуючи ситуацію із критичним зниженням рівня води в озері Світязь протягом 2019 року, було обґрунтовано проведення додаткових батиметричних досліджень в місцях локалізації карстових лійок для підтвердження або спростування гіпотези щодо значного замулення цих ділянок як можливих місць локалізації основних джерел водопостачання озера. Також, слід зауважити, що у жодних працях, які стосуються батиметричних досліджень озера Світязь, немає підтверджень щодо точної локалізації цих джерел та їх вигляду. Іншими словами, невідомо, яким чином саме вода поступає до озера.

Матеріали і методи

Дно оз. Світязь не являє собою «тарілку», характерну для більшості озер біорезервату. Його рельєф складний, присутні і мілини, і западини, так звані карстові лійки, або «тоні», з різними глибинами (рис. 6).

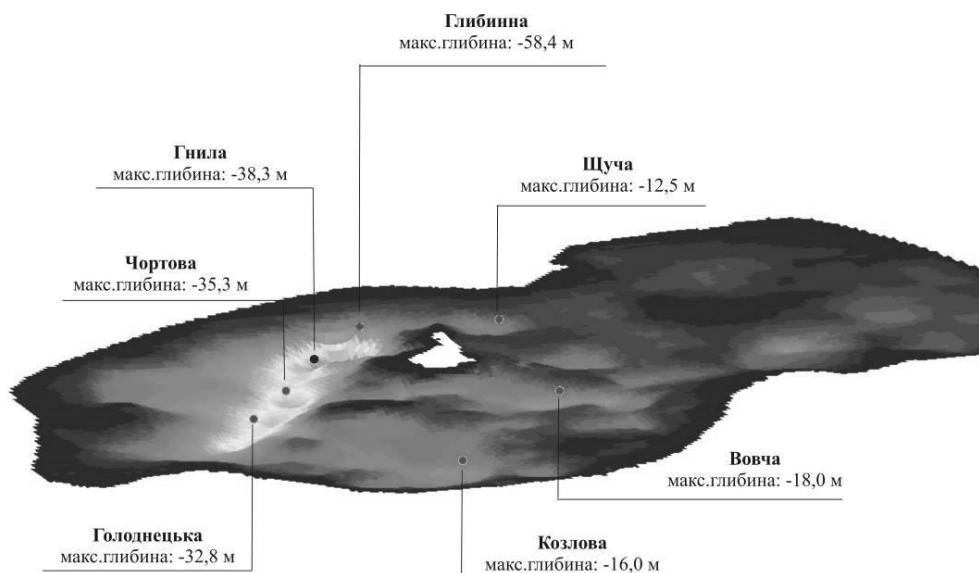


Рис. 6 – Карстові лійки, або «тоні», озера Світязь

Тому важливими вимогами до процесу вимірювання глибин є відносно висока точність і мала просторова дискретність, а також просторова прив'язка вимірів. Особливості рельєфу дна формують також певні вимоги до прокладання маршрутів вимірювань, які повинні охопити досліджувану ділянку із максимально можливим дотриманням однакових кліматичних умов під час їх реалізації. На основі створеної цифрової карти глибин озера було розроблено методика батиметричних вимірювань із використанням ехолотатора (сонара) типу Lowrance LMS-527cDF і GPS, суміщеного із GPS-приймачем для супутникової навігації. Основні технічні характеристики сонара: частота випромінювача – 50 кГц або 200 кГц, кут діаграми спрямованості ультразвукових перетворювачів (УЗ) – 35° (50 кГц) або 12° (200 кГц), максимальна глибина зондування – 760 м, максимальна швидкість судна при вимірюванні – 130 км/год. Основні технічні характеристики навігатора: 12-канальний приймач GPS/WAAS стандарту NMEA 2000, оновлення координат – щосекунди, похибка визначення координат не більше 10 м. Вибрана просторова дискретність вимірювань урахувала відносно малу швидкодію навігатора, а саме: для фіксування даних сонара і GPS-приймача з дискретністю 1 м швидкість пересування не повинна перевищувати 3,6 км/год. Це особливо важливо при дослідженні складних ділянок рельєфу дна оз. Світязь.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів

Для складання цифрових карт відкладів в межах досліджуваних ділянок, кожна з яких має площу приблизно 6 га, спочатку проведені вимірювання з довжиною треку по широті 300 м та дискретністю по довготі – приблизно 25 м (рис. 7). За результатами ультразвукового зондування на двох частотах, було опрацьовано ряд отриманих ехограм та «хмари» точок, які у подальшому використані для

створення карт глибин та карт відкладів з використанням програмних продуктів ArcGis [11].

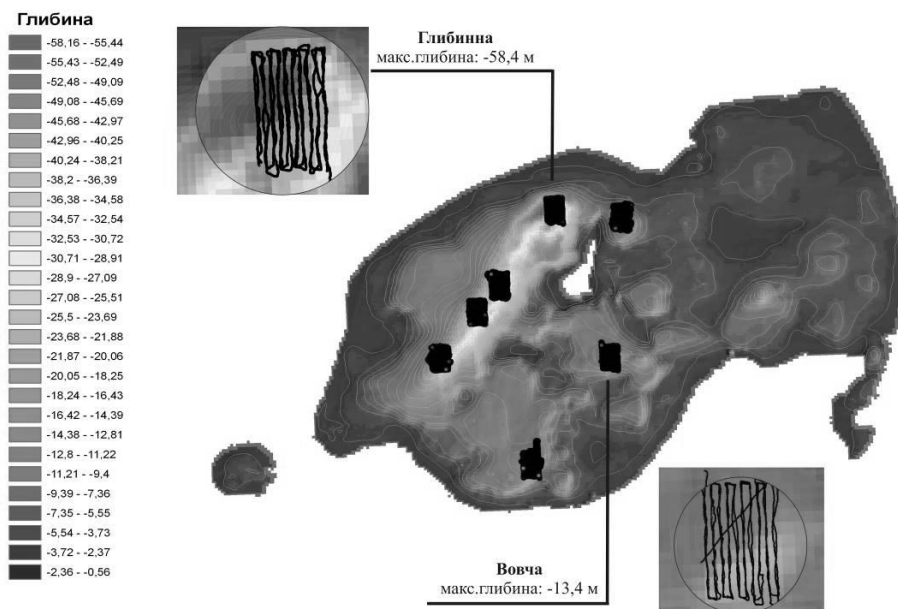


Рис. 7 – Маршрути ехолокації на 200 кГц та 50 кГц в межах найглибших ділянок («тоні») оз. Світязь (листопад 2019 р.)

Донні відклади в межах карстових заглибин. *«Тоня» Вовча* знаходиться у південно-східній частині озера Світязь. Максимальна глибина становить -18,0 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 0,78 м, а найбільше значення потужності – 2,7 м (рис. 8). Глибини ділянок, наведених на рисунку 7, складають від -16,0 до -18,0 м.

«Тоня» Козлова знаходиться у південній частині озера Світязь. Максимальна глибина в межах цієї западини складає -16,0 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 1,04 м. На рисунку 9 наведено місця з найбільшою потужністю донних відкладів. Слід зауважити, що ці місця локалізуються на глибинах від -12 до -15 м.

«Тоня» Голодницька є найпівденнішою «тонею» в межах розлому. Максимальна глибина становить -32,8 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 0,80 м, а найбільше значення потужності – 1,98 м (рис. 10). Потужність донних відкладів в межах досліджуваної ділянки є незначною.

«Тоня» Чортова є однією з чотирьох найбільших западин в розломі озера. Максимальна глибина становить -35,3 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,82 м, а найбільше значення потужності складає 3,2 м. Максимальна глибина ділянки, в межах якої зафіксовано найбільшу потужність донних відкладів (3,2 м), становить 33 м. Глибини інших двох ділянок з потужністю донних відкладів 2,4 м становлять 26 м та 32 м (рис. 11).

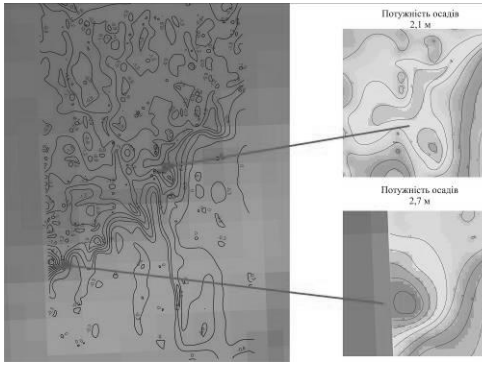


Рис. 8 – Карта донних відкладів «тоні» Вовча: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

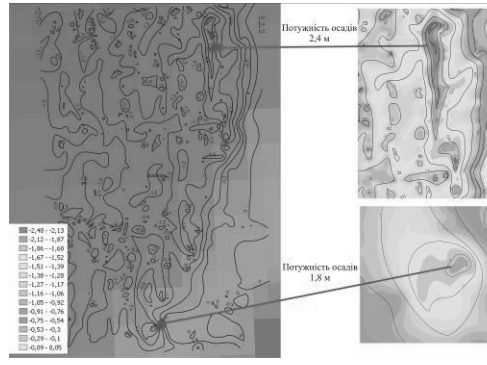


Рис. 9 – Карта донних відкладів «тоні» Козлова: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

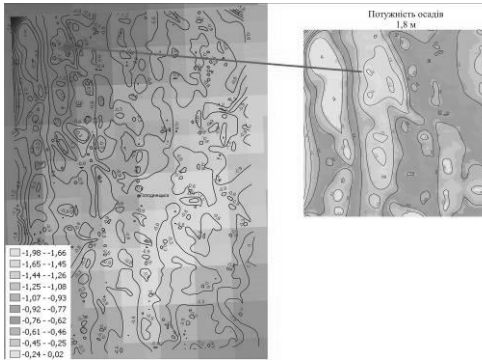


Рис. 10 – Карта донних відкладів «тоні» Голодницька: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

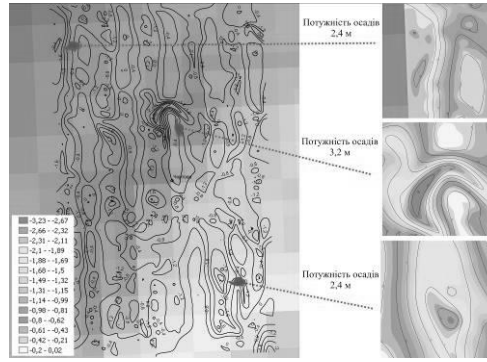


Рис. 11 – Карта донних відкладів «тоні» Чортова: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

«Тоня» Гнила – наступна западина в розломі. Максимальна глибина становить -38,3 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,73 м, а найбільше значення потужності складає 1,8 м. Глибина ділянок з найбільшими значеннями потужності донних відкладів становить -33,0 м (рис. 12).

«Тоня» Глибинна – найглибша западина в розломі з максимальною глибиною 58,4 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,83 м, а найбільше значення потужності складає 4,2 м (рис. 13). Глибина ділянок з потужністю донних відкладів від 3,9 м до 4,2 м становить від -45,0 м до -47,0 м. Потужність донних відкладів 3,6 м зафіксована на глибинах від -49,0 м до 51,0 м, а глибина ділянки з потужністю 3,2 м становить від -47,0 м до -49,0 м.

Таким чином, середня потужність донних відкладів в межах усіх досліджених найглибших западин озера Світязь коливається в межах від -0,7 до -1,04 м.

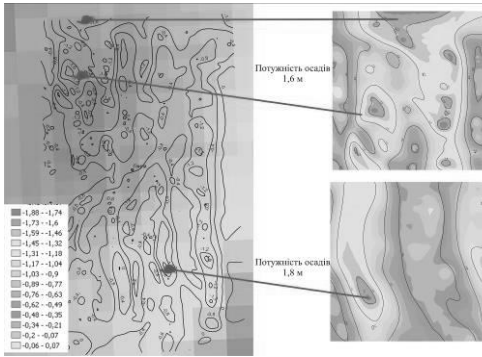


Рис. 12 – Карта донних відкладів «тоні» Гнила: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

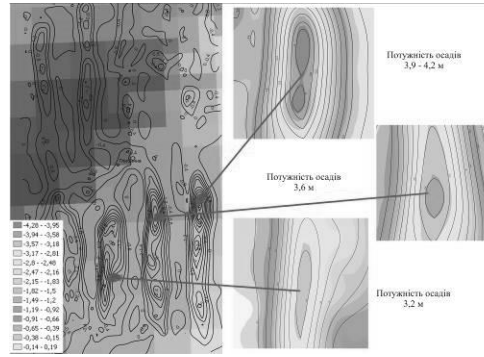


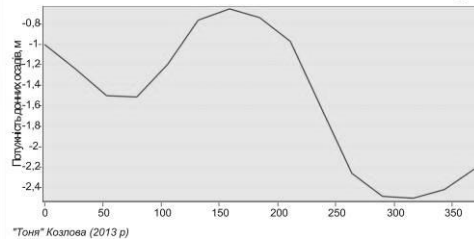
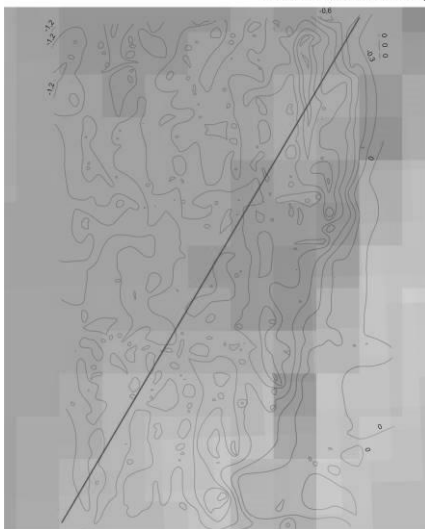
Рис. 13 – Карта донних відкладів «тоні» Глибинна: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

Різниця у розмірах пікселя у 2013 р. – 30 м та у 2019 р. – 1 м є досить суттєвою, що унеможливує достеменно попіксельне порівняння значень потужності донних відкладів, отриманих у ці роки. Це пов'язане з тим, що у попередніх дослідженнях проводилось ехолокаційне зондування всієї акваторії озера, а станом на сьогодні вимірювання проводились тільки для найглибших його западин. Проте, незважаючи на вищенаведене, була проведена просторова порівняльна оцінка потужності донних відкладів за 2013 та 2019 рр. вздовж профілів, проведених в межах ділянок, виміряних у 2019 р. З розподілу профілів, наведених на рис. 14, встановлено, що загальна максимальна потужність відкладів в межах цієї ділянки протягом зазначеного періоду не змінилась.

Потужність відкладів вздовж профілю «Тоня» Козлова, макс. глиб. -16,0 м

Середня потужність відкладів - 1,04 м
Максимальна потужність відкладів - 2,5 м

2013 р.



2019 р.

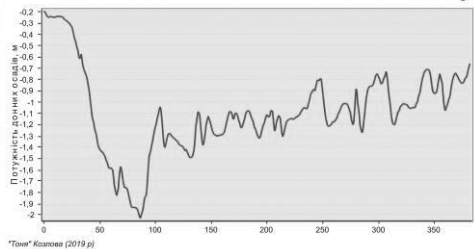


Рис. 14 – Порівняльна характеристика потужності донних відкладів в межах «тоні» Козлова за період 2013-2019 рр.

Такі порівняння були проведені для всіх западин і, на сьогодні, немає підстав стверджувати про значне замулення дна найглибших западин озера Світязь шляхом утворення потужних шарів донних відкладів.

Підземне живлення озера Світязь. Незважаючи на проведені дослідження, питання щодо живлення озера Світязь залишається відкритим і також відкритим залишається питання, як саме та у якому вигляді відбувається це живлення. Адже поступлення води з підземних джерел до водойми може відбуватись різними шляхами – у вигляді крапель, струменів або потужних джерел. Припущень з цього питання у літературних джерелах є багато і, в більшості випадків, всі схилиються до існування саме потужних джерел.

Приймаючи до уваги усе вищенаведене, ми провели детальне вивчення всіх наявних ехограм за 2013 та 2019 рр. За додатковими даними, отриманими з сонара, були вивчені ехограми на предмет відбиваючих властивостей дна озера. Різні ґрунти мають різну здатність відбивати та поглинати звукові хвилі – каміння та глина добре відбивають звукові хвилі і тому на екрані ехолоту створюють досить широку лінію. Мулисте та піщане дно відображається на ехолоті більш тонкою лінією.

Також, був проведений аналіз для виявлення різних предметів (риба, рослинність, каміння та інші предмети) для нехтування ними при вивченні ехограм.

Аналіз високої і відносно низької частоти для лунолокації дозволив виявити деякі особливості водних потоків з підземних джерел, які, зокрема, містять рухомі включення мулу та газових бульбашок. Рух цих включень формує на ехограмах відповідні треки, кількість і форма яких дає інформацію про параметри руху цих включень і які відрізняються на обраних частотах.

Додатковим аргументом щодо вивчення ехограм у цьому напрямку стали ехограми, на яких відображено вихід бульбашок метану під час ехолокації дна водосховища, що візуально проявляються похилими траєкторіями (рис. 15).

Ще одним параметром щодо пошуку місць виходу води є ділянки скупчення риб, оскільки саме ці ділянки багаті на кисень (рис. 16).

Таким чином, аналіз ехограм в межах чотирьох найглибших западин озера, які знаходяться в межах розлому (Глибинна, Гнила, Чортова та Голоднецька) (рис. 6), показав найбільшу інтенсивність руху нахилених траєкторій, які на ехограмах можна добре відрізнити від риб, оскільки останні залишають на ехограмах дугоподібні траєкторії.

Траєкторії, які ми можемо спостерігати на ехограмах, відрізняються і за своєю довжиною: під час малого ходу, ці відмітки є більш довгими (рис. 17), а під час пришвидшення, вони стають коротшими, а деколи зовсім малопомітними (рис. 18). Найбільша інтенсивність руху в межах чотирьох вищенаведених ділянок спостерігається в межах «тоні» Голоднецька. На рис. 19 – рис. 20 під час зондування на 200 кГц (верхні ехограми) в межах кожної ділянки ми можемо спостерігати досить помітну лінію, що нависає над дном. Із зменшенням глибини вздовж розлому ця лінія стає менш помітною і на ділянці «тоні» Голоднецька (рис. 21), яка має найменшу глибину, вона практично зникає. При цьому збільшується інтенсивність руху траєкторій. Враховуючи період проведення зондування (листопад 2019 р.), це може бути пов'язане із досить низькою температурою води і, відповідно, з підвищеною в'язкістю води в межах нижчих форм рельєфу, що може впливати на інтенсивність виходу водних струменів.

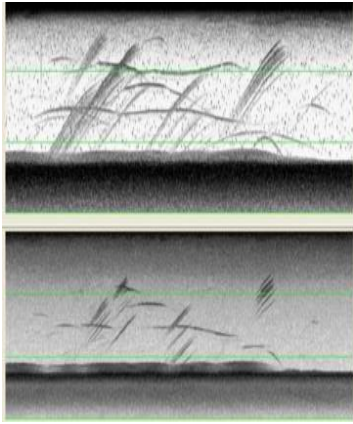


Рис. 15 – Ехограми виходу бульбашок метану у водосховищі за результатами ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 83 кГц (нижня ехограма)



Рис. 16 – Ехограма зондування озера Світязь на 200 кГц

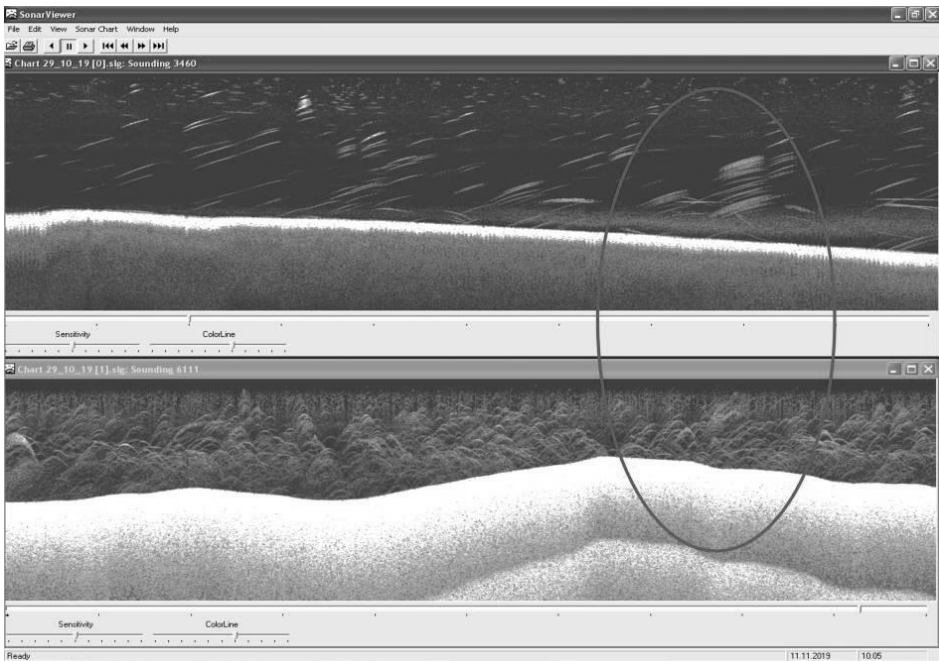


Рис. 17 – Ехограма водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Гнила під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -32,6 м, потужність донних відкладів 0,92 м

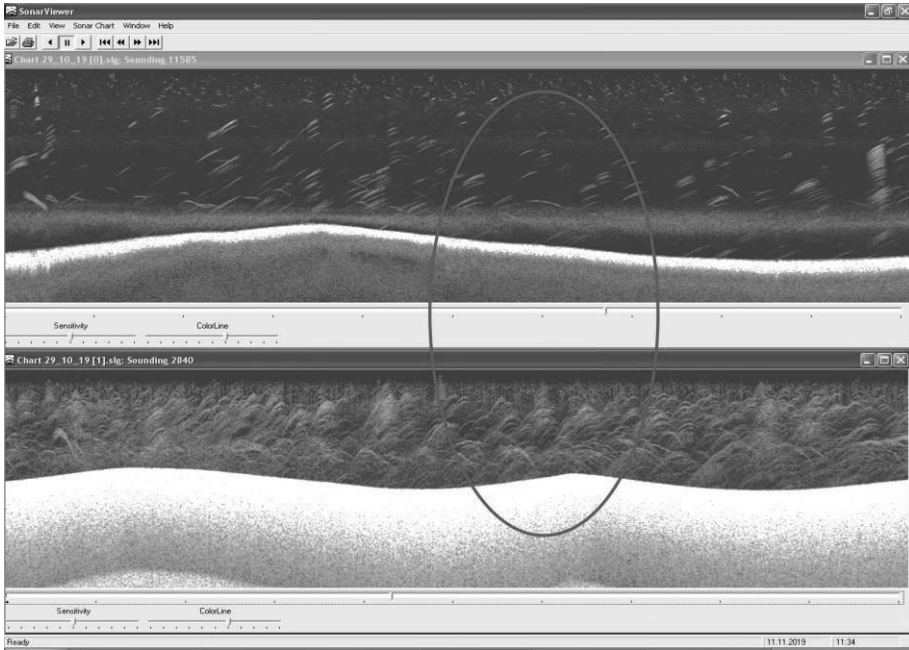


Рис. 18 – Ехограма водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Гнила під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -34,6 м, потужність донних відкладів 1,4 м

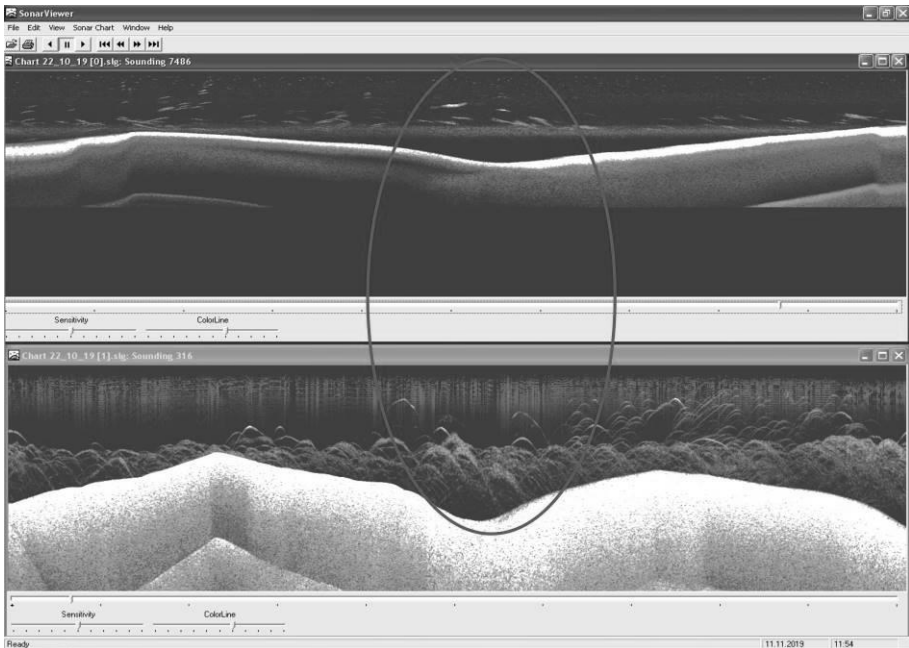


Рис. 19 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Глибинна під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -47,9 м, потужність донних відкладів 0,48 м

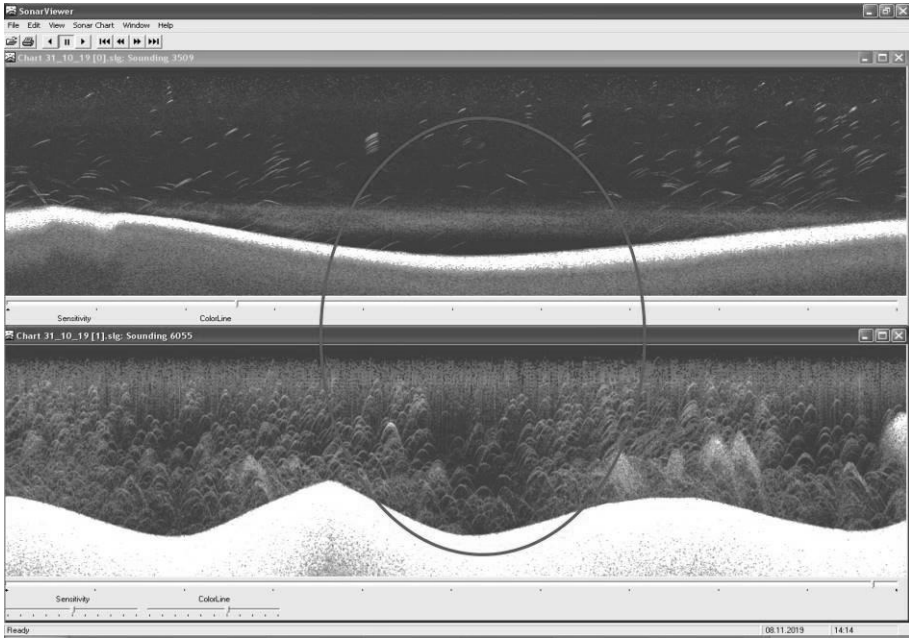


Рис. 20 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Чортова під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -37,9 м, потужність донних відкладів 0,6 м

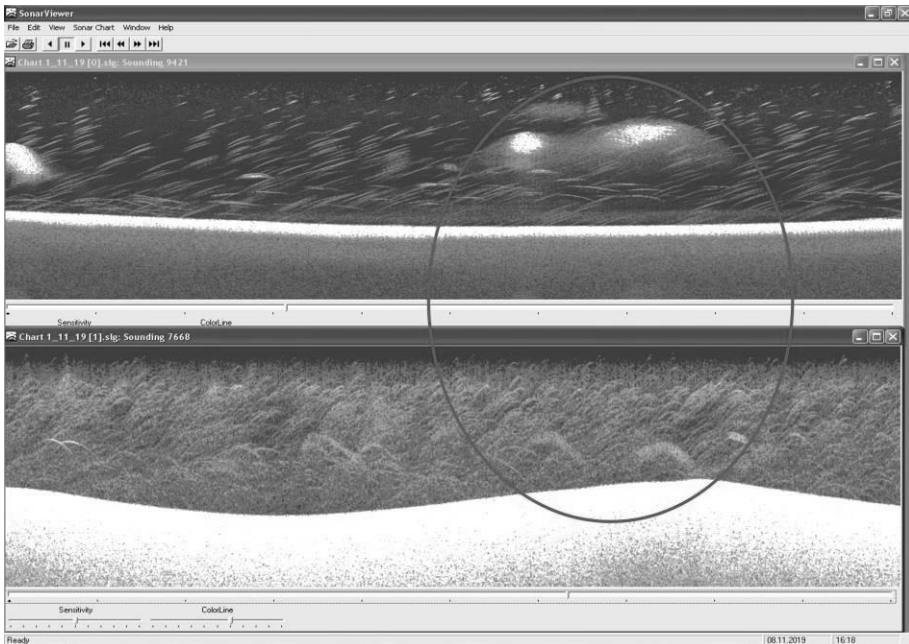


Рис. 21 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Голоднецька під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -31,0 м, потужність донних відкладів 0,4 м

Зовсім інша ситуація щодо інтенсивності руху траєкторій спостерігається в межах ділянок, що знаходяться в більш плоскій частині озера, зокрема це

«тоні» Козлова, Вовча та Щуча (рис. 22, рис. 23). На наведених рисунках одразу помітно, що інтенсивність траєкторій під час зондування на частоті 50 кГц (нижні ехограми) є досить низькою і, відповідно, їх інтенсивність на ехограмах, що відповідають 200 кГц, є також низькою (рис. 22) або відсутня повністю (рис. 23). В межах ділянки Щуча інтенсивність є практично відсутньою при зондуванні як на 50 кГц, так і на 20 кГц.

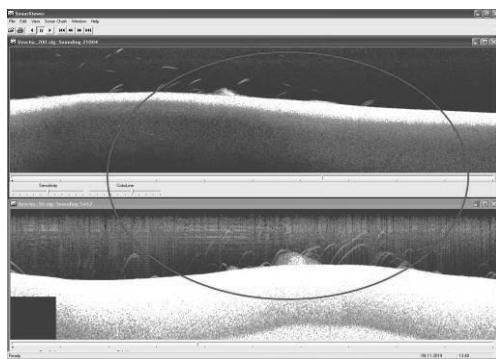


Рис. 22 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Вовча під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -15,7 м, потужність донних відкладів 1,19 м

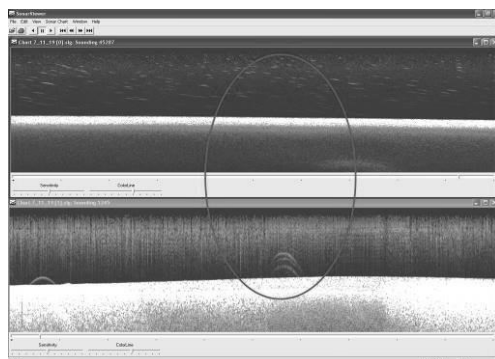


Рис. 23 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Козлова під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -12,9 м, потужність донних відкладів 0,68 м

Висновки

Таким чином, проведена оцінка потужності донних відкладів в межах найглибших ділянок озера Світязь та аналіз ехограм за 2013–2019 рр. дозволяють зробити наступні висновки і сформулювати гіпотези щодо зниження рівня води в озері. Доведення цих гіпотез, в свою чергу, потребує обов'язкових додаткових періодичних батиметричних вимірювань, ґрунтовних геологічних та гідрогеологічних досліджень та обґрунтувань.

1. Наповнення озера відбувається шляхом просочування води з водоносних горизонтів через водопроникні породи.

2. Просочування води відбувається не тільки в межах розлому озера Світязь, а й в більш плоскій його частині.

3. Значна інтенсивність руху траєкторій (струмків води) в межах розлому дозволяє зробити висновок, що основне наповнення озера відбувається в межах саме цієї частини внаслідок розкриття водопроникних порід, що сприяє більш інтенсивному виходу підземних вод.

Із врахуванням того, що основним джерелом наповнення озера Світязь (80%) є атмосферні опади та пов'язаний із ними поверхневий стік, то, беручи до уваги ситуацію із регіональним кліматом у 2019 році, сьогоднішнє наповнення водою озера відбувається переважно з підземних джерел (20%). На сьогодні, ми не можемо однозначно стверджувати, що зменшення рівня води в озері пов'язане із значним зменшенням продуктивності підземних джерел, оскільки, поки що, неможливо провести порівняльні оцінки внаслідок

відсутності попередніх даних. Проте, проведені нами дослідження дозволяють зробити висновок, що в межах більш плоскої частини озера поступлення води відбувається менш інтенсивно, ніж з частини в межах розлому. Тому, як результат, можуть бути сформовані дві гіпотези, які потребують ґрунтовних геологічних та гідрогеологічних обґрунтувань для їх підтвердження або спростування:

1. Оскільки область плоского рельєфу дна займає значно більшу частину акваторії озера, ніж область в межах розлому, і глибина його значно менша, то можна припустити, що обсяги поступлення води в озеро, в основному, визначаються джерелами, розташованими в цій області, і що на продуктивність водопостачання цих джерел інтенсивніше впливає зниження рівня ґрунтових і поверхневих вод, а не глибоко розміщених джерел підземних вод. Враховуючи це, ми знову повертаємось до переважаючого впливу регіонального клімату на природно-заповідну територію.

2. Друга гіпотеза полягає у тому, що підземне живлення озера Світязь, геологічно, може бути пов'язане із іншим конкретним регіоном. І якщо в межах цього регіону внаслідок змін клімату також відбулось зниження рівня обводнення, то і потужність підземного живлення озера Світязь теж змінилась. І, тому, найбільшу потужність живлення ми можемо спостерігати тільки в частині розлому, оскільки вона є найглибшою, а для більш плоскої ділянки акваторії потужність цього підземного живлення може бути недостатньою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кошовий В.В. Вплив сонячної активності на екологічні процеси на природо-заповідних територіях Західного Полісся: проблема чи гіпотеза? / В.В. Кошовий, О.Л. Івантишин, О.В. Альохіна та ін. // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* – 2012. – № 9. – С. 294-301.
2. Influence of natural climatic factors on lakes waters fluctuations in nature protected areas / O. Alokhdina, O. Ivantysyn, M. Korus et al. // *Ecological safety and natural resources.* – 2018. – № 4 (28). – P. 71-81.
3. Панасюк В.В. Система комплексного екологічного моніторингу природного середовища Шацького національного природного парку / В.В. Панасюк, П.В. Юрчук, В.В. Кошовий та ін. // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* – 2012. – № 9. – С. 305-313.
4. *Природа Волинської області* / за ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища шк., 1975. – 147 с.
5. Тутковский П. Озеро Свитязь и народныя преданія о немъ / П. Тутковский // *Кіевская старина.* – 1901. – № 3. – С. 144–150.
6. Dybowski B. Dwie Świtezie / B. Dybowski // *Ziemia.* – 1911. – № 5–9, 12–15, 17–20.
7. Lencewicz S. Mędyzrzecze Bugu i Prypeci / S. Lencewicz // *Przegląd geograficzny.* – 1931. – Т. XI. – С. 1–72.
8. Залеський І. До генезису озера Світязь / І. Залеський // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій.* – 2007. – № 4. – С. 10–13.
9. Зузук Ф. В. Вірогідність впливу розробки Хотиславського родовища крейди на заповідні екосистеми Волині / Ф. В. Зузук, В. Г. Мельничук, І. І. Залеський // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій.* – 2012. – № 9. – С. 3–11.
10. Альохіна О.В. Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи / О.В. Альохіна, М.М. Корусь, В.В. Кошовий та ін. // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій.* – 2014. – №11. – С. 24–32.

11. Муравський Л.І. Використання геоінформаційної системи Шацького національного природного парку для виявлення екологічних загроз / Л.І. Муравський, В.В. Кошовий, П.В. Юрчук та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій – 2012. – № 9. – С. 16-23.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2019 і прийнята до друку після рецензування 17.03.2020

REFERENCES

1. Koshovyy, V.V., Ivantyshyn, O.L., Gorban, I.M., Alokhina, O.V., Mezentsev, V.P. & Petriv, Kh.O. (2012). Influence of Solar Activity on the Ecological Processes of the Naturally-Protected Territories of Western Polesie: Problem or Hypothesis? *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 294-301. (in Ukrainian)
2. Alokhina, O.V., Ivantyshyn, O.L., Korus M.M., Koshovyy, V.V., Popov, M.O. & Rusyn, B.P. (2018). Influence of natural climatic factors on lakes waters fluctuations in nature protected areas. *Ecological safety and natural resources*, 4 (28), 71-81.
3. Panasyuk, V.V., Yurchuk, P.V., Koshovyy, V.V., Muravskyy, L.I., Gorban, I.M., Jashchenko, P.T., Al'okhina, O.V. & Korus', M.M. (2012). A System of Complex Ecological Monitoring of the Shatsk National Natural Park Natural Environment. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 305-313. (in Ukrainian)
4. Pryroda Volynskoi oblasti (1975). Za red. K.I. Gerenchuka. Lviv: Vyshha shkola. (in Ukrainian)
5. Tutkovskij, P. (1901). Ozero Svitjaz' i narodnyja predanija o nem. *Kievskaja starina*, 3, 144-150. (in Russian)
6. Dybowski, B. (1911). Dwie Świtezie. *Ziemia*, 5-9, 12-15, 17-20. (in Polish)
7. Lencewicz, S. (1931). Mędyrzecze Bugu i Prypeci. *Przegląd geograficzny*, XI, 1-72. (in Polish)
8. Zaleski, I.I. (2007). To genesis of Svityaz Lake. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 4, 10-13. (in Ukrainian)
9. Zuzuk, F.V., Melnychuk, V.G. & Zaleski, I.I. (2012). Probability of Influence on Protected Ecosystems of Volyn of Development of Hotyslavsk Quarry of Chalk. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 3-11. (in Ukrainian)
10. Alokhina, O.V., Korus, M.M., Koshovyy, V.V., Melnyk, M.M., Muravsky, L.I., Sydoruk, I.V. & Yurchuk, P.V. (2014). Bathymetric Study of the Svityaz' Lake: the Past, the Present and Prospects. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 11, 24-32. (in Ukrainian)
11. Koshovyy, V.V., Muravsky, L.I., Yurchuk, P.V., Melnychok, L.S., Alokhina, O.V., Kursish, I.Y. & Turych, V.M. (2012). Geographic Information System Structure for Nature Reserved Area Ecological Monitoring. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 16-23. (in Ukrainian)

The article was received 11.12.2019 and was accepted after revision 17.03.2020

Альохіна Ольга Володимирівна

кандидат технічних наук, науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: alokhina2011@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-5537-2720

Корусь Микола Миколайович

інженер I категорії лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: nikkor2005@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-8014-5378

Івченко Дарія Вікторівна

молодший науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: darusichka@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-6715-5782

Піць Наталія Андріївна

молодший науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: nataliapits2011@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-1346-7166

Турич Віталій Вікторович

науковий співробітник наукового відділу Шацького національного природного парку ДАЛР України

Адреса робоча: 44021 Україна, Волинська область, с. Світязь, вул. Жовтнева

e-mail: vitaliy_turych@ukr.net

ORCID ID 0000-0003-0705-3079

УДК 518.5

Sergii I. Azarov¹, D. S. (Engineering), Senior research associate
ORCID ID 0000-0002-9951-8867 *e-mail*: azarov@kinr.kiev.ua

Olena V. Kharlamova², PhD (Engineering), Assoc. Prof.
ORCID ID 0000-0001-8844-8368 *e-mail*: kharlamovaovdoc@gmail.com

¹ Institute for Nuclear Research of NASU, Kyiv, Ukraine

² Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

MODEL OF INTERACTION OF POLLUTION WITH AQUATIC TECHNOGENICALLY LOADED ECOSYSTEM

***Summary.** Scientific researches are devoted to the development of the theory of functional stability of ecosystems, as the stability of the functional of ecological safety. The conceptual (system of views of ensuring the ecosystem functional stability) and theoretical (the idea is comprehensively researched using scientifically-based approaches, methods, techniques, algorithms and mathematical models) of the theory of functional stability of ecosystems are offered. The theoretical bases of sustainable development of technogenically loaded ecosystems under conditions of synergism of components of ecological danger of different genesis are considered. On the example of the model of interaction of pollution of aquatic ecosystem its stability is investigated. The processes are described by Lot-Volterra type equations. This uses a modification of the first Lyapunov method, which is designed to study the stability of aquatic ecosystems of non-autonomous differential equations. For this purpose, a family of linear operators is constructed and the stability of systems of differential equations is determined by the signs of their logarithmic norms. Criteria for stability and asymptotic stability of fixed points by Lyapunov were obtained in the model of interaction of pollution with the aquatic ecosystem. The proposed method can be used to study a wide range of other ecosystems.*

***Keywords:** ecosystem; ecological safety; technogenic load; dynamic process; stability; Volterra tray equation; model; synergism*

С.І. Азаров¹, О.В. Харламова²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

² Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук, Україна

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЗАБРУДНЕННЯ З ВОДНОЮ ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНОЮ ЕКОСИСТЕМОЮ

***Анотація.** Наукові дослідження присвячені розвитку теорії функціональної стійкості екосистем як стійкості функціонала екологічної безпеки. Запропоновано концептуальні (система поглядів забезпечення функціональної стійкості екосистеми) та теоретичні (ідея всебічно досліджується за допомогою науково-обґрунтованих підходів, методів, методик, алгоритмів і математичних моделей) основи теорії функціональної стійкості екосистем. Розглядаються теоретичні засади стійкого розвитку техногенно навантажених екосистем в умовах синергізму складових екологічної небезпеки різного генезису. На прикладі моделі взаємодії забруднення водної*

© С.І. Азаров, О.В. Харламова, 2020

екосистеми досліджується її стійкість. Процеси описуються рівняннями типу Лотки – Вольтерри. При цьому використовується модифікація першого методу Ляпунова, що призначена для дослідження стійкості водних екосистем неавтономних диференціальних рівнянь. Для цього побудовано сімейство лінійних операторів і по знаках їх логарифмічних норм визначається стійкість систем диференційних рівнянь. Були отримані критерії стійкості і асимптотичної стійкості по Ляпунову нерухомих точок в моделі взаємодії забруднення з водною екосистемою. Запропонований метод може бути використаний при дослідженні широкого класу інших екосистем.

Ключові слова: екосистема; екологічна безпека; техногенне навантаження; динамічний процес; стабільність; рівняння Лотки – Вольтерри; модель; синергізм

Вступ

Стійкість екосистем – це здатність зберігати структуру і нормальне функціонування при змінах екологічних чинників. Адаптації організмів до змін чинників довкілля певною мірою забезпечують стійкість екосистем, до складу яких вони входять. Однак, екосистема (як і будь-яка більш складна система) порівняно з окремими видами організмів має більш високий ступінь надійності функціонування в мінливому середовищі, оскільки на системному рівні формуються і розвиваються нові системні механізми забезпечення стійкості й живучості екосистем, які були відсутні у окремих видів.

Екологічна безпека, на наш погляд [1], який підкріплений результатами аналізу літературних джерел та власних досліджень, охоплює практично всі сфери життєдіяльності суспільства. Тому проблеми екологічної безпеки багатогранні, що визначає широкий спектр напрямів наукових досліджень у цій галузі.

Дослідження впливу антропогенних чинників на водну екосистему є одним з фундаментальних завдань екологічної безпеки. Характер і ступінь цього впливу залежать як від стану водних об'єктів, здатності до самоочищення, так і від ступеня антропогенного впливу, складу та обсягів забруднень, що надходять в них. Швидкість відновлення водних екосистем при відхиленнях, що виникають при антропогенному втручанні, залежить від їхнього положення відносно рівноважного стану. З посиленням антропогенного тиску або інших природних чинників відбуваються збурення, наростання відхилень від рівноважного стану до тих пір, доки водна екосистема не втратить стабільність, що призведе до її руйнування. Особливо складними є прогностичні оцінки, оскільки відсутні надійні кількісні методики визначення впливу різних чинників (антропогенних і природних) на якість середовища, біотичні компоненти і, в цілому, на екологічний стан водних об'єктів. Одними з найбільш проблематичних питань залишаються методологічні основи оцінки екологічного стану водних екосистем. Ці питання вивчались багатьма вітчизняними вченими (В.Д. Романенко (1998, 2001), В.М. Жукинський (2003), О.П. Оксуюк (1993), С.А. Афанасьєв (2004), Г.А. Верніченко (1983, 1984), А.В. Яцик (1996), А.Г. Васенко (2000, 2001, 2013), В.І. Пелешенко (2000), В.К. Хільчевський (2007, 2013), В.П. Гандзюра (2008)) та зарубіжними науковцями (Ю.А. Израель (1979, 1981), В.П. Семенченко (2004), R.M. Brown (1972), J.B. Truett (1975) та ін.) [2–4].

Актуальним є пошук надійної методики визначення ступеня впливу різних чинників (антропогенних і природних) на екологічний стан водних екосистем [5]. Необхідним є метод, що ґрунтується на використанні реакцій водної екосистеми на вплив хімічних і фізичних чинників, хронічного забруднення, точкових і дифузних джерел, аварійних ситуацій.

У математичному відношенні зміни поведінки водної екосистеми при впливі антропогенних навантажень можна описати нелінійними рівняннями. Ці процеси відбуваються як флуктуаційні зміни, що викликають турбулентність і можуть призвести до руйнування водної екосистеми. Такі зміни у водній екосистемі характеризуються послідовністю фаз конфлікту-кризи і власне екологічної катастрофи. Однак механізми забезпечення, принципи та методи оцінки стійкості водної екосистеми до впливу антропогенних навантажень ще недостатньо розроблені.

Основним апаратом, що описує моделі взаємодії забруднення з водною екосистемою, буде представлена система диференціальних та інтегральних рівнянь. Відмітимо, що в останній час з'явився новий клас моделей, такі як логіко-диференціальні, ймовірні, детерміновано-стохастичні, а також інші моделі, які ґрунтуються на теорії мов [6].

Починаючи з публікацій Лотки та Вольтерри, математична екологія сформувалася як окремий напрям науки [7, 8].

Результати дослідження

Враховуючи найбільш вагомі положення робіт [9, 10], сформулюємо основні властивості водної екосистеми наступним чином:

- 1) повинні бути наявні первинні ресурси;
- 2) у водній екосистемі повинна бути підсистема відновлення і досконалості;
- 3) повинен бути механізм взаємодії водної екосистеми із забруднювачем;
- 4) повинні існувати механізми, що забезпечують умови кооперативної та конкурентної поведінки;
- 5) повинен існувати механізм, що забезпечує гомеостаз.

Використаємо наступні позначення фізичних величин та певних функціональних залежностей з урахуванням [11, 12]:

- P – концентрація забруднювача;
- E – щільність біомаси;
- $f(E, P)$ – функція, що описує абсорбцію та «переробку» забруднювача водної екосистеми;
- $d = g(E)$ – величина, що описує динаміку водної екосистеми за відсутності забруднення;
- $h(E, P)$ – функція, що описує шкідливий вплив забруднення на водну екосистему;
- a – потужність джерела забруднення в одиницю часу;
- b – коефіцієнт лінійного (мертвого) знищення забруднення (природна дисипація).

Тоді система рівнянь, що описує взаємодію забруднення з водною екосистемою, буде мати вид:

$$\frac{dE}{dt} = g(E) - h(E, P), \quad \frac{dP}{dt} = a - bP - f(E, P), \quad (1)$$

Якщо констатувати, що

$$f(E, P) = cEP, g(E) = rE \left(1 - \frac{E}{k}\right), h(E, P) = dEP \quad (2)$$

тоді система (1) буде мати вид

$$\frac{dP}{dt} = a - bP - cEP, \quad \frac{dE}{dt} = r(E) \left(1 - \frac{E}{k}\right) - dEP. \quad (3)$$

Введемо безрозмірні змінні

$$P = \frac{bu}{d}, E = \frac{bv}{c}, \tau = bt, \alpha = \frac{ad}{b^2}, u_0 = \frac{r}{b}, \rho = \frac{r}{cE}. \quad (4)$$

Перейдемо до найпростішої математичної моделі взаємодії забруднення з водною екосистемою:

$$\frac{du}{dt} = \alpha - u - uv, \quad \frac{dv}{dt} = v(u_0 - u) - pv^2. \quad (5)$$

Дослідимо стійкість математичної моделі «забруднення – водна екосистема» з параметрами, що є залежними від часу. Для визначеності обмежимося розглядом моделі, яка описується системою рівнянь (5). При цьому будемо вважати, що деякі параметри цієї моделі залежать від часу. В результаті приходимо до системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{du(t)}{dt} = a - u(t) - \frac{u(t)v(t)}{\lambda(t) = u(t)}, \quad \frac{dv(t)}{dt} = v(t)(u_0(t) - u(t)) - p(t)v^2(t). \quad (6)$$

Параметр $\lambda(t)$ описує ступінь впливу забруднення на водну екосистему: чим більше його величина, тим менше ступінь поглинання забруднення водною екосистемою; коефіцієнт $p(t)$ описує взаємну конкуренцію різних видів водної екосистеми.

В системі рівнянь (6) параметр a можна трактувати як узагальнену потужність джерела забруднення; $u_0(t)$ – як гранично допустиму концентрацію для даної водної екосистеми (якщо, починаючи з деякого часу, $t \geq t_0$ $u_0(t) < u(t)$, то $d_v(t) / dt < 0$ і водна екосистема вимирає). Будемо досліджувати стійкість рішення системи (6) відносно нерухомої точки $(a, 0)$. Дослідження будемо проводити у просторі R_2 векторів $x = (x_1, x_2)$ з нормою $\|x\| = \max(|x_1|, |x_2|)$. Через $B(0, r)$ позначимо кулю радіуса r з центром в початку координат простору R_2 ; через $S(0, r)$ позначена сфера $\|x\| = x \in R_2$

Через $\Lambda(A)$ позначимо логарифмічну норму оператора A :

$$\Lambda(A) = \lim_{h \downarrow 0} \frac{\|I + hA\| - 1}{h}, \quad (7)$$

де I – тотожний оператор.

Зробимо заміну змінних $u(t) = a + u_1(t)$, $v(t) = v_1(t)$. У результаті приходимо до системи рівнянь

$$\frac{du_1(t)}{dt} = -u(t) - \frac{(u_1(t) + a)v_1(t)}{\lambda(t) + a + u_1(t)}, \quad \frac{dv_1(t)}{dt} = v_1(t)(u_0(t) - a - u_1(t)) - p(t)v_1^2(t). \quad (8)$$

Зафіксуємо довільне значення $T > 0$. Нехай $x(t) \neq 0$, $x(t) = (u_1(t), v_1(t))$.

Представимо систему рівнянь (8) в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{du_1(t)}{dt} &= -u(t) - \frac{(u_1(T) + a)}{\lambda(T) + a + u_1(T)} v_1(t) + \\ &+ \left(\frac{u_1(T) + a}{\lambda(T) + a + u_1(T)} - \frac{u_1(t) + a}{\lambda_1(t) + a + u_1(t)} \right) v_1(t), \\ \frac{dv_1(t)}{dt} &= (u_0(T) - a - u_1(T))v_1(t) - p(T)v_1(T)v_1(t) + \\ &+ (u_0(t) - u_1(t)) - u_0(T) - u_1(T))v_1(t) - (p(t)v_1(t) - p(T)v_1(T))v_1(t). \end{aligned} \quad (9)$$

Представимо систему (9) у вигляді операційного рівняння

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(T)x(t) + F(t), \quad (10)$$

де

$$x(t) = (u_1(t), v_1(t)); A(T) = \{a_{ij}(T)\}, a_{11}(T) = -1, a_{12}(T) = -\frac{u_1(T) + a}{\lambda(T) + u_1(T) + a}, \quad (11)$$

$$a_{21}(T) = 0, A_{22}(T) = u_0(T) - a - u_1(T) - p(T)v_1(T); F(t) = (f_1(t), f_2(t)),$$

причому вид функцій $f_i(t)$, $i=1,2$, очевидно.

Рівняння (11) має наступне рішення

$$x(t) = e^{A(T)(t-T)} x(T) + \int_T^t e^{A(T)(t-s)} F(s) ds. \quad (12)$$

Неважко побачити, що для будь-якого як завгодно малого ε ($\varepsilon > 0$) існує проміжок часу $[T, t + \Delta T(\varepsilon)]$, протягом якого $\|F(t)\| \leq \varepsilon \|x(t)\|$.

З огляду на це зауваження і переходячи в (12) до норм, отримуємо нерівність

$$\|x(t)\| \leq e^{\Lambda(A(T))(t-T)} \|x(T)\| + \varepsilon \int_T^t e^{\Lambda(A(T))(t-s)} \|x(s)\| ds, \quad (13)$$

справедливу при $T \leq t \leq T + \Delta(T(\varepsilon))$.

Введемо функцію $\phi(t) = e^{-\Lambda(A(T))t} \|x(t)\|$ і представимо нерівність (13) у вигляді

$$\phi(t) \leq \phi(T) + \varepsilon \int_T^t \phi(s) ds. \quad (14)$$

Застосовуючи до (14) нерівність Гронуолла – Беллмана [13] і повертаючись до норм, маємо

$$\|x(t)\| \leq e^{(\Lambda(A(T)+\varepsilon)(t-T)} \|x(T)\|. \quad (15)$$

Таким чином, якщо при всіх $t \geq 0$ справедливо $\Lambda(A(t)) < 0$, то рішення системи (9) стійке. Повторюючи міркування, можна показати, що якщо при всіх $t \geq 0$ виконується нерівність $\Lambda(A(t)) < -\chi$, $\chi > 0$, то рішення системи (9) асимптотично стійке. Визначимо область притягання нерухомої точки (0,0) системи (9).

З наведених вище міркувань випливає, що якщо при $t \geq 0$

$$-1 + \frac{\delta + a}{\lambda(t) + a} \leq -x, \quad u_0(t) - a \leq -x, \quad x > 0, \quad (16)$$

то траєкторія рішення системи (9) при початкових умовах з кулі $B(0, \delta)$ прагне до нерухомої точки.

Звідси випливає, що область притягання нерухомої точки (0,0) оцінюється нерівністю

$$\min_t \frac{\lambda(t)(1-x) - ax}{x} \geq \delta. \quad (17)$$

Аналогічним чином досліджували стійкість і нестійкість нерухомих точок системи диференціальних рівнянь (6). Відзначимо, що при дослідженні нестійкості використовуються двосторонні оцінки.

В якості одного з конкретних прикладів застосування моделі «забруднення – водна екосистема» розглянемо модель очистки стічних вод [14]. Ця модель описується системою рівнянь:

$$\frac{dP}{dt} = a - bD(P) - cf(P, E), \quad \frac{dE}{dt} = -dE + eh(P, E), \quad (18)$$

де $P(t)$ – концентрація забруднювача у воді; $E(t)$ – щільність біомаси активного мулу; $D(P)$ – функція дисипації, що характеризує природний розпад забруднювача; $f(P, E)$ і $h(P, E)$ – трофічні функції, які характеризують процес

очищення забруднювачів біологічно чистим мулом; $a > 0$ – потужність джерела забруднення; $d > 0$ – постійна, що характеризує швидкість зменшення активного мулу в чистій воді; c і e – константи, що більші за 0.

Система рівнянь (18) матиме три нерухомі точки

$$A_1 = (a, 0), A_2 = \left(\frac{u_0 + p + Q}{2}, \frac{u_0 - p - Q}{2p} \right), A_3 = \left(\frac{u_0 + p - Q}{2}, \frac{u_0 - p + Q}{2p} \right), \quad (19)$$

де

$$Q = \sqrt{(u_0 + p)^2 - 4ap}. \quad (20)$$

Якщо $u_0 > a$, то A_1 – (збірка, парасолька Уїтні-Келлі); в іншому випадку A_1 – (каустика, ластівчин хвіст) (рис. 1) [15].

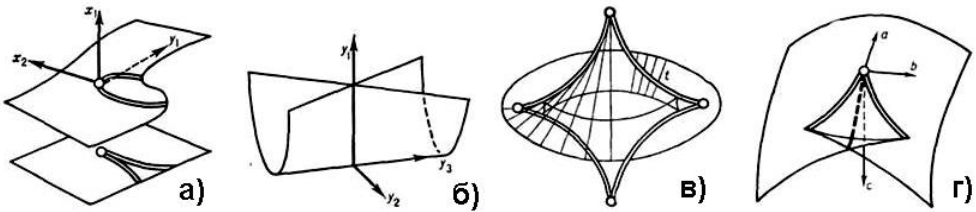


Рис. 1 – Приклади біфуркаційних діаграм: а – збірка; б – парасолька Уїтні-Келлі; в – каустика; г – ластівчин хвіст

Отже, водну екосистему можна назвати такою, що самоорганізується, якщо вона без специфічного впливу ззовні знаходить якусь просторову, часову або функціональну структуру. Під специфічним зовнішнім впливом розуміється такий, що нав'язує водній екосистемі структуру або функціонування.

Відзначимо, що більш реалістичним є визначення функції $f(E, p)$ формулою

$$f(E, p) = \frac{cEp}{A + p}. \quad (21)$$

де c та A – константи.

У цьому випадку безрозмірна система рівнянь (18) буде мати вигляд:

$$\frac{du}{dt} = a - u - \frac{uv}{\lambda + u}, \quad \frac{dv}{dt} = v(u_0 - u) - pv^2. \quad (22)$$

Тут $\lambda > 0$ описує ступінь впливу забруднення на водну екосистему. Неважко бачити, що A_1 є нерухомою точкою для системи (22).

Висновки

Розроблено теоретичні засади стійкого розвитку техногенно навантажених екосистем в умовах синергізму складових екологічної небезпеки різного генезису. На прикладі моделі взаємодії забруднення водної екосистеми досліджено її стійкість.

Встановлено, що здатність водної екосистеми до самоорганізації багато в чому визначається характером взаємодії випадкових і необхідних чинників екосистеми і середовища, що її оточує.

Отримані критерії стійкості і асимптотичної стійкості по Ляпунову нерухомих точок в моделі взаємодії забруднення з водною екосистемою. Запропонований метод може бути використаний при дослідженні широкого класу інших екосистем, зокрема техногенно навантажених екосистем в умовах синергізму небезпек різного генезису.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shmandiy, V.M., Kharlamova, E.V., Rigas, T.E. (2018) Control elements of environmental safety under the conditions of chemical and man-made factors. *Gigiena i Sanitariya*, 9(97), 809-812.
2. Kharlamova O.V., Malovanyu M.S., Shmandiy V.M., Svyatenko A.I. (2018) *Ways of increasing the efficiency of anaerobic-aerobic processes of biological wastewater treatment: «Water Supply and Wastewater Disposal»*. Monografie. Lublin: Lublin University of Technology. Poland, 124-131.
3. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. (2017) Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску. *Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування»*, 3-4 (24), 50-57. (in Ukrainian)
4. Матвеева І.В., Азаров С.І., Кутлахмедов Ю.О., Харламова О.В. (2016) *Стійкість екосистем до радіаційних навантажень*. Київ: НАУ. (in Ukrainian)
5. Азаров С.І., Задунай О.С. (2018) Моделювання стійкості екосистеми. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*, 4 /2018 (23), С. 5–9. (in Ukrainian)
6. Глушков, В.М., Иванов, В.В (1983) *Моделирование развивающихся систем*. Москва: Наука. (in Russian)
7. Lotka, A. *Elements of Physical Biology* (1925). Baltimore. Reprinted by Dover in 1956 as *Elements of Mathematical Biology*.
8. Вольтерра, В. (1976) *Математическая теория борьбы за существование*. Москва: Наука. ГИФМЛ. (in Russian)
9. Ащепкова Л.Я. (1978) *Математическое моделирование водных экологических систем*. Иркутск: ИГУ, 6-46. (in Russian)
10. Георгиевский В.Б. (1982) *Идентификация и верификация моделей водных экосистем*. Проблемы сохранения, защиты и улучшения качества природных вод. Москва: Наука, 156-163. (in Russian)
11. Смит, Дж. М. (1976) *Модели в экологии*. Москва : Мир. (in Russian)
12. Арнольд, В.И. (2000) *«Жесткие» и «мягкие» модели*. Москва: МЦНМО. (in Russian)
13. Братусь, А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. (2010) *Динамические системы и модели биологии*. Москва : Физматлит. (in Russian)
14. Крестин, С.В., Розенберг, Г.С. (1996) Об одном механизме "цветения воды" в водохранилище равнинного типа. *Биофизика*, 41(3), 650-654. (in Russian)
15. Азаров, С.І. (2019) Моделювання еволюції нелінійних екосистем. *Екологічна безпека та природокористування*, 2 (30), 18-29. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.18-29> (in Ukrainian)

Стаття надійшла до редакції 10.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 09.06.2020

REFERENCES

1. Shmandiy, V.M., Kharlamova, E.V., & Rigas, T.E. (2018). Control elements of environmental safety under the conditions of chemical and man-made factors. *Gigiena i Sanitariya*, 9(97), 809-812.
2. Kharlamova, O.V., Malovanyy, M.S., Shmandiy, V.M., & Svyatenko, A.I. (2018). *Ways of increasing the efficiency of anaerobic-aerobic processes of biological wastewater treatment: «Water Supply and Wastewater Disposal»*. Monografie. Lublin: Lublin University of Technology. Poland.
3. Azarov, S.I., Sidorenko, V.L., & Zadunay, O.S. (2017). Determination of ecosystems reliability to anthropogenic pressure factor. *Environmental safety and natural resources*, 3-4(24), 50-57. (in Ukrainian)
4. Matveeva, I.V., Azarov, S.I., Kutlahmedov, Yu.O., & Kharlamova, O.V. (2016). *Ecosystems resilience to radiation loads*. Kyiv: NAU (in Ukrainian)
5. Azarov, S.I., & Zadunay, O.S. (2018). Ecosystem sustainability modeling. *Scientific and Practical Journal "Environmental Sciences"*, 4(23), 5-9. (in Ukrainian)
6. Glushkov, V.M., & Ivanov, V.V. (1983). *Modeling of developing systems*. Moscow: Science. (in Russian)
7. Lotka, A. (1925). *Elements of Physical Biology Baltimore*. Reprinted by Dover in 1956 as *Elements of Mathematical Biology*.
8. Volterra, V. (1976). *The mathematical theory of the struggle for existence*. Moscow: Science. GIFML. (in Russian).
9. Achepkova, L.Ya. (1978). Mathematical models of aquatic ecosystems. *Mathematical modeling of aquatic ecological systems*, 6-46. Irkutsk: IMU. (in Russian)
10. Georgievsky, V.B. (1982). Identification and verification of aquatic ecosystem models. *Problems of conservation, protection and improvement of natural water quality*, 156-163. Moscow: Science. (in Russian)
11. Smith, J.M. (1976). *Models in Ecology*. Moscow: Peace. (in Russian)
12. Arnold, V.I. (2000). *"Hard" and "soft" models*. Moscow: MOSNMO. (in Russian)
13. Bratus, A.S., Novozhilov, A.S., & Platonov, A.P. (2010). *Dynamic systems and models of biology*. Moscow: Fizmatlit. (in Russian)
14. Krestin, S.V., & Rosenberg, G.S. (1996). On a mechanism of "flowering of water" in a reservoir of plain type. *Biophysics*, 41(3), 650-654. (in Russian)
15. Azarov, S.I. (2019). Modeling the evolution of nonlinear ecosystems. *Environmental safety and natural resources*, 2(30), 18-29. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.18-29> (in Ukrainian)

The article was received 10.04.2020 and was accepted after revision 09.06.2020

Азаров Сергій Іванович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, пр-т Науки, 47

e-mail: azarov@kinr.kiev.ua

ORCID ID 0000-0002-9951-8867

Харламова Олена Володимирівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського

Адреса робоча: 39600 Україна, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

e-mail: kharlamovaovdoc@gmail.com

ORCID ID 0000-0001-8844-8368

UOT 631.

Fazil Tatarxan Jafarov¹, Dr., Senior Lecturer
e-mail: faziljafarov@yahoo.com

Mustafa Gilman Mustafayev², D. S. (Agrarian), Associate Professor
ORCID ID 0000-0003-2071-3078 *e-mail*: meliorasiya58@mail.ru

¹ Agjabadi branch of Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

² Institute of Soil Science and Agrochemistry of Azerbaijan National Academy of Science, Baku, Azerbaijan

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SOIL FERTILITY IN THE CENTRAL REGION OF AZERBAIJAN

***Abstract.** Global warming also contributes to ongoing land degradation. Higher temperatures have become more frequent in recent years, which has led to desertification and land degradation due to reduced rainfall and increased evaporation. The problem of desertification is very important for Azerbaijan, located in dry climate. The deterioration of potential and effective indicators of land fertility inherent in the central part of Azerbaijan has become a consistent and irreversible process. In most natural areas, a decrease in humus, which is a very important indicator of fertility, is a serious warning and should be seen as an environmental crisis or soil degradation. To maintain soil fertility, a system of land reclamation and agroeclamation measures can be applied. Besides of these measures it is also possible through the use of new technologies (Conservation Agriculture) to maintain soil fertility.*

Conservative (protected) systems are not just a technique, but simply a type of approach. Following list of technologies is using on conservative agriculture:

- *Laser surface alignment;*
- *Preservation of plant residue in the area;*
- *Reduction of soil plowing (minimum cultivation) or lowering the plow to zero;*
- *Application of turn cultivation system.*

This type of cultivation is also called a sow or a direct sow. Conservative agriculture based on reduction of plowing or reset plowing. Additionally, it is important to apply plant debris on soil surface and it should be combined with sequence cultivation.

***Key words:** soil fertility; Conservation agriculture; plant debris; salinization; land erosion; humus; soil surface alignment*

Introduction

The rapid population growth in the country over the past hundred years, the excessive expansion of settlements, the intensive development of transport and other industries have led to increased impact on ecological and natural ecosystems. As a result, there was a decline of arable soil area, deterioration of fertility indicators and decline of biopotential of these lands. Plowing of lands with fertilizers for hundreds years led to decline of organic matter of the soil. Soil organic matter does not only provide soil with nutrients. First of all, it is the most important element for soil structure stabilization. Therefore, more soils degrade after long time intensive plowing.

Degradation process leads to erosion. Erosion process in Azerbaijan is widespread. The total area of eroded lands in our republic is 3144.7 hectares, which is 36.4% of territory of the country. As a result of this process, the soil is washing away and its fertility decreases. This leads to decline of productivity and has a negative impact on the quality [1, 2, 5].

To protect and increasing the fertility of the soil is possible with application of conservation agricultural technologies. Conservation Agriculture is not only a technical method, but also resistant method of approach. Conservation Agriculture is based on declining of the plowing or lowering the plow to zero. Besides of that, it is one of the important issues to apply plants residue on land surface. Here occurs constant biochemical processes, breakdown and synthesis of organic matters and enrichment of the soil with nutrients. In addition, plants residue protects cultivated agricultural lands from sunlight, wind, irrigation and wind erosion [3, 4, 6, 8].

Therefore, research and development of recommendations for the preservation of soil fertility and increasing of productivity in the Central region of Azerbaijan is very important and needs a great scientific and practical experience.

The purpose of the study

The main purpose of the study is to improve the fertility of soils through less provided meadow gray soils residue in the Central Region of Azerbaijan.

Followings have been studied regarding the above-mentioned issue:

1. Preparation of soil surface.
2. Quantity of plant residues stored on soil.
3. Save on irrigation.
4. Study of humus content on experimental area soils.

Materials and Methods

Experimental works have been carried out on the farm in Mil-Garabagh region of Agjabadi district between 2017 and 2019.

Experimental area was 1 ha area land.

The experiment was carried out using a traditional planting and storage scheme for plant residues that are used by farmers.

During the experiment, farmers were encouraged to apply the new technologies together and it will provide sustainability of the results applications on long term use.

To study the soil clarification soil samples have been taken from 5 different places of the area, dried in laboratory, crushed and sieved 1 mm sieve.

Local seed sorts have been used during the experiment. Also, Turkish made laser levelling aggregate and seed sower machine aggregate have been used.

Results and discussions

The experiment was conducted to reduce soil erosion by applying conservation agricultural technologies in 1 ha land Beylagan-Agjabadi districts, the Central part of the Azerbaijan. For this purpose, *the surface of the soil is leveled by a laser beam*. In the land levelled by laser beam, Germination and growth of plants and water spreading is providing equally, which prevents soil washing.

Through laser levelling it is possible to make a surface level spirit or slope. In general, laser leveling of the soil surface very effectively prevents the loss of water and leaching of nutrients. Also, land erosion, secondary salinization and other negative impacts are declining [6, 9].

Check-row planting. Check-row planting is being carried out by planting machine after the land preparation for planting. During the check-row planting sowing norm declining by 30-40%. Besides the saving of irrigation, it doubles productivity of one, who carries irrigation. In check-row plantation process, the rowing machine makes row, as well as plants 3-4 rows seed with 8-14 cm interval [9, 10, 11].

Application of crop rotation. The following types of crop rotation is applying in uncultivated lands at the same place: Increasing the productivity of agricultural plants, protecting of soil fertility and disease and pests control measures.

Application of plant residues. In this process in order to increase the soil fertility the chopping plant residues applying to the soil surface after the harvest period. The aim of this activity is to increase the activity of the microorganisms through plant residues. The plant residues also increase decompositions in the content of soil and it leads to the increasing of soil fertility. During the experiment process of conservation agriculture program sowings of seeds of wheat, corn, sunflower, sorgo and cotton shifted regularly during the autumn, spring and summer at the same place.

The plants residue remained on land surface after the harvest period. These residues applied after the chopping procedure by special chopper machine. These residues also protect the soil from sun shine, wind and negative impacts of rain, as well as irrigation and wind erosions. Besides of protection, residues also prevent negative impact of weeds growth. During these works it is possible to get stable productivity, increasing soil fertility, as well as the recovering of micro and macro faunas in unplowed lands [8, 12, 13].

As the starting of the Conservation agriculture plants, the land levelled by laser, then wheat seed has been planted to this area in fall of 2016. As an interval planning, in the summer of 2017, Phaseolus has been planted to this land and again in the autumn of 2017 barley seed has been planted. After the harvest period, as an interval period corn seed has planted at summer of 2018, later, in autumn of the same year, again barley seed has been planted to this area.

During this period following seeds have been planted as above-mentioned sequence in 1 ha land: wheat, bean, barley, corn and again barley.

Soil samples have been taken from experimental lands between 2016 and 2018 and sent for laboratory testing. Results shown in table 1.

Table 1 – Agrochemical classifications of soils

Per year	Nitrogen %	Phosporus mq/kq	Potassium exchange mq/kq	Humus %	Organic carbon %
2016	0.135	25.9	191.0	2.7	1.60
2017	0.140	32.6	209.0	2.8	1.62
2018	0.155	34.3	211.0	3.1	1.80
Difference, %	14.8	32.51	10.471	15	12.5

As it described in figure, general nitrogen changed between 0.135-0.155%, phosphorus 25.9-34.3%, potassium exchange 191.0-211.0 mg/kg, humus 2.7-3.1%, organic carbon 1.60-1.80%.

During the same period, the same farmer has planted 1 ha land of wheat seed and barley seed by traditional way. In the traditionally area the farmed used only autumnal cereals and residues have been removed from site like recent years. Results of samples analysis from that site shown in table 2.

Table 2 – Agrochemical classification of soil

By years	Nitrogen, %	Phosphorus, mq/kg	Potassium exchange, mq/kg	Humus, %	Organic carbon, %
2016	0.150	20.61	218	3	1.89
2017	0.145	18.32	217	2.9	1.68
2018	0.140	17.50	216	2.85	1.64
Difference, %	-6.667	-15.1	-0.9174	-5	-13

As it described in the table, between 2016 and 2018, general nitrogen changed between 0.150-0.140%, phosphorus 20.61-17.50%, potassium exchange 218.0-216.0 mg/kg, humus 3.0-2.85%, organic carbon 1.89-1.64%.

At the same time, the amount of the residues after the harvest period on conservative agricultural lands is constantly monitored per 1 sq m. The same procedure has been monitored during the same period in 1 ha land after the harvest period. Sowing different types of seeds with turn during the experimental period of 2016-2018 as following: autumnal wheat seed in 2016, planting of bean as an interval in summer 2017, then autumnal barley in 2017, then corn planting as an interval in summer 2018 and later autumnal barley in 2018. The volume of residues after the harvest period accordingly to above-mentioned years shown in table 3.

Table 3 – Residues volume during the experimental period (kg per ha)

Volume of residues Kg per ha	2016 autumnal	2017 Interval summer planting	2017 autumnal	2018 Interval summer planting	2018 autumnal
	wheat	Bean	Barley	Corn	Barley
	1300	1150	1050	10500	1200

As it shown in the table 3, plant residues applied 1300 kg/ha autumnal wheat area in 2016, 1150 kg/ha in summer interval bean area in 2017, 1050 kg/ha in autumnal barley area in 2017, 10500 kg/ha in summer interval in 2018 and 1200 kg/ha in autumnal barley in 2018.

Thus, it becomes apparent that the amount of humus in the experimental region increased compared to the traditional region in the period of 2016-2018. The amount of humus and organic carbon has been changed 2.17-3.1% (difference 15%) and 1.60-1.80% (difference 12.5%) respectively. The main reason for this is plant residue in experimental area and application of turn plantation and it leads also for preventing of land erosion and salinization, and improves recovering of land fertility.

Initially, it is possible to observe visually the increasing numbers of earthworm, due to remaining of plant residues on sites. Because these residues are breaking down gradually and at the same time the activities of small creatures are improving in soil contents. It will help us to focus on effects of new agricultural systems on land fertility.

Turn planting scheme is very important in the frame of increasing of the productivity and increasing of land fertility in agricultural lands. The scientifically based sequence of plants provides the correct prevention of land erosion, diseases and pests, weed growth, and also helps to increase the nutrient content in the soil. Through the plant residues some part of nutrients of plants are pushing aside, but another part is remaining for soil. By this way, 50% of phosphor and calcium, 60% of nitrogen returning to the soil [3, 2, 5].

Perennial bean plants and wheat seeds plants provides protection of soil from water and wind erosion, as well as improves the soil structure. Thus, it is possible to improve the agrophysical characterization of soil and to increase the land fertility through proper turn planting of ephemeral and perennial wheat plants.

The soil is living creature, which consists of various small creatures and microorganisms. The fertile soil is able to provide plants with air, heat and necessary nutrients for its development and normal growth. The content of the soil is changing constantly, because of interactions between soil and plants. The main locomotive for natural fertility is microorganisms, small creatures, plants and interaction of soil.

At the end of their lives, all small creatures that live in the soil contents gradually decompose and mix with the soil as a result of microbiological processes. At the result, the amount of humus in the content of soil is increasing. Organic and inorganic ingredients combine and shape a new form in the soil. It calls soil fertility. That's why we call soil living creature.

The porosity of the soil is also increasing due to microorganisms' process. This leads to provide soil with wetter. At the result the structure of the soil is increasing. The better structural soil and its fertility always leads to increasing of microorganisms and its diversity of sorts [5, 8, 13].

The plants residue remained on land surface after the harvest period in conservation agricultural system. These residues applied to the soil after the chopping procedure by special chopper machine. The aim for applying residues is only to strengthen activities of microorganisms. Through these microorganisms the compose materials in the content of soil is being increased.

These residues also protect the soil from sun shine, wind and negative impacts of rain, as well as irrigation and wind erosions. Besides of protection, residues also prevent negative impact of weeds growth. During these works it is possible to get stable productivity, increasing soil fertility, as well as the recovering of micro and macro faunas in unplowed lands [4, 5, 12].

Result

This article is about the declining of land erosion and increasing of land fertility through the applying of conservation agricultural system in the central part of the Azerbaijan. As a result of study, it became a clear that, levelling of soil with laser also check-row planting leads to save a water use and prevent a loss of nutrients during the irrigation. At the same time, it also became a clear that the content of the humus also is being increased in the soil because of above-mentioned applying

methods. The amount of humus and organic carbon has been changed 2.17-3.1% (difference 15%) and 1.60-1.80% (difference 12.5%) respectively.

REFERENCES

1. Mammadov, Q.S. (2007). *Fundamentals of Soil Science and Soil Geography*. Баки: "Elm".
2. Mammadova, S.Z., & Jafarov, A.B. (2005). *Fertility classification of soil*. Баку: "Elm".
3. Babayev, A.H. (2005). *Modeling and prediction of fertility of Azerbaijani lands*. Баку.
4. Mustafayev, M.G. (2012). Some problems of saline soil reclamation of Azerbaijan. *Nauchnye issledovaniya v melioracii i vodnom hozjajstve. Sb. nauch. trudov*, 49(1), 106-110.
5. Mammadov, Q.S. (2002). *Land resources of Azerbaijan*. Баку: "Elm".
6. Jafarov, M.İ., Quliyev, R.M., & Safarov, N.A. (2000). *Technology of cultivation and harvesting of agricultural plants*. Баку: "Maarif".
7. Dovban, K.I. (1990). *Zelenoe udobrenie*. Moskva: VO «Agropromizdat». (in Russian)
8. Haruna, S.I., & Nkongolo, N.V. (2015). Effects of tillage, rotation and cover crop on the physical properties of a silt-loam soil. *Int. Agrophys.*, 29, 137-145.
9. Aliyev, C.A. (1964). *Organic matter and fertility of Azerbaijani lands*. Баки: "Azərneshr".
10. Retrieved from: www.fao.org/ag/agp
11. Retrieved from: <https://www.agro.gov.az/az>
12. Retrieved from: <http://eco.gov.az/>
13. Retrieved from: <https://www.aqrar-elm-ve-innovasiya-merkezi>

The article was received 11.12.2019 and was accepted after revision 13.03.2020

Ф.Т. Джафаров, М.Г. Мустафасв

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ ЦЕНТРАЛЬНИХ РЕГІОНІВ АЗЕРБАЙДЖАНУ

Анотація. Глобальне потепління чинить суттєвий негативний вплив на триваючу деградацію ґрунтів. Підвищення температури повітря, яке все частіше спостерігається останніми роками, разом зі зменшенням опадів і збільшенням випаровування призвели до опустелювання і деградації ґрунтів. Проблема опустелювання дуже актуальна для Азербайджану, для території якого взагалі характерний сухий клімат. Погіршення потенційних і ефективних показників родючості ґрунтів в центральних регіонах Азербайджану перетворилося в тривалий, практично незворотний процес. Спостережуване зниження кількості гумусу, який є вагомим показником родючості, являє собою дуже серйозне попередження, яке слід розцінювати як екологічну кризу або деградацію ґрунту.

З метою захисту родючості ґрунтів можливе застосування комплексу меліоративних і агроеліоративних заходів. Разом з тим збереження родючості ґрунтів також можливо шляхом використання нових технологій, а саме консервативного сільського господарства – КСГ. Система консервативного сільського господарства – це технологія, яка використовується при вирощуванні польових рослин з повною або частковою відсутністю оброблення ґрунту, за умови збереження на поверхні ґрунту мінімум 30% залишків попередніх культур.

Система консервативного сільського господарства є не тільки технічним методом, а й має декілька різновидів підходу. У консервативному сільському господарстві в основному використовуються такі технології:

- Вирівнювання поверхні ґрунту лазерною бороною.
- Збереження на ділянці рослинних залишків.
- Зниження до мінімуму розорювання земель (мінімальна культивация) або зведення розорювання до нуля.
- Застосування системи посіву рядами, що чергуються.

Такий посів також називають безпахотним або безпосереднім посівом. Крім того, в якості добрива ґрунту необхідно застосовувати рослинний перегній (мульчування) і особливо поєднувати його з посівом рядами, що чергуються.

Ключові слова: родючість ґрунтів; консервативне сільське господарство; рослинні залишки; засолення; ерозія ґрунту; гумус; вирівнювання поверхні ґрунту

Джафаров Фазіль Татархан огли

доктор, старший викладач, Азербайджанський Державний Педагогічний Університет, Баку, Азербайджан

e-mail: faziljafarov@yahoo.com

Мустафасв Мустафа Гілман огли

доктор аграрних наук, доцент Інституту ґрунтознавства та агрохімії Національної академії наук Азербайджану

Адреса робоча: AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. М. Рагіма, 5

e-mail: meliorasiya58@mail.ru

ORCID ID 0000-0003-2071-3078

УДК 504.054:614.843.8

Sergii S. Poroshenko, student
e-mail: ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

THE ANALYSIS OF METHODS OF INVESTIGATION OF NEGATIVE IMPACT ON MESOFAUNA AND MICROBIOLOGY OF SOILS OF CONTAMINATED SOLUTIONS FOR FOAM MAKERS

Abstract. Nowadays the problem of fires is becoming more widespread and global in scale. According to statistics published by the Ukrainian Research Institute of Civil Protection obtained as a result of analysis of the fire registration cards of the SES of Ukraine – for 11 months of 2019 the number of fires in Ukraine increased by 23.1% compared to the same period last year. The most common extinguishing agent being used by fire and rescue units today is a foam. The main component of different foaming agents are surfactants. Their excessive emission into the environment leads to pollution of the surrounding areas. The constant increasing of the land areas affected by the effects of firefighting influence both the state of the environment in the region as a whole and the level of soil fertility. Microbiological indicators and the content of harmful substances in crops are increasing and thus the negative impact on public health grows. The analysis of microbiological monitoring methods with the aim of the contaminated solutions foam makers impact on the nearby territories' soils estimation has been carried out. The pros and cons of modern physical and chemical methods of soils quality estimation have been defined. The necessity of microbiological methods usage which allow to get full and sufficient information not only about the pollution volume, but also to rate the results of such pollution has been justified. It is determined that in order to obtain the most complete and objective information about the microbiological condition of soils contaminated with foaming agents for fire extinguishing, a complex of bioindication methods should be used. It should include a growth test and a chromosome aberration test, with the use of test organisms that are most sensitive to the chemical composition of the test solution for firefighting.

Key words: foaming solutions; surfactants; environmental assessment; microbiological of soils monitoring; phytotoxicity

С.С. Порошенко

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА МЕЗОФАУНУ ТА МІКРОБІОЛОГІЮ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ РОЗЧИНАМИ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

Анотація. На сьогоднішній день проблема виникнення пожеж стає все більш поширеною та глобальною за своїми масштабами. Відповідно до оприлюднених Українським науково-дослідним інститутом цивільного захисту статистичних даних, отриманих в результаті проведення аналізу масиву карток обліку пожеж ДСНС України, за 11 місяців 2019 року кількість пожеж в Україні зросла на 23.1% порівняно з аналогічним періодом попереднього року.

© С.С. Порошенко, 2020

Найпоширенішою вогнегасною речовиною у використанні пожежно-рятувальних підрозділів на сьогоднішній день залишається піна. Головним компонентом піноутворювачів різних категорій є поверхнево-активні речовини, потрапляння яких у надмірних концентраціях в навколишнє середовище призводить до забруднення прилеглих територій. Постійне збільшення площ земель, уражених наслідками пожежогасіння, впливає як на стан навколишнього середовища регіону загалом, так і на рівень родючості ґрунтів. Збільшуються мікробіологічні показники та вміст шкідливих речовин в сільськогосподарських культурах, а відтак і негативний вплив на здоров'я населення. На даному етапі спостереження і контроль за станом ґрунтів проводяться, як правило, лише за допомогою фізико-хімічних аналізів, які визначають вміст окремих забруднювачів. Однак ці аналізи не дають змогу оцінити вплив забруднювачів на живі організми, в тому числі людину. На сьогодні альтернативними при дослідженні стану ґрунтів, уражених пожежними піноутворювачами, є методи мікробіологічного моніторингу. Проведено аналіз методів мікробіологічного моніторингу з метою оцінки впливу розчинів піноутворювачів для гасіння пожеж на стан ґрунтів прилеглих територій. Визначено переваги та недоліки сучасних фізико-хімічних методів оцінки якості ґрунтів. Обґрунтовано необхідність застосування методів мікробіологічного моніторингу, які дають змогу отримати повну та достатню інформацію не лише про об'єми забруднення, а й оцінити результати впливу такого забруднення. Визначено, що для отримання найбільш повної та об'єктивної інформації про мікробіологічний стан ґрунтів, забруднених розчинами піноутворювачів для гасіння пожеж, слід застосовувати комплекс біоіндикаційних методів оцінки шкідливості, який повинен включати ростовий тест та тест «Аберантність хромосом», при цьому обов'язковим є використання комплексу тест-організмів, найбільш чутливих до хімічного складу досліджуваного розчину для пожежогасіння.

Ключові слова: розчини піноутворювачів; поверхнево-активні речовини; екологічна оцінка; мікробіологічний моніторинг ґрунтів; фітотоксичність

Постановка проблеми

На сьогоднішній день проблема виникнення пожеж стає все більш поширеною та глобальною за своїми масштабами. Відповідно до оприлюднених Українським науково-дослідним інститутом цивільного захисту статистичних даних, отриманих в результаті проведення аналізу масиву карток обліку пожеж ДСНС України, за 11 місяців 2019 року кількість пожеж в Україні зросла на 23.1% порівняно з аналогічним періодом попереднього року [1]. Найбільш ефективним способом локалізації та гасіння пожеж на початкових стадіях визнано метод ізоляції, при якому застосовуються різноманітні вогнегасні речовини ізолюючої дії. Найпоширенішою вогнегасною речовиною у використанні пожежно-рятувальних підрозділів на сьогоднішній день залишається піна [2].

Розчином піноутворювача для гасіння пожеж називають речовину, що в результаті змішування з водою утворює певний робочий розчин, який генерує піну, та змочувальний розчин. Головним компонентом піноутворювачів різних категорій є поверхнево-активні речовини (ПАР), потрапляння яких у надмірних концентраціях в навколишнє середовище призводить до забруднення прилеглих територій [3].

Особливої уваги потребує все ж проблема забруднення ґрунтів піноутворювальними засобами гасіння пожеж, оскільки постійне збільшення площ земель, уражених наслідками пожежогасіння, впливає як на стан навколишнього середовища регіону загалом, так і на рівень родючості ґрунтів, їх мікробіологічні показники та вміст шкідливих речовин в сільськогосподарських культурах, що вирощуються на них, а відтак і на здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням визначення оцінки забруднення ґрунтів антропогенними забрудниками займалось багато провідних вчених, серед них Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р., Горбань Н.С., Козловська О.В., Горова А.І., Губачов О.І., Маячкіна Н.В., Чугунова М.В. та інші.

Проте слід зазначити, що в сучасній літературі немає універсального методу, який би визначав екологічний стан ґрунтів, забруднених наслідками пожежогасіння, і тому питання дослідження екологічної безпеки даних територій потребують подальших наукових розробок.

Виділення невирішених раніше частин проблеми

На даному етапі спостереження і контроль за станом ґрунтів проводиться, як правило, лише за допомогою фізико-хімічних аналізів, які визначають вміст окремих забруднювачів. Переваги та недоліки основних сучасних фізико-хімічних методів оцінки якості ґрунтів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки сучасних фізико-хімічних методів оцінки якості ґрунтів

Назва методу	Переваги	Недоліки
Гравіметричний метод	<ul style="list-style-type: none"> - Висока точність; - Абсолютний метод, не потребує порівняння отриманого результату з еталонами. 	<ul style="list-style-type: none"> - Довготривалість дослідження; - Можливість визначення лише деяких хімічних компонентів.
Потенціометричний метод	<ul style="list-style-type: none"> - Можливість проведення аналізу в польових умовах; - Метод є неструктурним, тобто аналізуюча проба в ході аналізу не витрачається і не змінює свої властивості; - Висока відтворюваність методу. 	<ul style="list-style-type: none"> - Довготривалість дослідження, включаючи складну підготовку проб ґрунту; - Можливість визначення лише деяких хімічних компонентів; - Потреба у кваліфікованих спеціалістах; - Високі матеріальні затрати.
Оптичний метод	<ul style="list-style-type: none"> - Висока точність; - Висока відтворюваність методу. 	<ul style="list-style-type: none"> - Довготривалість дослідження, включаючи складну підготовку проб ґрунту; - Можливість дослідження вмісту лише попередньо визначених хімічних компонентів; - Потреба у висококваліфікованих спеціалістах.

Продовження таблиці 1

Назва методу	Переваги	Недоліки
Молекулярно-абсорбційна спектроскопія	<ul style="list-style-type: none"> - Висока точність; - Висока відтворюваність методу. 	<ul style="list-style-type: none"> - Високі матеріальні затрати; - Довготривалість дослідження; - Можливість дослідження вмісту лише попередньо визначених хімічних компонентів; - Потреба у висококваліфікованих спеціалістах; - Потреба великої кількості хімічних реактивів.
Полум'яно-емісійна спектрометрія	<ul style="list-style-type: none"> - Прості та дешеві прилади; - Висока чутливість визначення лужних елементів. 	<ul style="list-style-type: none"> - Довготривалість дослідження; - Значне накладання один на одну сусідніх ліній спектру різних хімічних елементів, що призводить до не завжди високої точності та селективності аналізу; - Визначається тільки вміст лужних елементів.

Джерела: [4-6]

Однак ці аналізи не дають змогу оцінити вплив забруднювачів на живі організми, в тому числі людину [7]. Сьогодні альтернативними при дослідженні стану ґрунтів, уражених пожежними піноутворювачами, є методи мікробіологічного моніторингу.

Мета роботи – проведення аналізу методів мікробіологічного моніторингу з метою оцінки впливу розчинів піноутворювачів на мезофауну та мікробіологію уражених ґрунтів.

Виклад основного матеріалу

Методи мікробіологічної оцінки здатні давати достовірну інформацію про якість ґрунтів досліджуваних територій. Суть таких методів полягає у визначенні впливу дослідних речовин на спеціально обрані тест-організми в природних умовах з фіксацією різних тест-реакцій (поведінкових, фізіологічних чи біохімічних). Тест-реакцію, або тест-функцію, визначають як закономірно виникаючу реакцію відповіді тест-системи на дію комплексу зовнішніх факторів [8, 9].

Наявні в розчинах піноутворювачів для пожежогасіння ПАР можуть здійснювати істотний вплив на рослинні клітини, їх фізіолого-біохімічні процеси, хімічний склад, що може призвести до зниження продуктивності та порушення мікробіологічного стану ґрунтів [10-12].

Мікробіота ґрунтів – це складна відкрита біологічна система з ієрархічною структурою організації. Для кожного ієрархічного рівня існують чутливі біодіагностичні показники. Існує декілька різних методик проведення мікробіологічної оцінки ґрунтів. Кожна з цих методик має свої переваги, недоліки та обмеження (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики методів мікробіологічного дослідження ґрунтів

Назва методу	Ієрархічний рівень	Опис методу	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
Ростовий тест (методика Берестецького О.А.)	Популяційний	Проби ґрунту вагою 50 г поміщають в чашки Петрі, вирівнюють поверхню та наносять на неї шар сухого піску товщиною 0,5 см, після чого зволожують однаковим (10 мл) об'ємом дистильованої води. Чашки закривають і витримують одну добу за кімнатної температури для дифундування токсичних речовин у пісок, після чого висівають насіння. Вологість субстратів має бути в межах 70-80%. Контролем слугує пісок, зволожений до 70-80% від повної вологості. Насіння пророщують при 23-25°C в темряві протягом 7 діб. Тест-параметрами є схожість насіння та параметри проростків. На основі отриманих результатів розраховують фітотоксичний ефект та роблять висновки про токсичність ґрунту.	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість оцінити реакцію живих організмів на присутні поллютанти; Доступність проведення експериментів (не потрібні спеціальні лабораторії і висока кваліфікація персоналу); • Невеликі затрати праці; • Відносна дешевизна. 	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідність великої кількості повторювань для розрахунку більш точного фітотоксичного ефекту; • Досліджується рівень організації організмів, що має відносно невисоку чутливість і точність, порівняно з дослідженнями на клітинному рівні.
Ростовий тест (методика Горової А.І.)	Популяційний	Просушені зразки ґрунту просіюють через сито з маленькими отворами. Біотестування проводять в чашках Петрі, на фільтрувальний папір поміщають 1 г ґрунту та 30 штук насіння тест-культури. Ґрунт і насіння розподіляють по площині чашки Петрі, заливають 5-7 мл вистояної кип'яченої води. Для кожної точки відбору роблять три повтори. Через 96 годин проводять виміри довжини кореневої системи, стебла, визначають вологу та суху масу проростків. Обробка отриманих даних проводиться методом дисперсійного аналізу та визначається фітотоксичний ефект ґрунту.	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість оцінити реакцію живих організмів на присутні поллютанти; • Доступність проведення експериментів (не потрібні спеціальні лабораторії і висока кваліфікація персоналу); • Невеликі затрати праці; • Відносна дешевизна. 	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідність великої кількості повторювань для розрахунку більш точного фітотоксичного ефекту; • Досліджується рівень організації організмів, що має відносно невисоку чутливість і точність, порівняно з дослідженнями на клітинному рівні.

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
<p>Оцінка стану ґрунтів за зміною видового біорізноманіття безхребетних тварин</p>	<p>Популяційний</p>	<p>Розміри обраної пробної ділянки залежать від ступеня зволоженості ґрунту (найчастіше 0,5x 0,5 м). Відстань між розкопками 5-10 м. Глибина розкопок – 30-50 см. Розкопки проводять наступним чином: визначають розміри майданчика, забивають по кутах кілочки, натягують між ними мотузку. Поруч з майданчиком поміщають спеціальну тканину або плівку, на яку викладають вибраний з розкопки ґрунт. Перед початком з майданчика потрібно зняти опади та інші рослинні залишки, які ретельно вручну перебирають, враховуючи всіх знайдених при цьому тварин, а траву вищипують для того, щоб полегшити розбірку ґрунту з верхнього шару. Тварин, знайдених на поверхні ґрунту, враховують окремо від тих, яких вибирають безпосередньо з нього. За отриманими даними розраховується показник Сімпсона, відносний показник видового біорізноманіття та робиться висновок про екологічний стан досліджуваного ґрунту.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Матеріальна економічність; • Доступність проведення експериментів. 	<ul style="list-style-type: none"> • Висока трудоемкість, використання методу призводить до порушення ґрунтового покриву; • Недоцільно для вивчення сезонного коливання складу ґрунтової мезофауни; • При розкопках рухливі види фауни реагують на порушення та швидко зникають в інше місце (збільшення помилки результатів дослідження).
<p>Токсичність водних витяжок ґрунтів</p>	<p>Популяційний</p>	<p>Для приготування водної витяжки необхідно 100 г повітряно-сухої проби ґрунту зважити і з використанням лійки перенести ґрунт у склянку об'ємом 750-1000 мл, потім додати 500 мл дистильованої води. Склянку закрити корком і добре перемішувати протягом 5 хв. щоб водорозчинні солі та органічні речовини перейшли у розчин або утворили суспензію. Отриманий розчин профільтрувати крізь складчастий фільтр у суху колбу. Фільтрують обережно, переливаючи</p>	<p>Дистильована вода, по суті, імітує дію на ґрунт атмосферних опадів, отже, певною мірою відтворюється природна ситуація;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Метод можна застосовувати на будь-яких ґрунтах і не вимагає спеціальної підготовки ґрунту; • Водну витяжку можна отримати навіть з ґрунтів, що мають польову вологість. 	<ul style="list-style-type: none"> • Порівняно низька достовірність визначення токсичності ґрунтів (деякі забрудники нерозчинні у воді); • Відносно високі матеріальні затрати; • Додаткова витрата часу для приготування витяжки.

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
		<p>розчин на фільтр по скляній палиці. Фільтрувати необхідно до моменту, коли фільтрат стане цілком прозорий. Після фільтрації всього розчину, отримують необхідну водну витяжку. Далі для визначення токсичності використовують тест-об'єкти <i>Daphnia magna</i>. У дослідну та контрольну посудини вміщують по 10 тест-об'єктів віком до 24 годин. Результати фіксують через 1, 2, 24 і 48 годин. Методика визначення токсичності ґрунтів за допомогою водної витяжки ґрунтується на встановленні різниці між кількістю загиблих дафній у пробах, що тестувались, та у контролі.</p>		
<p>Тест «Аберантність хромосом»</p>	<p>Клітинний</p>	<p>В чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, на який насилають 1 г ґрунту і рівномірно розподіляють по чашці. Далі ґрунт зволожують 5 мл дистильованої води і на нього висаджують по 50 насінин індикаторної рослини. При появі корінців довжиною 7-9 мм, їх фіксують в ацетоалкоголі протягом 1 год, а потім переносять у етанол 70⁰ концентрації для зберігання. Фіксатор готують змішуванням 96⁰ етилового спирту і оцтової кислоти. Корінці фарбують реактивом Шиффа за Фельгеном з попереднім гідролізом у розчині 0,1 н соляної кислоти при температурі 60⁰С. Пофарбовані корінці зберігають у етиловому спирті. Цитологічні препарати готують із 1 мм кінчиків корінців, поміщених у краплю 45% оцтової кислоти. Препарат накривають накривним склом, краї заливають розплавленим</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Досліджується рівень організації клітини, що дозволяє забезпечити високу точність і чутливість до поллютантів (дозволяє визначити навіть незначні концентрації поллютантів); • Швидкість проведення. 	<ul style="list-style-type: none"> • Потреба у спеціально навчених спеціалістах; • Необхідність лабораторії обладнання; та • Матеріальні витрати.

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
		парафіном. Препарат використовують для мікроскопічного аналізу на мікроскопі («Біолам» Р-14) зі збільшенням 15х60. На основі досліджених даних знаходять мітотичний індекс, загальну аберантність хромосом та визначають середній інтегральний умовний показник ушкодженості ґрунту.		
Діагностика ґрунтів за ферментативною активністю (за методичними розробками Лисак Л.В.)	Позаклітинний	ґрунт насичують антисептиком (толуолом), додають буферний розчин із визначеним рН і певну кількість субстрату. Реакційну суміш витримують в термостаті і після цього проводять кількісний облік продуктів реакції. Активність ферментів виражають в кількостях переробленого субстрату або утвореного продукту реакції протягом визначеного проміжку часу і розраховують на одиницю маси ґрунту. Для корегування результатів ставлять наступні контролю: 1) ґрунт, стерилізований сухим жаром при 180 ⁰ С протягом 3 год; 2) нестерильний ґрунт без субстрату (Н ₂ О); 3) субстрат без ґрунту з усіма реактивами.	<ul style="list-style-type: none"> • Дослідження активності ґрунтових ферментів відображає проходження біохімічних процесів у едафотопі та є одним із інтегральних показників його біотичної активності. 	<ul style="list-style-type: none"> • Потреба у кваліфікованих спеціалістах; • Необхідність лабораторії та обладнання; • Матеріальні затрати.

Джерела: [13-19].

Проведений аналіз наведених методик мікробіологічного дослідження стану ґрунтів свідчить про те, що найбільш доступним методом є ростовий тест, який дає змогу відносно швидко та без особливих грошових витрат визначити фітотоксичний ефект ґрунту. Це є великою перевагою, що дає змогу систематичного проведення моніторингу стану ґрунтів, уражених внаслідок пожежогасіння піноутворюючими розчинами.

З іншого боку, найбільш точним методом є тест «Аберантність хромосом», який проводиться на клітинному рівні, що дозволяє забезпечити високу точність і визначити навіть незначні перевищення концентрацій поллютантів. Це є дуже важливою характеристикою при дослідженнях впливу розчинів піноутворювачів для гасіння пожеж на ґрунти, оскільки зазвичай території виникнення пожеж використовуються населенням для ведення господарської діяльності.

Враховуючи вищенаведене, для оцінки токсичності ґрунтів, забруднених розчинами піноутворювачів для гасіння пожеж, запропоновано використовувати ростовий тест в комплексі з тестом «Аберантність хромосом». При цьому, для отримання більш точної і об'єктивної оцінки, варто застосовувати декілька різних тест-об'єктів. Запропонований комплексний підхід дасть змогу визначати мікробіологічний стан ґрунтів, ступінь токсичного впливу на родючість ґрунтів, прилеглих до територій, що піддавалися забрудненню хімічними компонентами в складі розчинів для пожежогасіння, та ступінь впливу даних забрудників на мезофауну ґрунтів.

Висновки та пропозиції

Визначено, що для отримання найбільш повної та об'єктивної інформації про мікробіологічний стан ґрунтів, забруднених розчинами піноутворювачів для гасіння пожеж, слід застосовувати комплекс біоіндикаційних методів оцінки шкідливості, який повинен включати ростовий тест та тест «Аберантність хромосом», при цьому обов'язковим є використання комплексу тест-організмів, найбільш чутливих до хімічного складу досліджуваного розчину для пожежогасіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрНДІЦЗ). Статистика пожеж, 2019. URL: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZHEZH.html>.
2. Лісняк А.А., Тригуб В.В., Сенчихін Ю.М., Сировой В.В. Звіт про науково-дослідну роботу написання та підготовка до друку навчального посібника "Пожежна тактика", 2016. URL: https://www.dsns.gov.ua/files/2017/4/25/zvit_ospita_i_nauka/7_Pohezhna%20taktika.pdf.
3. Боровиков В. Проблемні питання застосування піноутворювачів для гасіння пожеж. *Бизнес и безопасность*. 2003. №4. С. 75–78.
4. Громовик А.И. Современные инструментальные методы в почвоведении. Теория и практика. Воронеж, 2010. 60 с.
5. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р., Горбань Н.С., Коробкова Г.В., Полозенцева В.О., Козловська О.В., Мацак А.О., Савічев А.А. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. Харків, 2015. 419 с.
6. Мороз О.А. Фізико-хімічні методи аналізу ґрунтів. *Студентський вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2015. №2. С. 54–57.
7. Горова А. Оцінка токсичності ґрунтів Червоноградського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту. *Вісник Львівського університету*. 2008. №48. С. 189–194.
8. Миленька М.М. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану Бурштинської урбоєкосистеми : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.16, Дніпропетровськ, 2009. 16 с.
9. Бубнов А.Г., Буймова С.А., Гушин А.А., Извекова Т.В. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды. Иваново, 2007. 112 с.
10. Азарова С.В. Опыт применения методов биотестирования для оценки токсичности отходов горнодобывающих предприятий. *IX Международная биогеохимическая школа*. 2011. С. 36–39.

11. Мазницька В.О., Труш В. Є., Новохатько О. В., Красковська М. А. Біотестування гірничої маси з відвалів Малокохнівського кар'єру. *Наукові технології*. 2013. №1. С. 127–130.
12. Азарова С.В. Отходы предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов республики Хакасия) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол.-мін. наук : 25.00.36, Томск, 2005. 21 с.
13. Бешлей З.М., Бешлей С. В., Баранов В. І., Терек О. І. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2014. №1. С. 97–102.
14. Губачов О.І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Науковий вісник КУЕИТУ*. 2010. С. 164–171.
15. Гонгальский К.Б. Почвенные беспозвоночные как биоиндикаторы промышленного воздействия в лесных экосистемах центра европейской России : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.16, Москва, 2004. 18 с.
16. Пінчук М.О. Дослідження ґрунту. *Національний еколого-натуралістичний центр учнівської молоді*. 2018. С. 32.
17. Горова А.І., Риженко С.А., Скворцова Т.В. Методичні рекомендації «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів». Донецьк, 2007. 25 с.
18. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Москва, 2007. 288 с.
19. Левик В.І. Ферментативна активність ґрунтів техногенних територій Немирівського родовища сірки. *Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди*. 2009. №11. С. 131–136.

Стаття надійшла до редакції 23.01.2020 і прийнята до друку після рецензування 02.04.2020

REFERENCES

1. Ukrainian Civil Protection Research Institute (2019). Statystyka pozhezh. Retrieved from <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/STATISTIKA-POZHEZH.html>.
2. Lisniak, A.A., Tryhub, V.V., Senchykhin, Yu.M., & Syrovoi, V.V. (2016). Zvit pro naukovo-doslidnu robotu napysannia ta pidhotovka do druku navchalnoho posibnyka "Pozhezhna taktyka". Retrieved from https://www.dsns.gov.ua/files/2017/4/25/zvit_osvita_i_nauka/7_Pozhezhna%20taktyka.pdf.
3. Borovykov, V. (2003). Problemni pytannia zastosuvannia pinoutvoriuvachiv dlia hasinnia pozhezh. [Problematic issues of application of foaming agents for fire fighting]. *Byznes y bezopasnost*, 4, 75-78.
4. Hromovyk, A.Y. (2010). *Sovremennie instrumentalnie metody v pochvovedenyy. Teoriya y praktyka. [Modern instrumental methods in soil science. Theory and practice]*. Voronezh.
5. Vasenko, O.H., Rybalova, O.V., Artemiev, S.R., Horban, N.S., Korobkova, H.V., Polozentsieva, V.O., Kozlovska, O.V., Matsak, A.O., & Savichiev, A.A. (2015). *Intehralni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha: monohrafiia. [Integral and complex environmental assessments: a monograph]*. Kharkiv.
6. Moroz, O.A. (2015). Fyzyko-khimichni metody analizu hruntiv. [Physico-chemical methods of soil analysis]. *Studentskyi visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, 1, 54-57.
7. Horova, A. (2008). Otsinka toksychnosti hruntiv Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu za dopomohoiu rostovoho testu. [Soil toxicity assessment of Chervonohrad mining district with the help of growth test.] *Visnyk Lvivskoho universytetu*, 48, 189-194.

8. Mylenka, M.M. (2009). Bioindykatsiina otsinka ekolohichnoho stanu Burshtynskoi urboekosystemy. [Bio-indication estimation of Burshtyn urban ecosystem]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Dnipropetrovsk.
9. Bubnov, A.H., Buimova, S.A., Hushchyn, A.A., & Yzvekova, T.V. (2007). Byotestovi analiz – intehralnyi metod otsenky kachestva obektov okruzhaiushchei srody. [Biotest analysis is an integral method of assessing the quality of environmental objects]. Ivanovo.
10. Azarova, S.V. (2011). Opyt pryomeneniya metodov byotestyrovaniya dlia otsenky toksychnosti otkhodov hornodobyvaiushchykh predpriyatiy. [Experience in applying biotesting methods to assess waste toxicity of mining enterprises]. In *IX Mezhdunarodnaia byoekhymycheskaia shkola*. p. 36-39.
11. Maznytska, V.O., Trush, V.Ye., Novokhatko, O.V., & Kraskovska, M.A. (2013). Biotestuvannia hirnychoi masy z vidvaliv Malokokhnyvskoho kariery [Biotesting of rock mass from the piles of the Malokokhnyvskiy quarry]. *Naukovi tekhnolohii*, 1, 127-130.
12. Azarova, S.V. (2005). Otkhody predpriyatiy y kompleksnaia otsenka ih opasnosti dlia okruzhaiushchei srody (na prymerе ob'ektov respublyky Khakasya). [Waste of enterprises and complex assessment of their danger to the environment (on the example of objects of the Republic of Khakassia)]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Tomsk.
13. Beshlei, Z.M., Beshlei, S.V., Baranov, V.I., & Terek, O.I. (2014). Vykorystannia roslynnykh test-system dlia otsinky toksychnosti tekhnogenno zabrudnenykh substrativ. [The use of plant test systems to evaluate the toxicity of technogenically contaminated substrates]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 1, 97-102.
14. Hubachov, O.I. (2010). Osoblyvosti vykorystannia roslyn dlia biotestuvannia hruntiv z metoiu vyznachennia rivnia ekolohichnoi bezpeky promyslovykh terytorii. [Features of using plants for soil biotesting to determine the level of environmental safety of industrial areas]. *Naukovyi visnyk KUEITU*, 164-171.
15. Honhalskiy, K.B. (2004). Pochvennye bezpozvonochnye kak byoindykatori promishlennogo vozdeistviya v lesnykh ekosystemakh tsentra evropeiskoi Rossyy. [Soil invertebrates as bioindicators of industrial impact in forest ecosystems of the center of European Russia]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva.
16. Pinchuk, M.O. (2018). Doslidzhennia hruntu. [Soil research]. *Natsionalnyi ekoloho-naturalistychnyi tsentr uchnivskoi molodi*, p. 32.
17. Horova, A.I., Ryzhenko, S.A., & Skvortsova, T.V. (2007). *Metodychni rekomendatsii «Obstezhennia ta raionuvannia terytorii za stupenem vplyvu antropohennykh chynnykiv na stan ob'ektiv dovkillia z vykorystanniam tsytohenetychnykh metodiv»*. [Methodological recommendations "Survey and zoning of the territory by the degree of influence of anthropogenic factors on the state of environmental objects using cytogenetic methods"]. Donetsk.
18. Melekhova, O.P., Ehorova, E.Y., & Evseeva, T.Y. (2007). *Byolohycheskyi kontrol okruzhaiushej srody: byoindykatsiya y byotestyrovanye*. [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. Moskva.
19. Levyk, V.I. (2009). Fermentativna aktyvnist hruntiv tekhnogenykh terytorii Nemyrivskoho rodovyshcha sirky. [Enzymatic activity of soils of the technogenic territories of the Nemyriv sulfur field]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni H.S. Skovorody*, 11, 131-136.

The article was received 23.01.2020 and was accepted after revision 02.04.2020

Порошенко Сергій Сергійович

Студент 6-го курсу, ЕКМ-613, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Адреса робоча: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

e-mail: ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

УДК 049.3:574.4:581.526

Sergii I. Azarov¹, D. S. (Engineering), Senior research associate
ORCID ID 0000-0002-9951-8867 *e-mail*: azarov@kinr.kiev.ua

Oleksii S. Zadunaj², PhD, Head of the center
ORCID ID 0000-0001-8589-1604 *e-mail*: a.zadunaj@gmail.com

¹ Institute for Nuclear Research of NASU, Kyiv, Ukraine

² State Research Institute of Cybersecurity Technologies and Information Protection, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE EVALUATION OF ECOSYSTEM SUSTAINABILITY

Summary. *Stability is a fundamental quality of natural ecosystems. Ecosystem stability is one of the most significant indicators of the state of the environment. It represents the ability of the ecosystem in general and its components to successfully withstand negative externalities while maintaining not only its structure but also its functions. It can be considered as the invariance of a particular state of the ecosystem, as well as the ability to transition to any other state at present (static stability) and continuity of ecosystem development (dynamic stability). The notion of stability is closely related to the ability of an ecosystem to return to equilibrium after the termination of external influences that have brought it out of equilibrium and to the notion of stability. Stability does not always mean the ability to maintain an equilibrium ecosystem, although initially the phenomenon of stability was treated as such. It is well known that biological systems are characterized by a homeostasis and their stability is to maintain certain state parameters within a certain constant level. The principle in the transition from consideration of the technical system to the consideration of the ecosystem is that in the last deviation of the real development trajectories from the trajectory of the purpose occur by chance, and it is impossible to obtain accurate information about these deviations. And if the stability of a technical system can be asserted clearly by analyzing the differential equations that characterize the behavior of the system, then, for the most part, it is impossible to make the differential equations of ecosystem functioning. Therefore, conclusions about the stability or instability of an ecosystem can only be made with some probability. The article discusses methodological approaches to the determination of ecosystem stability. It is determined that today there is no agreed terminological unity on this issue. It is emphasized that the stability of ecosystems is largely determined by the level of development balance of its components – ecological subsystems. It has been found that in order to assess the status of ecosystems, it is necessary to select a stability indicator for evaluating.*

Keywords: *ecosystem; trajectory; attractor; stability ecosystems; balance; self-organization; external influences*

С.І. Азаров¹, О.С. Задунай²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

² Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ

***Анотація.** Стійкість є фундаментальною властивістю природних екосистем. Стійкість екосистеми – один з найбільш значущих показників стану навколишнього середовища. Вона являє собою здатність екосистеми в цілому та її складових частин успішно протистояти негативним зовнішнім чинникам, зберігаючи при цьому не тільки свою структуру, але й свої функції. Її можна розглядати як незмінність певного стану екосистеми, так і як здатність переходу до будь-яких інших станів у даний час (статична стійкість) і неперервність розвитку екосистеми (динамічна стійкість). Поняття стійкості тісно пов'язане із здатністю екосистеми повертатися в стан рівноваги після припинення зовнішніх впливів, які вивели її зі стану рівноваги, а також з поняттям стабільності. Стійкість не завжди означає здатність підтримки екосистемою рівноважного стану, хоча спочатку явище стійкості трактували саме так. Загальновідомо, що для біологічних систем характерне явище гомеостазу і їхня стійкість полягає в підтримці певних параметрів стану в межах деякого постійного рівня. Принциповим у переході від розгляду технічної системи до розгляду екосистеми є те, що в останньої відхилення реальних траєкторій розвитку від траєкторії мети відбуваються випадково і отримати точну інформацію про ці відхилення неможливо. І якщо про стійкість технічної системи можна стверджувати однозначно, аналізуючи диференціальні рівняння, що характеризують поведінку системи, то здебільшого скласти диференціальні рівняння функціонування екосистеми неможливо. Тому висновки про стійкість або нестійкість екосистеми можна робити тільки з певною імовірністю. В статті розглянуто методичні підходи до визначення стійкості екосистем. Визначено, що на сьогодні немає узгодженої термінологічної єдності в цьому питанні. Наголошується, що стійкість екосистем значною мірою визначається рівнем збалансованості розвитку її складових – екологічних підсистем. З'ясовано, що для виконання оцінки стану екосистем необхідно обрати показник стійкості, за яким і буде проводитися оцінка.*

***Ключові слова:** екосистема; траєкторія; атрактор; стійкість екосистем; рівновага; самоорганізація; зовнішні впливи*

Вступ

Проблема стійкості є однією з ключових у всіх галузях науки і техніки. Теорія стійкості встановлює ознаки, за якими можна визначити, буде рух стійким чи не буде. Цими питаннями займалися багато видатних математиків та механіків: Ж.-Л. Лагранж, Пуассон, Ляпунов та інші [1–3]. Але вони розглядали лише частинні випадки рухів і для розв'язання задач застосовували нестрогі методи. В наукових публікаціях стійкість різних систем розглядається як здатність зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі при зміні умов зовнішнього середовища.

Аналіз методів стійкості руху та їх практичне застосування

Уперше задачу про стійкість руху небесних тіл поставив Ж. Лагранж [1]. Він заклав основи теорії малих (лінійних) коливань, звівши деякі задачі теорії малих коливань до лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами. Ж. Лагранж вивів з диференціальних рівнянь вікових збурень інтегральне співвідношення, в якому деяка додатна квадратична функція збурень ексцентриситету й довготи перигелію залишається незмінною. Він довів також теорему про стійкість ізольованого положення рівноваги матеріальної системи, коли силова функція діючих на систему сил має максимум, сформулював теорему про стійкість стану рівноваги консервативної системи, яка відповідає мінімуму потенціальної енергії.

Стійкістю або нестійкістю характеризуються не тільки стани рівноваги, але будь-які фазові траєкторії. Стійкість руху по Пуассону припускає, що відповідна фазова траєкторія при $t \rightarrow \infty$ не покидає обмеженої області фазового простору [2]. Перебуваючи в цій області нескінченно довго, вона неминуче буде повертатися в як завгодно малу околицю початкової точки. Часи повернення можуть відповідати періоду або квазіперіоду при регулярному русі, а можуть являти собою випадкову послідовність, якщо рішення відповідає режиму динамічного хаосу. Іншими словами: стаціонарний стан називається стійким, якщо малі відхилення не виводять систему занадто далеко з околиці цього стаціонарного стану. Стаціонарний стан називається асимптотично стійким, якщо малі відхилення від нього з часом загасають. Стаціонарний стан називається нестійким, якщо малі відхилення з часом збільшуються. Сталий стаціонарний стан являє собою найпростіший тип атратора. Крім цього, часто використовують менш суворий критерій, розуміючи стійкість як обмеженість рішення зверху і знизу, тобто стійкість по Лагранжу. Точка x_0 , а також вихідна з неї фазова траєкторія $x(t)$ називаються стійкими за Лагранжем, якщо стан $x(t)$ завжди, при всіх $t > 0$ залишається в деякій обмеженій області фазового простору. Інакше кажучи, існує така константа R , що для всіх $t > 0$ маємо $\|x(t)\| < R$.

Запис $\|x(t)\|$ буде позначати, як правило, звичайну евклідову норму:

$$\|x(t)\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}, \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_N – компоненти вектора x .

Точка фазового простору – γ називається ω -граничною точкою фазової траєкторії $x(t)$, якщо можна вказати таку послідовність моментів часу $t_k \rightarrow +\infty$, що $\lim_{k \rightarrow +\infty} x(t_k) = \gamma$.

Аналогічно, точка z називається α -граничною точкою, якщо можна вказати таку послідовність моментів часу $t_k \rightarrow -\infty$, що $\lim_{k \rightarrow \infty} x(t_k) = z$. Множина Ω_x всіх ω -граничних точок називається ω -граничною множиною даної траєкторії, а множина Λ_x всіх α -граничних точок α -граничною множиною. Траєкторія $x(t)$ називається стійкою за Пуассоном, якщо кожна її точка є α -граничною та ω -граничною, тобто $x(t) \in \Omega_x \cap \Lambda_x$.

Вводячи визначення стійкості за Лагранжем та Пуассоном, ми говорили про властивості однієї, окремо взятої траєкторії. Ідея створення загальної теорії

стійкості належить О.М. Ляпунову [3, 4]. Поняття стійкості за Ляпуновим характеризує траєкторію з погляду поведінки сусідніх траєкторій, що розташовуються в її околиці.

Припустимо, що динамічна система $x = F(x)$ при старті з початкової точки x_0 породжує траєкторію $x(t)$. Розглянемо іншу траєкторію тієї ж системи $y(t)$, стартова точка якої y_0 близька до x_0 . Якщо обидві траєкторії залишаються близькими в будь-який наступний момент часу, то траєкторія $x(t)$ називається стійкою за Ляпуновим.

Говорячи більш формально, траєкторія $x(t)$ стійка, якщо для кожного, як завгодно малого додатного числа ε існує таке $\delta > 0$, що для будь-якої точки старту з δ -околиці точки x_0 , тобто при $\|x_0 - y_0\| < \delta$, маємо для всіх $t > 0$.

$$\|x(t) - y(t)\| < \varepsilon. \quad (2)$$

Більш сильна властивість – асимптотична стійкість. Траєкторія $x(t)$ асимптотично стійка, якщо для кожного, як завгодно малого $\varepsilon > 0$ існує таке $\delta > 0$, що при $\|x_0 - y_0\| < \delta$ маємо для всіх $t > 0$.

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \|x(t) - y(t)\| = 0. \quad (3)$$

Коли говорять лише про стійку траєкторію, то в більшості випадків мають на увазі стійкість за Ляпуновим.

Наочна ілюстрація стійкості за Лагранжем, Пуассоном і Ляпуновим наведена на рис. 1.



Рис. 1 – Якісна ілюстрація стійкості за Лагранжем (траєкторія залишається в замкнутій області), за Пуассоном (траєкторія багаторазово повертається в ε -околицю стартової точки) і за Ляпуновим (дві близькі на старті траєкторії залишаються близькими завжди) [4]

Спочатку вважалося, що ці основи стійкості руху можна застосовувати до простих фізичних систем, але подальші дослідження виявили, що ці підходи можна застосовувати і до таких систем, як популяції, екосистеми і навіть до біосфери. Екосистеми – термодинамічно відкриті, функціонально цілісні системи, які існують за рахунок надходження з навколишнього середовища енергії і частково речовини та які саморозвиваються і саморегулюються. Загальний принцип стійкості екосистем можна висловити таким чином: «будь-які зовнішні впливи, що виводять екосистему зі стану рівноваги,

викликають у цій екосистемі процеси, що намагаються послабити зовнішній вплив та повернути її в початковий рівноважний стан». Екосистеми у своєму природному розвитку хоч і спрямовані до рівноважного стану, але у такому стані існувати не можуть, а потребують додаткової енергії, яка забезпечується за рахунок дисипативних процесів. Математично зміни поведінки екосистем описуються нелінійними рівняннями. Ці процеси відбуваються як флуктуаційні зміни, що викликають турбулентність і можуть призвести до кризи або руйнування екосистеми.

Поняття стійкості в екології трактується неоднозначно, а відтак її оцінку здійснюють за різними ознаками та проявами [5–7]:

- 1) вплив зовнішнього фактору чи групи факторів, відносно яких оцінюється стійкість;
- 2) відмінність екосистеми одного стану відносно іншого;
- 3) допустима величина відмінності від базового стану, тобто її мінливість;
- 4) інтервал часу, в межах якого відбуваються зміни або оцінюється стійкість.

Однак механізми забезпечення, принципи та методи оцінки стійкості екосистем ще недостатньо розроблені. За аналогією з класичною механікою і теорією поля можна розглядати реакцію екосистеми на зовнішній вплив як динамічну зміну стану екосистеми, в процесі якої вона прагне мінімізувати деяку потенційну функцію. Залежно від конкретного виду екосистеми і прийнятих припущень така динаміка може бути локальною в сенсі руху екосистеми до відносного мінімуму, найближчого до поточного стану, або глобальною в сенсі руху до абсолютного (глобального) мінімуму відповідної потенційної функції, що наведено на рис. 2.



Рис. 2 – Опис екосистеми за допомогою потенційної функції, де $x(a)$ – початкове положення системи; a – внутрішній параметр; $f(x; a)$ – потенційна функція

Заміна параметра a на a^* призводить до зміни положення мінімуму функції f . Для екосистем, представлених безмежним числом постійно мінливих в часі процесів, цей вид стійкості може бути найбільш характерним. Для сталого за Ляпуновим руху мале початкове зрушення наростає. Якщо мале початкове зрушення не тільки не наростає, а з часом прагне до нуля, то рух має більш сильну схильність до асимптотичної стійкості. Позитивний максимальний показник Ляпунова є показником хаотичної динаміки, нульовий максимальний показник Ляпунова позначає граничний цикл або квазіперіодичну орбіту і негативний максимальний показник Ляпунова являє нерухому точку [4].

У складних екосистемах з підсистемами всередині систем, що входять в багаторівневу організацію, складно говорити про стійкість як деяку точку в просторі станів (як у випадку стійкості за Ляпуновим). Завжди необхідно враховувати ієрархію екосистеми і, відповідно, «ієрархію стійкостей»: очевидна локальна нестабільність може перебувати в області стійкості більш високого рівня. Стійкість в загальноприйнятому сенсі зазвичай має на увазі також здатність системи повертатися в попередній стан після обурення. Таким чином, для екосистем стійкість може розглядатися як здатність екосистеми реагувати (протидіяти) на зовнішні збурення. Такі області (безлічі), до яких прагнуть екосистеми з плином часу, називають атракторами. Іншими словами, атрактори – це сталі режими руху, тобто, безліч точок, область (у простому випадку – одна точка) у фазовому просторі екосистеми, до яких прагнуть її траєкторії – вони ніби приваблюють, притягують траєкторії у фазовому просторі.

Атрактор є найважливішим поняттям, що фіксує специфіку дисипативних структур. Він визначається як режим (стан), до якого тяжіє екосистема. У змістовному плані це означає, що стан – атрактора виступає як пошуковий і досягається (у конкретній екосистемі) на фінальній фазі еволюції. Як зазначено в роботі [8], «якщо екосистема потрапляє в поле тяжіння певного атрактора, то вона неминуче еволюціонує до цього відносно стійкого стану (структури)». При вивченні процесів самоорганізації було зафіксовано обставину, що серед можливих гілок еволюції екосистеми далеко не всі є вірогідними, «що природа не індиферентна, що в неї є «схильність до деяких станів», – у зв'язку з цим фізика «дисипативних екосистем, що виробляють ентропію», називає кінцеві стани цих систем атракторами.

Найважливішою обставиною в цьому контексті є той факт, що вказаний стан, до якого еволюціонує екосистема, виступає не тільки як потенційна перспектива її розвитку, але і як реально дієвий фактор даного процесу. Фактично атрактор може бути розглянутий як фактор порядку (параметра порядку для екосистеми, що знаходиться в процесі самоорганізації) [9]. У динаміці відкритих систем виділяють три типи атракторів: стійкий фокус (атрактор-точка), стійкий граничний цикл і хаотичний, або дивний, атрактор. Стійким фокусом називається особлива точка, яка є асимптотичною точкою всіх інтегральних кривих, що мають вид спіралей, вкладених одна в одну (рис. 3).

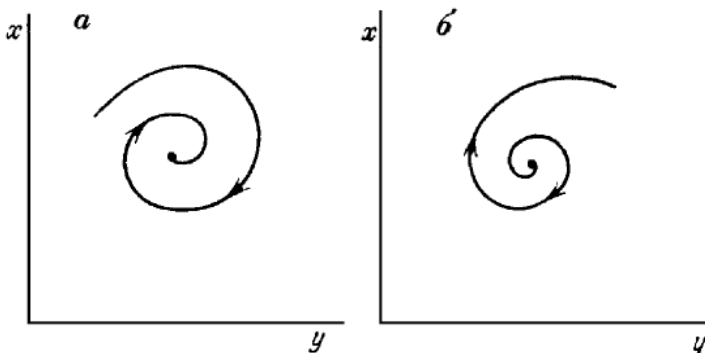


Рис. 3 – Стійкий (а) і нестійкий (б) фокус у фазовій площині (x, y)

Можливі нестационарні стани екосистеми, тобто такі, в яких екосистема ще не в рівноважному стані. Наростання нелінійності в екосистемі за межі деякого критичного значення знову приводить екосистему до біфуркації: на зміну макроскопічній узгодженості приходять неузгодженість випадкових флуктуацій, яка призводить до неоднозначних результатів: мала зміна початкової умови з часом призводить до як завгодно великих змін динаміки екосистеми. У цій ситуації екосистема характеризується нестійкістю по відношенню до власних початкових параметрів (нестійкість за Ляпуновим) і експоненційною тенденцією до дивергенції. Такій поведінці екосистем був наданий термін динамічна. Така хаотична поведінка виникає не через зовнішні джерела шуму, або велике число ступенів свободи і не через невизначеність, пов'язану з квантовою механікою. Вона породжується власною динамікою нелінійної детермінованої екосистеми [10]. Визначальним для виникнення хаосу в детермінованих екосистемах є взаємодія елементів, які її утворюють. У фазовому просторі такій поведінці екосистеми відповідає дивний атрактор. Детермінований хаос у фазовому просторі відображається безперервною траєкторією, що розвивається в часі без самоперетину (інакше процес замкнувся б в цикл) і поступово заповнює деяку область фазового простору. Таким чином, будь-яку як завгодно малу зону фазового простору перетинає нескінченно велика кількість відрізків траєкторії.

Це і створює в кожній зоні випадкову ситуацію – хаос. У такому випадку, незважаючи на детермінізм процесу, хід його траєкторії непередбачуваний, звідки і походить назва характеру процесу – детермінований хаос. Іншими словами, ми не в змозі передбачити або хоча б грубо охарактеризувати поведінку екосистеми на досить великому відрізку часу і в першу чергу тому, що принципово відсутні аналітичні рішення. Дана тенденція, однак, реалізує себе в межах досить чітко обмеженої сфери можливості.

Адже для таких екосистем можливий аж ніяк не будь-який стан, а лише стан, що потрапляє в обмежену детерміновану область фазового простору.

Оскільки нормальне функціонування екосистеми можливе лише при деякій нормі хаотичності, яка відповідає істотно нерівноважному стану, то відхилення в обидві сторони можна розглядати як «хворобу» і, отже, як деградацію. Однак, не завжди, особливо в екології, перехід до більш хаотичного стану слід розглядати як деградацію. Отже, істотним є розгляд відхилень від норми хаотичності. Структури – атрактори еволюції, що розглядаються як цілісні структури, відносно прості в порівнянні зі складним ходом проміжних процесів, що формують їх.

На підставі цього істотно спрощується асимптотика і з'являється можливість прогнозування, «виходячи [11]:

- a) «з цілей» процесів (структур-атракторів),
- b) «від цілого», виходячи із загальних тенденцій розгортання процесів в цілісних екосистемах».

Для цього надскладна, безкінечно мірна, хаотизована на рівні елементів екосистема повинна описуватись, як і всяка нелінійна екосистема, невеликим числом фундаментальних ідей та образів, а згодом математичних моделей, що визначають загальні тенденції розвитку екосистеми.

Метод побудови фазових портретів екосистеми

Дослідження еволюції станів складних систем за допомогою фазового простору широко застосовується в математичній екології і оцінюється як «найважливіший інструмент для формування наукових законів і наукового передбачення в екології». Еволюцію екосистеми часто представляють в деякому абстрактному просторі станів, який отримав назву фазового та в якому координатами служать компоненти стану. Кожному можливому стану системи відповідає точка фазового простору. Сутність поняття фазового простору полягає в тому, що стан як завжди складної екосистеми представляється у ньому однією єдиною точкою, а еволюція екосистеми – переміщенням цієї точки. Сукупність точок у фазовому просторі, положення яких відповідає станам екосистеми в процесі зміни у часі, називається фазовою траєкторією. Сукупність фазових траєкторій за різних початкових значень змінних дає легко доступний для огляду портрет екосистеми. Побудова фазового портрета дозволяє зробити висновки про характер змін екосистеми без знання аналітичних рішень вихідної системи рівнянь, що описують еволюцію екосистеми. Окремим випадком фазового простору є фазова площина – координатна площина, в якій по осях координат відкладаються будь-які дві змінні (фазові координати), що однозначно визначають стан екосистеми. Координати фазового простору обираються в залежності від мети аналізу. Залежно від координат, що утворюють фазовий простір, розрізняють динамічний і параметричний фазовий простір. У динамічному фазовому просторі по одній з осей відкладають значення якої-небудь змінної, а на іншій – першу похідну, або швидкість зміни в часі цієї змінної. Параметричний фазовий простір будується на осях незалежних змінних.

Для дослідження динаміки параметрів продукційно-деструкційних процесів за даними польових спостережень будувалися фазові портрети. З цією метою були використані динамічні фазові площини, параметричні фазові площини і тривимірний динамічний фазовий простір. Іншими словами, аналіз динаміки продукційно-деструкційних процесів проводили у фазовому просторі, що дозволив представити якісну картину зміни станів екосистем за їх фазовими портретами, не вдаючись до математичного моделювання.

Оцінка показників стійкості в теорії нелінійних екосистем

Важливим поняттям динамічних систем є атрактор. Для екосистем, що знаходяться в положенні рівноваги, атрактор являє собою точку (зі зміною часу їх стан не змінюється), для коливальних екосистем – замкнуті траєкторії (цикли). Для хаотичних екосистем існує атрактор, який називається дивним, в цьому випадку траєкторії стягуються, але не в точку, криву, тор, а в деяку підмножину фазового простору. Атрактор є інваріантною характеристикою екосистеми, тобто зберігається під дією перетворень. Стійкістю і нестійкістю характеризуються не тільки стан рівноваги, але будь-які фазові траєкторії. У динаміці відкритих систем виділяють три типи атракторів: стійкий фокус (атрактор-точка), стійкий граничний цикл і хаотичний, або дивний атрактор.

Однозначними характеристиками хаотичності сигналу є спектр показників Ляпунова. Позитивний максимальний показник Ляпунова є показником хаотичної динаміки, нульовий максимальний показник Ляпунова позначає

граничний цикл або квазіперіодичну орбіту і негативний максимальний показник Ляпунова являє собою нерухому точку. Екосистема розмірності n має n показників Ляпунова: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, упорядкованих за зменшенням. Динамічні екосистеми, для яких n -мірний фазовий об'єм зменшується, називаються дисипативними. Якщо фазовий об'єм зберігається, то такі екосистеми носять назву консервативних. У консервативних екосистем завжди існує хоча б один закон збереження. Наявність закону збереження часто спричиняє існування відповідного йому нульового показника Ляпунова. Для дисипативних динамічних екосистем сума показників Ляпунова завжди негативна. У дисипативних екосистем показники Ляпунова інваріантні щодо всіх початкових умов. За показниками Ляпунова можна багато чого сказати про динамічні системи, про розмірності атратора, якщо такий є, і про ентропію динамічної екосистеми. Динамічному хаосу відповідає нестійкість кожної окремої траєкторії, тобто наявність хоча б одного позитивного показника Ляпунова. Тяжіння до атратора вимагає, щоб фазові обсяги великих розмірностей стискалися, що й відображено в ляпуновському спектрі. Знання показників Ляпунова дозволяє оцінити і фрактальну розмірність атратора.

Розглянемо точку $x(t_0)$, приналежну атратору деякої динамічної екосистеми в початковий момент часу (t_0). Задавшись деяким малим позитивним числом $\varepsilon(t_0)$, виберемо на атраторі ще одну точку $X(t_0)$ таким чином, щоб

$$\|X(t_0) - x(t_0)\| = \varepsilon(t_0). \tag{4}$$

Через проміжок часу Δt точки $x(t_0)$ та $X(t_0)$ еволюціонують відповідно в $x(t)$ і $\tilde{x}(t)$, відстань між ними позначимо через $\varepsilon(t)$, де $t = t_0 + \Delta t$ (рис. 4).

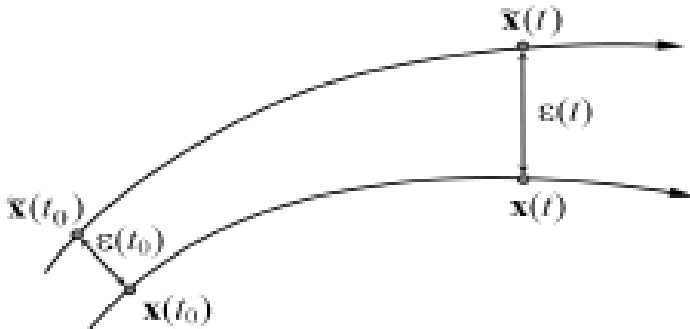


Рис. 4 – До визначення поняття експоненти Ляпунова

Очевидно, що $\varepsilon(t)$ залежить від положення точок $x(t)$ і $\tilde{x}(t)$, проміжку часу Δt і, звичайно, властивостей самої динамічної екосистеми. Однак, спрощено, можна вважати, що

$$\varepsilon(t) \cong \varepsilon(t_0) e^{\lambda \Delta t}, \tag{5}$$

де λ – параметр, що характеризує динамічну екосистему і називається старшим показником Ляпунова або експонентою Ляпунова.

Після елементарних перетворень отримаємо:

$$\lambda \cong \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)}. \quad (6)$$

Відразу необхідно зробити два зауваження:

- по-перше, в останньому співвідношенні, в силу обмеженості атратора (а значить обмеженості $\varepsilon(t)$) Δt має зростати до тих пір, поки $\varepsilon(t)$ істотно менше розмірів атратора, інакше λ буде дорівнювати нулю, при $\Delta t \rightarrow \infty$;
- по-друге, обчислене відповідно до (6) значення λ слід розглядати як усереднене за всіма початковими точками $x(t_0)$ атратора екосистеми.

З урахуванням цих зауважень можна чітко визначити старший показник Ляпунова співвідношенням:

$$\lambda = E_{x(t_0) \in A} \left\{ \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow \infty \\ \varepsilon(t) < \text{diam } A}} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)} \right\}, \quad (7)$$

де A – атратор екосистеми, $\text{diam } A$ – його діаметр, а $E \{ \bullet \}$ – математичне очікування.

Старший показник Ляпунова характеризує ступінь експоненціальної розбіжності близьких траєкторій. Наявність у екосистеми позитивної експоненти Ляпунова свідчить про те, що будь-які дві близькі траєкторії швидко розходяться з плином часу, тобто має місце чутливість до значень початкових умов. Тому визначення експоненти Ляпунова дозволяє ідентифікувати динамічну екосистему з точки зору присутності в ній хаотичної поведінки. Екосистемам властива періодична зміна різних характеристик. В даному випадку періодична зміна величин являє собою один з типів стаціонарної поведінки екосистеми. Якщо коливання в екосистемі мають постійні період і амплітуду, встановлюються незалежно від початкових умов і підтримуються завдяки властивостям самої екосистеми, а не внаслідок впливу періодичної сили, екосистема називається автоколивальною. У фазовому просторі такому типу поведінки відповідає атратор з граничним циклом. Граничний цикл є ізольована замкнута крива на фазовій площині, до якої в межі $t \rightarrow \infty$ прагнуть всі інтегральні криві. Граничний цикл представляє стаціонарний режим з певною амплітудою, що не залежить від початкових умов, а визначається тільки організацією екосистеми.

Граничний цикл називається стійким, якщо існує така область на фазовій площині, що містить цей граничний цикл, – околиця ε , де всі фазові траєкторії, що починаються в околиці ε , при $t \rightarrow \infty$ асимптотично наближаються до граничного циклу. Якщо ж, навпаки, в як завгодно малій околиці ε граничного циклу існує принаймні одна фазова траєкторія, що не наближається до граничного циклу при $t \rightarrow \infty$, то такий граничний цикл називається нестійким. Стійкі та нестійкі граничні цикли наведені на рис. 5.

Отже, встановлено, що атратори типу фокусу і граничного циклу характеризують нерівноважний порядок. Поведінка екосистеми, відповідної граничному циклу, має характерну специфіку: малі збудження не руйнують її стаціонарного руху [9].

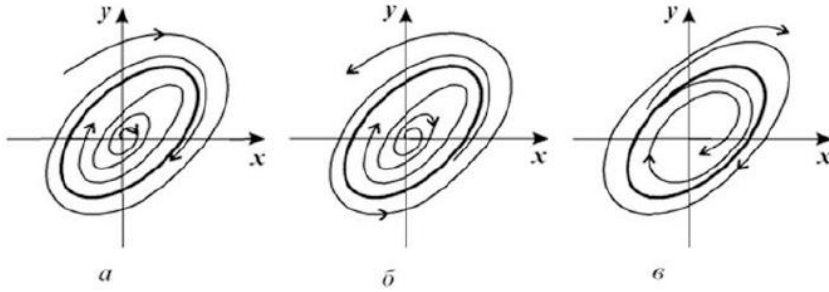


Рис. 5 – Стійкий граничний цикл (а); нестійкі граничні цикли (б, в)

Висновки

Успіх пошуку придатної функції Ляпунова в галузі екології найчастіше забезпечується інтуїцією і досвідом дослідника, ніж відомими рекомендаціями теорії. Тому, незважаючи на значний прогрес, досягнутий в останні десятиріччя, проблема узагальнення та модифікації методу Ляпунова з метою розширення множини придатних функцій залишається актуальною.

За допомогою функції і функціоналів Ляпунова вдається отримати ефективні критерії стійкості в цілому, у середньому, за постійно діючих збурень, практичної стійкості, стійкості на скінченному проміжку часу, а також інших типів стійкості. Метод Ляпунова є основним універсальним засобом дослідження стійкості в екосистемах. Однак практична побудова придатної функції чи функціонала Ляпунова для конкретного рівняння може виявитися дуже складною. У даній роботі на основі нових підходів запропоновані достатні умови стійкості і нестійкості, що допускають більш широкий клас придатних функцій і функціоналів Ляпунова в порівнянні з відомими методами. У такий спосіб вдається полегшити дослідження стійкості конкретних динамічних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лагранж Ж. Аналитическая механика / Ж. Лагранж. – М.–Л.: Гостехиздат, 1950. – Т.1. – 594 с.; Т.2. – 440 с.
2. Зубов В.И. Аналитическое представление движений, устойчивых по Пуассону // Докл. РАН. 1992. Т. 322. № 1. С. 28–32.
3. Ляпунов А.М. Общая задача устойчивости движения / А.М. Ляпунов– М.–Л.: ОНТИ, 1935. – 368 с.
4. Зубов В.И. Устойчивость движения (методы Ляпунова и их применение). М.: Высшая школа, 1984. – 232 с.
5. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. – Київ: Лікей, 1995. – 233 с.
6. Дідух Я.П. Поняття про стійкість екосистем // Основи біоіндикації. – К. : Наук. думка, 2011. – С. 288–297.
7. Матвеева І.В. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень / І.В. Матвеева, С.І. Азаров, Ю.О. Кутлахмедов, О.В. Харламова. – К.: НАУ, 2016, 396 с.
8. Азаров С.І. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. // «Екологічна безпека та природокористування», 2017, № 3–4 (24), – С. 50–57.

9. Азаров С.І. Моделювання стійкості екосистеми / Азаров С.І., Задунай О.С. // «Екологічні науки». – 2018. – № 4 /2018 (23). – С. 5–9.
10. Margalef R. Perspectives in Ecological Theory / R. Margalef – Chicago: Univ. Chicago Press, 1968. – 198 p.
11. Азаров С.І., Задунай О.С. Моделювання еволюції нелінійних екосистем // «Екологічна безпека та природокористування», 2019 – № 2 (30), – С. 18–29. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.18-29>

Стаття надійшла до редакції 16.01.2020 і прийнята до друку після рецензування 27.03.2020

REFERENCES

1. Lagranzh, ZH. (1950). *Analiticheskaya mekhanika [Analytical mechanics]*. M.–L.: Gostekhizdat. (in Russian)
2. Zubov, V.I. (1992). Analiticheskoye predstavleniye dvizheniy, ustoychivyykh po Puassonu [Analytical representation of Poisson stable motions]. *Dokl. RAN*, 322(1), 28-32. (in Russian)
3. Lyapunov, A.M. (1935). *Obshchaya zadacha ustoychivosti dvizheniya [The general problem of stability of motion]*. M.–L.: ONTI. (in Russian)
4. Zubov, V.I. (1984). *Ustoychivost' dvizheniya (metody Lyapunova i ikh primeneniye) [Stability of motion (Lyapunov methods and their application)]*. M.: Vysshaya shkola. (in Russian)
5. Hrodzyns'kyy, M.D. (1995). *Stiykist' hecosystem do antropohennykh navantazhen' [Resistance of geosystems to anthropogenic loads]*. Kyiv: Likey. (in Ukrainian)
6. Didukh, YA.P. (2011). *Ponyattya pro stiykist' ekosystem [The concept of ecosystem sustainability]*. In *Osnovy bioindykatsiyi* (pp. 288-297). K.: Nauk. dumka. (in Ukrainian)
7. Matveyeva, I.V., Azarov, S.I., Kutlakhmedov, YU.O., & Kharlamova, O.V. (2016). *Stiykist' ekosystem do radiatsiynykh navantazhen' [Resistance of ecosystems to radiation loads]*. K.: NAU. (in Ukrainian)
8. Azarov, S.I., Sydorenko, V.L., & Zadunay, O.S. (2017). Determination of the reliability of ecosystems to the factor of anthropogenic pressure. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 3–4(24), 50-57. (in Ukrainian)
9. Azarov, S.I., & Zadunay, O.S. (2018). Modelyuvannya stiykosti ekosystemy [Modeling ecosystem sustainability]. *Ekolohichni nauky*, 4(23), 5-9. (in Ukrainian)
10. Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago: Univ. Chicago Press.
11. Azarov, S., & Zadunaj, O. (2019). Modeling of evolution nonlinear ecosystem. *Environmental Safety And Natural Resources*, 30(2), 18-29. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2019.2.18-29> (in Ukrainian)

The article was received 16.01.2020 and was accepted after revision 27.03.2020

Азаров Сергій Іванович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України
Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, пр-т Науки, 47
ORCID ID 0000-0002-9951-8867 e-mail: azarov@kinr.kiev.ua

Задунай Олексій Сергійович

кандидат технічних наук, начальник центру Державного науково-дослідного інституту технологій кібербезпеки та захисту інформації
Адреса робоча: 03142 Україна, м. Київ, вул. М. Залізняка, 6
ORCID ID 0000-0001-8589-1604 e-mail: a.zadunaj@gmail.com

UDC 627.26:624.131

Yurii Ischenko, PhD student, Head of the Department
ORCID: 0000-0001-6046-8180, *e-mail*: ischenko@ndibk.gov.ua

State Enterprise "SE Research Institute of Building Constructions", Kyiv, Ukraine

GEOTECHNICAL MONITORING DURING RECONSTRUCTION OF THE POSHTOVA SQUARE IN KYIV

Abstract. *In recent years, there has been a sharp increase in public and scientific attention to environmental monitoring. This is due to the increase of man-made load on the environment and, first and foremost, the geological environment, as well as the need for new, higher organizational and technical level to solve the problems related to its changes. Recent monitoring data indicate a tendency to intensify this negative natural-technogenic process on a spatial-temporal scale and increase, first of all, the areas of flooding, as well as subsidence, landslides and other dangerous phenomena. Accordingly, during the operation of buildings, under the influence of the above factors, the corresponding new stress-strain state of the system "base-foundation-upper structure" changes and forms. In many cases, this leads to damage to building structures, emergencies and a significant decrease in the reliability of buildings. Today in Ukraine 10 962 dwellings are in a state of disrepair. The example of geotechnical monitoring in the town Kyiv is presented in the article. The specially developed monitoring program included: geodetic control of deformations of buildings of the surrounding building and structures of the reconstructed building; systematic observation of deformations of structures in the process of excavation of the pit and construction, with the installation of inclinometric sensors, deformation beacons and geodetic marks; observation of groundwater level fluctuations during construction; observation of the state of deformation beacons installed on the cracks of buildings of surrounding buildings; engineering-geological monitoring to ensure confirmation of the physical and mechanical characteristics of the soil of the bearing (support) layer of pile foundations and piles of reinforcement. Geotechnical monitoring made it possible to preserve the existing historical buildings in the area of influence of the geotechnical works on the Poshtova Square reconstruction in Kiev, to eliminate the risk of emergencies.*

Keywords: *geotechnical monitoring; design and field data; soil wall; numerical modeling*

Ю.І. Іщенко

Державне підприємство «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

ГЕОТЕХНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОШТОВОЇ ПЛОЩІ В М. КИЄВІ

Анотація. *В останні роки різко зросла увага громадськості та наукових установ до проблеми моніторингу навколишнього середовища. Це пов'язано зі збільшенням з кожним роком техногенного навантаження людини на довкілля і, в першу чергу, на геологічне середовище, а також необхідністю на новому, більш високому організаційному і технічному рівні, вирішувати завдання, пов'язані з його змінами. Останні дані моніторингових*

спостережень свідчать про тенденцію до активізації цього негативного природно-техногенного процесу в просторово-тимчасовому масштабі і збільшення, в першу чергу, площ підтоплення, а також просідання, зсувних та інших небезпечних явищ. Відповідно в процесі експлуатації будівель, під впливом вищевказаних чинників, змінюється і формується відповідний новий напружено-деформований стан системи «основа – фундамент – верхня споруда». У багатьох випадках це призводить до пошкодження будівельних конструкцій, виникнення аварійних ситуацій і істотного зниження надійності будівель. На сьогодні в Україні 10 962 житлових будинки перебувають в аварійному стані. В статті наведено приклад геотехнічного моніторингу в м. Києві. Спеціально розроблена програма моніторингу включала: геодезичний контроль деформацій будівель навколишньої забудови і конструкцій будівлі, що реконструюється; системні спостереження за деформаціями конструкцій в процесі відкопування котловану і будівництва, з установкою інклінометричних датчиків, деформаційних маяків і геодезичних марок; спостереження за коливанням рівня ґрунтових вод при будівництві; спостереження за станом деформаційних маяків, встановлених на тріщинах будинків навколишньої забудови; інженерно-геологічний моніторинг із забезпеченням підтвердження фізико-механічних характеристик ґрунтів несучого (опорного) шару пальових фундаментів і паль підсилення. Геотехнічний моніторинг дозволив забезпечити збереження існуючої історичної забудови в зоні впливу будівельних робіт при реконструкції Поштової площі в м. Києві, виключити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: геотехнічний моніторинг; проектні та натурні дані; чисельне моделювання

Вступ

Ґрунтові конструкції відносяться до числа найдавніших, і ґрунт є найбільш використовуваним будівельним матеріалом. Однак аж до середини минулого століття проектування базувалося переважно на накопиченому досвіді, а найбільш важливу роль при проектуванні споруд відігравали будівельні технології. У міру зростання потреб у великих дамбах, високих дорожніх насипах, що споруджуються з опорою на морське дно, і, особливо, в інженерних спорудах для захисту навколишнього середовища стало переважати реальне проектування. Тому в даній статті основну увагу приділено геотехнічному моніторингу відповідно до Європейського Коду 7, де особливо підкреслюється важливість аналізу геотехнічних даних, що використовуються для проектування [1]. Це визначається тим фактом, що нескельні і скельні ґрунти створені природою, а не людиною. Природні властивості ґрунтів завжди складні, що тягне за собою підвищений ризик на стадіях проектування і будівництва. Перш за все, це відноситься до складності геотехнічних досліджень, проектування і контролю, що впливає на величину геотехнічного ризику.

Основна відмінність між ґрунтовими та іншими геотехнічними конструкціями пов'язана з етапом контролю. Для фундаментних конструкцій під час моніторингу контролюють якість поверхні підстиляючого ґрунту, і відхилення від очікуваних значень в фізико-механічних характеристиках (ФМХ) (стосовно геологічної моделі та частково – геотехнічної) може призвести до відповідних змін у проекті. Аналогічно треба застосовувати

моніторинг до підземних конструкцій і котлованів, оскільки при виїмці ґрунту геологічна модель перевіряється на відповідність фактичним даним.

Найбільш складна проблема пов'язана з контролем і моніторингом ФМХ ущільненого ґрунту. У більшості випадків контроль є непрямим, оскільки зазвичай контролюють лише щільність сухого матеріалу і вміст вологи (і порівнюють з рекомендованими значеннями за результатами ущільнення за методом Проктора) [1]. Новий безперервний контроль (моніторинг) ущільнення є певним кроком вперед в цьому напрямку – див., наприклад, роботу Brandl, Kopf and Adam (2005) [1]. Незважаючи на це, проєктувальник не може безпосередньо контролювати фізико-механічні властивості, які були враховані при проєктуванні в розрахунковій моделі. Тому можна зробити простий висновок про те, що ризик, пов'язаний з проєктуванням і функціональністю ґрунтової конструкції, є одним з найвищих [1]. Поглиблення наукового розуміння ґрунтових відмов зможуть забезпечити уточнене картографування зсувонебезпечних зон та оцінка їх руйнівного потенціалу. Ця інформація повинна бути надана у виразній формі та масштабі, що сприятиме прийняттю рішень. Першим етапом автоматизованого дослідження ґрунтових відмов стали різноманітні системи моніторингу, які, переважно, виконували роль збору інформації про досліджуваний об'єкт або явище.

Термін «моніторинг» походить від англійського дієслова "to monitor" (контролювати, перевіряти) або французького "monitore" (круговий огляд, показчик). У різних видах наукової і практичної діяльності людини здавна застосовується метод спостереження – спосіб пізнання, заснований на відносно тривалому, цілеспрямованому і планомірному сприйнятті предметів і явищ навколишньої діяльності. Блискучі зразки організації спостережень за природою описані ще в першому столітті н.е. в «Природній історії Гая Секунда Плінія (старшого)». 37 томів, що містять відомості з астрономії, фізики, географії, зоології і т.п., слугували найбільш повною енциклопедією до епохи середньовіччя [2]. Існує безліч визначень систем моніторингу в різних областях науки і техніки, наведемо визначення згідно з документом FIB [3]: «Моніторинг – це часто повторювані або безперервні планові довгострокові спостереження або вимірювання будівельних умов або дій».

Історичним початком моніторингу навколишнього середовища можна вважати організацію на вугільних шахтах Англії та Бельгії понад 100 років тому спостережень за рівнем вмісту окису вуглецю в повітрі. При цьому в якості своєрідних датчиків використовувалися канарки, морські свинки і таргани [2]. У ХХ столітті на основі сучасної інформаційно-аналітичної бази і впровадження ЕОМ у всі галузі науки і техніки системи моніторингу поширилися повсюдно [4].

Згідно з визначенням Міжнародної Стратегії щодо зменшення екологічних лих ООН (Міжнародна стратегія по зменшенню небезпеки лих ООН, UNISDR 2009): **«Система раннього попередження EWS визначається як сукупність можливостей, необхідних для вироблення і поширення своєчасної і важливої інформації оповіщення, щоб дати можливість населенню, громадам і організаціям, яким загрожує небезпека, завчасно підготуватися і вжити необхідних заходів для зниження ймовірності збитку і втрат»** [5].

Це загальне визначення, яке може бути застосовано до будь-якої небезпеки і не містить прямого посилання на зсуви. Незалежно від визначення і

небезпеки, що розглядається, EWS використовуються для зниження ризику, впливаючи на зменшення впливу на елементи різних систем, що піддаються ризику. Основна концепція EWS, встановлених на зсувах, полягає в тому, щоб елементи, які піддаються ризику, особливо люди, що знаходяться недалеко від небезпечної зони, мали достатньо часу для евакуації в разі очікування неминучого колапсу.

Необхідність моніторингу прописана в низці вітчизняних нормативних документів, наприклад розділ 7 ДБН В.1.1-3-97 "Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів и обвалів. Основні положення" [6] вимагає здійснювати постійне спостереження за станом зсувних та зсувонебезпечних територій, у тому числі:

- ◆ інструментальні спостереження за вертикальними і горизонтальними зміщеннями поверхні схилів, а також регулярні огляди і періодичні обстеження будівель, споруд, інженерних та транспортних комунікацій, що розміщені на схилах і на відстані до 200 м від краю схилу;

- ◆ спостереження за напружено-деформованим станом конструкцій будівель і споруд;

- ◆ спостереження за зміщеннями по горизонталі в рівнях поверхонь ковзання на зсувних схилах;

- ◆ спостереження за рівнем і хімічним складом підземних вод;

- ◆ спостереження за величинами зсувного тиску.

В статті [7] сформульовано новий науковий напрямок в дослідженні ґрунтових (зсувних) небезпек – «**Інтегрована методологія для систем раннього попередження ґрунтових (зсувних) небезпек**», яка гармонійно об'єднує експериментальні моніторингові дослідження зсувонебезпечних ділянок із застосуванням сучасних датчиків та приладів, що працюють в on-line режимі, з всеосяжним математичним моделюванням напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в межах динамічного сценарного аналізу вірогідних подій. Детальний опис «**Інтегрованої методології ...**» ми тут наводити не будемо у зв'язку з обмеженістю об'єму статті, для детального ознайомлення див. [7].

Основна частина

За останні 10–15 років в Україні була приділена увага як нормативно-методичному забезпеченню, так і практичній реалізації моніторингових систем в будівництві. За цей час був розроблений ряд нормативних документів, в яких в тій чи іншій мірі відображені питання моніторингу:

1. ДБН В.1.2-5:2007 "Науково-технічний супровід будівельних об'єктів" [8].

2. ДБН В.1.2-12-2008 "Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки" [9].

3. ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд будівельних конструкцій та основ" [10].

Згідно з діючими нормативними документами при проектуванні, будівництві та експлуатації будівель і споруд повинен здійснюватися їх науково-технічний супровід [8–9]. Одним з основних видів робіт при науково-технічному супроводі будівельного об'єкта є моніторинг його технічного стану. Для забезпечення

безпечної експлуатації будівель і споруд необхідна поточна інформація про деформації і напруження, що виникають в будівельних конструкціях. Об'єкти класу наслідків (відповідальності) ССЗ, руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків, необхідно додатково обладнати **автоматизованими** системами моніторингу та управління [10].

Теоретичне обґрунтування концепції моніторингу базується на необхідності створення комплексної системи збору, накопичення, обробки та використання інформації, яка повинна розкривати специфіку НДС як окремих будівельних конструкцій, так і споруд в цілому за допомогою відповідних показників датчиків, контрольних-вимірювальних приладів та ін., що накопичуються у вигляді бази даних в автоматичному режимі.

У своїй роботі система моніторингу будівельних конструкцій спирається на застосування:

- процедур послідовного аналізу при виборі критеріїв діагностики;
- засобів технічного діагностування та методів обробки отриманої інформації;
- еталонних апроксимаційних моделей для тестування системи моніторингу методом порівняння в режимі реального часу (on-line);
- багаторівневості виконуваних функцій і засобів моніторингових досліджень;
- концентрації діагностичної інформації у вигляді відповідної бази даних.

За останні роки в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) було приділено велику увагу як нормативно-методичному забезпеченню, так і практичній реалізації моніторингових систем. Все це слугувало основою для нового підсумкового нормативного документу ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» [11]. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 розроблено у розвиток комплексу стандартів на системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Цей документ увібрав в себе всі основні методичні вказівки та розробки з науково-методологічного обґрунтування, проектування та експериментального відпрацювання моніторингових систем в будівництві [8–10].

Теоретико-методологічні питання проектування і організації моніторингових досліджень досить глибоко проаналізовано в роботах сучасних українських вчених: О.М. Трофимчука, Ю.І. Калюха, а також в численних дослідженнях їх учнів [12–20].

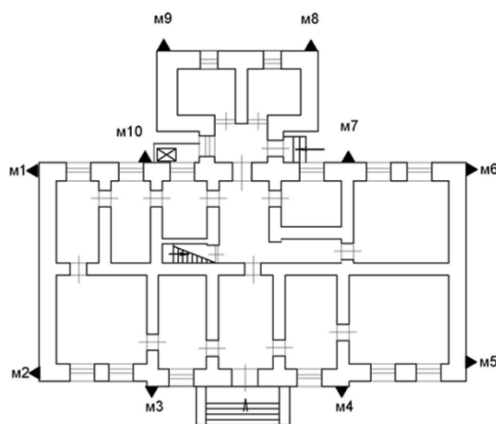
Геотехнічний моніторинг в м. Києві

ДП «НДІБК» виконані науково-технічні роботи щодо забезпечення безпеки технічних рішень на низці об'єктів. До таких об'єктів слід віднести будівлі, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштовій площі в Подільському районі м. Києва. Необхідність робіт обумовлена потребою оцінки впливу будівництва на прилеглі будівлі. Для виконання цих робіт 2 квітня 2015 року на прилеглих будівлях, за якими проводяться спостереження, була встановлена спостережна станція, взятий нульовий відлік та розпочатий геотехнічний моніторинг у вигляді його окремого випадку – геодезичного моніторингу.

Мета моніторингу: визначення величин та характеру осідань фундаментів будівель, що межують з будівельним майданчиком; визначення величин та характеру розвитку тріщин в конструкціях будівель, що межують з будівельним майданчиком; визначення величин та напрямків горизонтальних переміщень ростверку огороження котловану.

Моніторингові дослідження інженерно-геодезичних спостережень проводились протягом тридцяти двох місяців (квітень 2015...листопад 2017 р.). Порядок, організація та забезпечення робіт під час виконання інструментальних вимірів здійснювались відповідно до вимог чинних нормативних документів [6, 21–29].

Пам'ятка архітектури «Поштовий будинок» на Поштовій площі, 2 (рис. 1): одноповерхова будівля, в плані має Т-подібну форму з розмірами $\approx 21,60 \times 17,60$ м. За конструктивною схемою – безкаркасна будівля з поздовжніми



Умовні позначення:

- ▼ - осадова марка;
- м3 - номер осадової марки

Рис. 1 – Головний фасад «Поштового будинку» на Поштовій площі, 2 та схема розташування осадових марок, встановлених на будівлі музею

та поперечними несучими стінами. Фундаменти – стрічкові, мілкового закладення, підсилені буройн'єкційними палями. Стіни – цегляні. Зовнішні стіни товщиною 100 см, внутрішні – товщиною 70 см. Переkritтя підвалу залізобетонне, переkritтя над першим поверхом підшите деревиною, оштукатурене. Покрівля багатоскатна, з оцинкованого заліза по дерев'яним кроквам.

Організація спостережень за деформаціями фундаментів будівель на Поштовій площі виконувалась в такій послідовності: вибір конструкції, місць розташування та установки вихідних геодезичних знаків висотної основи; здійснення висотної прив'язки вихідних геодезичних знаків; встановлення осадових марок на конструкціях будівлі, за якою ведуться спостереження; інструментальні вимірювання вертикальних переміщень осадових марок; опрацювання і аналіз результатів спостережень. При виконанні спостережень за осіданням фундаментів будівель влаштовується не менше трьох вихідних реперів для забезпечення взаємного контролю стійкості їх відміток. Висотні положення реперів були визначені з мінімально можливою граничною помилкою. Для визначення величин осадок будівель були використані металеві осадкові марки з кулеподібною голівкою. Довжина марок, які використовуються, повинна забезпечувати необхідну жорсткість в залежності від вильоту марки з площини стіни. Виліт марки повинен забезпечувати встановлення рейки строго у вертикальному положенні за показниками інтегрованого рідинного рівня. Усього на будівлях, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштовій площі, закладено 49 осадових марок. Вимірювання вертикальних переміщень фундаментів будівель здійснювались методом геометричного нівелювання II класу точності у відповідності до вимог чинних нормативних документів [21–29]. Для виконання вимірювань осідань фундаментів будівель використовувався високоточний цифровий нівелір SDL 30 виробництва фірми «Sokkia» та кодова рейка з інварною стрічкою. Нівелювання марок виконувалось за наміченими в проєкті ходами, щоразу за однією й тією ж схемою, щоб значною мірою позбутися впливу систематичних похибок на заміряні величини. Перед кожним циклом спостережень особлива увага зверталась на перевірку основної геометричної умови нівеліра: візирна вісь і вісь циліндричного рівня повинні бути паралельні.

Спостереження за розкриттям тріщин виконувалось з використанням різних вимірювальних пристроїв, які дають змогу одержати як якісні, так і кількісні показники розвитку тріщин. Спостережна станція являє собою визначену кількість спостережних пар марок із кольорового металу (рис. 2), установлених на конструкціях будівлі (кожна з пари марок по обидва боки тріщин), а також переносний прилад (компаратор) для зняття показань величин деформацій. Для зняття відліків використано вимірювач деформацій «SDM 50/500» (компаратор). Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Межа вимірів змін ширини розкриття тріщин — до 10 мм. Комплект штанг на приладі дає змогу проводити виміри розкриття тріщин на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм. Закріплена на базі змінна ніжка служить для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібну поверхню. Вони контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних марках, установлених по обидва боки від тріщини.

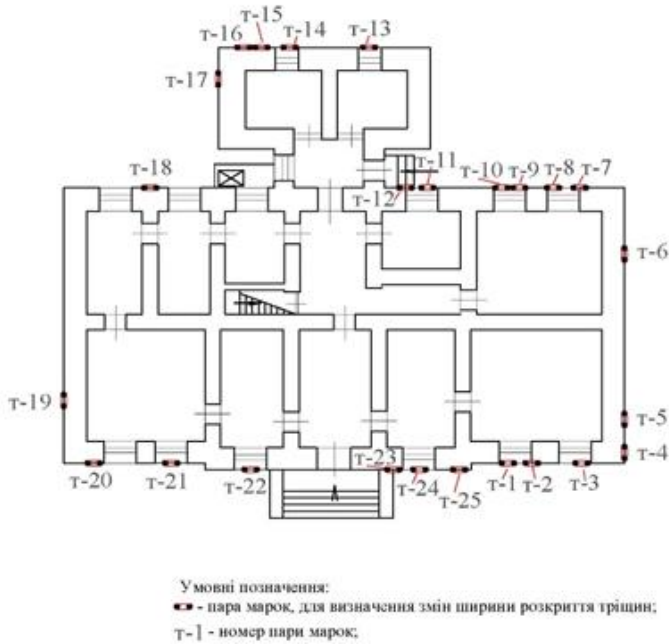


Рис. 2 – Схема розташування пар марок із визначення змін ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі музею на Поштової площі, 2

Результати виконаних робіт та їх аналіз. За період інструментальних спостережень з 02 квітня 2015 року по 14 листопада 2017 року (957 днів) виконано 45 циклів визначення деформацій будівель, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки на Поштової площі в м. Києві, а саме: будівлі № 2 на Набережному шосе, будівель №№ 2 та 4 на Поштової площі, будівлі № 3/17 на Володимирському узвозі. З них 44 цикли виконано в 2015 році, і один – контрольний цикл – в 2017 році. Визначення планових зміщень ростверків огороження котловану не виконувалося, оскільки було прийняте рішення перейти від розпірної системи утримуючих споруд до системи «up down» і закладена в ростверку спостережна станція була накрита плитою перекриття.

По будівлі № 2 на Поштової площі (пам'ятка архітектури «Поштовий будинок»):

– зафіксовано вертикальні переміщення осадових марок величиною від -2 до -4 мм.

– станом на 26.06.2015 року було зафіксовано незначні (від -0,17 мм до +0,07 мм) зміни ширини розкриття. Детально результати спостережень змін в часі ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі наведені на рис. 3.

Висновки

1. Ризик, пов'язаний з проектуванням і функціональністю ґрунтових конструкцій, є одним з найвищих [1]. Це підкреслює необхідність розрахунку і зниження такого ризику за допомогою наявних методів, одним з яких може бути геотехнічний моніторинг, що здійснюється на безперервній або періодичній основі під час будівництва і протягом деякого часу після його закінчення.

2. Для забезпечення безпечної експлуатації будівель і споруд необхідна поточна інформація про деформації і напруження, що виникають в будівельних конструкціях. Об'єкти класу наслідків (відповідальності) ССЗ, руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків, повинні бути обладнані автоматизованими системами моніторингу та управління [10].

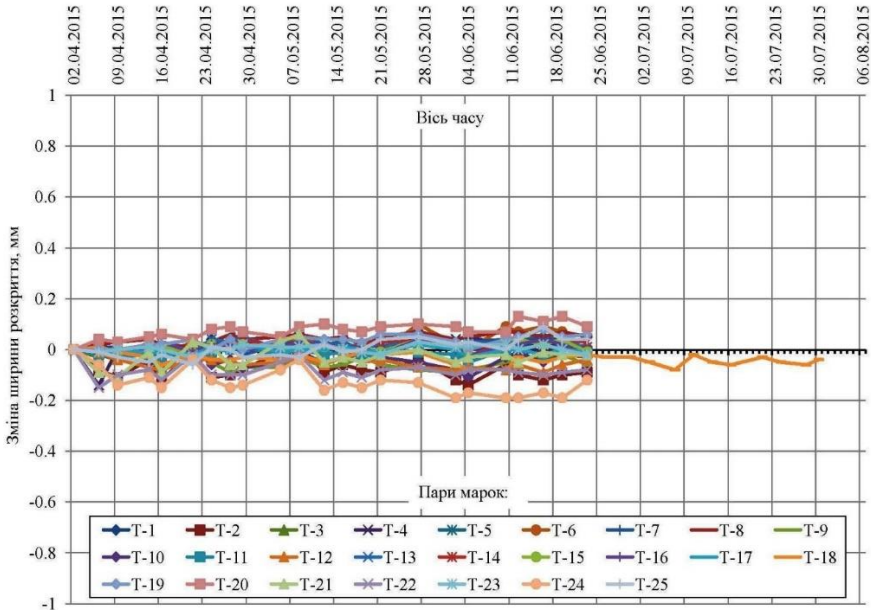


Рис. 3 – Графік змін в часі ширини розкриття тріщин в конструкціях будівлі № 2 на Поштовій площі

3. По будівлі № 2 на Поштовій площі (пам'ятка архітектури «Поштовий будинок») зафіксовано незначні (від 2 до 4 мм за абсолютним значенням) осідання фундаментів будівлі. Згідно з таблицею 4 ВСН 490-87 [29] гранично допустимі деформації основ фундаментів (осідання) становлять 10 мм. Зафіксовані за період спостережень (957 днів) осідання величиною до 3 мм не перевищують гранично допустимих, від впливу нового будівництва. Слід зазначити, що в 2015 році конструкції та фундаменти будівлі було підсилено. Станом на 26.06.2015 року було зафіксовано незначні (від -0,17 мм до +0,07 мм) розкриття тріщин в конструкціях будівлі, що не перевищують (незначно перевищують) величину $\pm 0,20$ мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ваничек І. Применение Еврокода 7 к грунтовым конструкциям // Світ геотехніки. – № 4, 2016. – С. 4–8.
2. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. – Д.: Континент L., 2002 – Ч.1. Основы мониторинга. – 208 с.
3. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. State of art report by Task Group 5.1. – International Federation for Structural Concrete (fib), 2003 – 300 p.
4. Титаренко О.М., Калюх Ю.І. Можливості інформаційно-аналітичного моніторингу у встановленні суспільного діалогу малих підприємств з владою на місцевому рівні // Управління сучасним містом. – 2002. – № 7-9 (7). – С. 136–139.

5. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2009) Terminology on Disaster Risk Reduction. Available at: <http://www.unisdr.org>.
6. ДБН В.1.1-3-97 “Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення”.
7. Калюх Ю.І., Іщенко Ю.І. Теоретична концепція та практична реалізація нової інтегрованої методології систем раннього попередження про зсувну небезпеку // Наука та будівництво. – 2020, № 1. – С. 5-17.
8. ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об’єктів» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
9. ДБН В.1.2-12-2008 «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 34 с.
10. ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований» – К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14 с.
11. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н В.1.2-17:2016 / К. Бабік, Ю. Калюх, М. Мар’єнков ... Я. Берчун та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К. : Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
12. Сеймов В.М. Динамика и сейсмостойкость гидротехнических сооружений / В.М. Сеймов, Б.Н. Островерх, А.И. Ермоленко. – К. : Наук. думка, 1983. – 318 с.
13. Трофимчук А.Н., Черный В.Г., Черный Г.И. Надежность систем сооружение-грунтовое основание в сложных инженерно-геологических условиях / А.Н. Трофимчук, В.Г. Черный, Г.И. Черный. – К.: Полиграфконсалтинг. – 2006. – 248 с.
14. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., Kalyukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development - Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*. 3, 955-959.
15. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 491-508.
16. O.M. Trofymchuk, I.I. Kaliukh, H.S. Hlebuchuk, V.P. Berchun (2013) Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides*, Kiryu, Japan. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 883-890.
17. Trofymchuk, O., Kaliukh, Y., Dunin, V., Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. DOI: [10.1007/s10559-018-0061-9](https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9)
18. Trofymchuk O., Kaliukh I. (2013) Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2(2): 68-76.
19. Trofymchuk O., Kaliukh I., Berchun V. (2017) Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. *Proceedings of the WLF4*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 587-595.
20. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., Khavkin, K. (2013) Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforced-concrete constructions for defense from landslide’s pressure in seismic regions of Ukraine. *Proceedings of the Fib Symposium*. 22-24 April 2013, Tel-Aviv, Israel. pp. 625-628.
21. ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд». – К: 2009.
22. ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва». – К: 2008.
23. ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві». – К: 2010.
24. Руководство по наблюдению за деформациями зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975.

25. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М., Недра. 1990.
26. Методические указания по созданию геодезических сетей, М., Недра. 1995.
27. ДБН А.3.1.-5:96 “Організація будівельного виробництва”.
28. Долидзе Д.Е. «Испытание конструкций и сооружений» – М., Высш. шк., 1975. – 252 с.
29. ВСН 490-87 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки». – М: 1988.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2020 і прийнята до друку після рецензування 05.06.2020

REFERENCES

1. Vanychek, I. (2016). Prymenenye Evrokoda 7 k hruntovym konstruktsiyam [Application of Eurocode 7 to soil structures]. *Svit heotekhniki*, 4, 4-8. (in Russian)
2. Dolina, L.F. (2002). *Monitoring okruzhajushhej sredy i inzhenernye metody ohrany biosfery. (Ch.1. Osnovy monitoringa) [Environmental monitoring and engineering methods for protecting the biosphere. Part 1. Monitoring Basics]*. D.: Kontinent L. (in Russian)
3. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. (2003). State of art report by Task Group 5.1. International Federation for Structural Concrete (FIB).
4. Tytarenko, O.M., & Kaliukh, Yu.I. (2002). *Mozhlyvosti informatsiino-analitychnoho monitorynhu u vstanovlenni suspilnoho dialohu malykh pidpryiemstiv z vladoiu na mistsevomu rivni [Possibilities of information-analytical monitoring in establishing public dialogue of small entrepreneurs with the authorities at the local level]*. *Upravlinnia suchasnym mistom*, 7-9 (7), 136-139. (in Ukrainian)
5. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Terminology on Disaster Risk Reduction. (2009). Retrieved from: <http://www.unisdr.org>.
6. DBN V.1.1-3-97 “Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid zsuviv i obvaliv. Osnovni polozhennia”. (1997). (in Ukrainian)
7. Kaliukh, Yu.I., & Ishchenko, Yu.I. (2020). *Teoretychna kontseptsiiia ta praktychna realizatsiia novoi intehrovanoi metodolohii system rannoho poperedzhennia pro zsvnu nebezpeku [Theoretical concept and practical implementation of a new integrated methodology of early warning systems for landslides]*. *Nauka ta budivnytstvo*, 1, 5-17. (in Ukrainian)
8. DBN V.1.2-5:2007 «Naukovo-tekhnichnyi suprovid budivelnykh ob'ektiv». (2007). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
9. DBN V.1.2-12-2008 «Budivnytstvo v umovakh ushchilненоi zabudovy. Vymohy bezpeky». (2008). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
10. DBN V.1.2-14-2009 «Obshhie principy obespechenija nadezhnosti i konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy, sooruzhenij stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij». (2009). K.: Ukrbudarkhinform. (in Russian)
11. Babik, K., Kaliukh, Yu., Mar'ienkov, M., Berchun, Ya. at al. (2017, April 1). *Nastanova shchodo naukovo-tekhnichnoho monitorynhu budivel i sporud: DSTU-N B V.1.2-17:2016 (Derzhavni budivelni normy Ukrainy)*. K.: Minrehionbud. (in Ukrainian)
12. Sejmov, V.M., Ostroverh, B.N., & Ermolenko, A.I. (1983). *Dinamika i sejsmostojkost' gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Dynamics and seismic resistance of hydraulic structures]*. K.: Nauk. dumka. (in Russian)
13. Trofimchuk, A.N., Chernyj, V.G., & Chernyj, G.I. (2006). *Nadezhnost' sistem sooruzhenie-gruntovoe osnovanie v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah [Reliability of construction-soil foundation systems in complex engineering and geological conditions]*. K.: Poligrafkonsalting. (in Russian)

14. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klymenkov, O. (2017). TXT-tool 2.380-1.1. Monitoring and Early Warning System of the Building Constructions of the Livadia Palace, Ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools*. Volume 1. Springer, Cham., 491-508.
15. Trofymchuk, O.M., Kaliukh, I.I., Hlebchuk, H.S., & Berchun, V.P. (2013). Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. In *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides*, Kiryu, Japan, 2013. (pp. 883-890). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
16. Trofymchuk, O., Kaliukh, Y., Dunin, V., & Berchun, Y. (2018). On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybernetics and Systems Analysis*. 54, 600–609. DOI: [10.1007/s10559-018-0061-9](https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9)
17. Trofymchuk, O., & Kaliukh, I. (2013). Activation of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts (experimental and analytical studies). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(2), 68-76.
18. Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Berchun, V. (2017). Landslide stabilization in building practice: methodology and case study from Autonomous Republic of Crimea. In *Proceedings of the WLF4* (pp. 587-595). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
19. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Polevetskiy, V., Silchenko, K., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforced-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. In *Proceedings of the Fib Symposium*, Tel-Aviv, April 22-24, 2013. (pp. 625-628).
20. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., & Kaliukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. In *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*. 3. (pp. 955-959).
21. DBN V.2.1-10-2009 «Osnovy ta fundamenty sporud». (2009). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
22. DBN A.2.1-1-2008 «Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva». (2008). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
23. DBN V.1.3-2:2010 «Heodezychni roboty u budivnytstvi». (2010). K.: Ukrbudarkhinform. (in Ukrainian)
24. Rukovodstvo po nabljudeniju za deformacijami zdaniy i sooruzhenij. (1975). M.: Strojizdat. (in Russian)
25. Instrukcija po nivelirovaniju I, II, III, IV klassov. (1990). M.: Nedra. (in Russian)
26. Metodicheskie ukazaniya po sozdaniyu geodezicheskikh setej. (1995). M.: Nedra. (in Russian)
27. DBN A.3.1.-5:96 «Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva». (1996). (in Ukrainian)
28. Dolidze, D.E. (1975). *Ispytanie konstrukcij i sooruzhenij [Testing of structures and structures]*. M.: Vyssh. shk. (in Russian)
29. VSN 490-87 «Proektirovanie i ustrojstvo svajnyh fundamentov i shpuntovyh ograzhdenij v uslovijah rekonstrukcii promyslennyh predpriyatij i gorodskoj zastrojki». (1988). Moskow. (in Russian)

The article was received 02.04.2020 and was accepted after revision 05.06.2020

Ищенко Юрий Иванович

здобувач, завідувач лабораторії державного підприємства «ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2

ORCID: 0000-0001-6046-8180 *e-mail*: ischenko@ndibk.gov.ua

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

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

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

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

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

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

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

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

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

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

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

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

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

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

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

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

Редактор – В.П. Берчун

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

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

Підписано і здано до друку 08.07.2020. Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.18
Обл.-вид. арк.10.7
Замовлення № _____

Тираж 300 примірників

КИЇВ 2020